

ДНІПРО / ЛІРА / 2023



БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА

Ф. В. НОВІКОВ
Г. В. НОВІКОВ
В. О. ЖОВТОБРЮХ

БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА



Ф. В. Новіков
Г. В. Новіков
В. О. Жовтобрюх

**БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА**

Навчальний посібник

Дніпро, 2023

УДК 620(075.8)

H73

Рецензенти:

О. О. Клочко, докт. техн. наук, професор, професор кафедри "Технологія машинобудування та металорізальні верстати" Національного технічного університету "Харківський політехнічний інститут";

Ю. В. Яровий, канд. техн. наук, доцент, доцент кафедри цифрових технологій в інжинірингу Національного університету "Одеська політехніка"

Новіков Ф. В., Новіков Г. В., Жовтобрюх В. О.

H73 Безпека життєдіяльності та інноваційні технології виробництва : навч. посіб. / Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков, В. О. Жовтобрюх. Дніпро : ЛІРА, 2023. 220 с.

ISBN 978-966-981-703-7

Розглянуто загальні поняття та визначення безпеки життєдіяльності. Наведено умови забезпечення безпеки життєдіяльності техногенного середовища. Встановлено закономірності виникнення небезпек життєдіяльності у виробничій сфері під час виготовлення промислової продукції та обґрунтовано шляхи їх подолання. Показано можливості забезпечення безпеки життєдіяльності працівників металообробної та видавничо-поліграфічної галузей завдяки застосуванню інноваційних технологій виробництва, які дозволяють одночасно забезпечити конкурентоспроможність виготовленої промислової продукції та суттєво покращити умови праці робітників із точки зору охорони праці та збереження їх здоров'я, підвищити культуру, екологію й ергономіку виробництва. Розроблено практичні рекомендації щодо створення інноваційних технологій виробництва, спрямованих на подолання небезпек життєдіяльності у виробничій сфері.

Рекомендовано для студентів інженерних та економічних спеціальностей вищих навчальних закладів, а також для фахівців і керівників підприємств, які підвищують свою кваліфікацію.

УДК 620(075.8)

© Новіков Ф. В., Новіков Г. В.,
Жовтобрюх В. О., 2023

© ЛІРА, 2023

ISBN 978-966-981-703-7

Вступ

Підвищення рівня життя людей та зниження (або усунення) виникаючих небезпек їх життєдіяльності є найбільш важливою задачею держави. Для її вирішення необхідні нові знання, засновані на сучасних досягненнях науки та багатому досвіді, отриманому людством за часи свого існування. Тривалий час людина користувалася дарами природи, не задумуючись про наслідки. Здавалося, що багатства її невичерпні. Але ось настав час підкорення атома, освоєння космосу, складної техніки й геніальною автоматикою, і людство виявило й раптом відчуло, що світ проживання дуже тісний, що не можна порушувати гармонійну цілісність природи, бо це часто призводить до катастроф. Так, пилові бурі за кілька годин забирають родючий шар ґрунту; менше стає кисню в повітрі, погіршується генофонд всього живого, виникають різні небезпеки життєдіяльності людини й, відповідно, під загрозою опиняється саме існування людини.

Науково-технічна революція (НТР) інтенсифікує використання людиною природних ресурсів у величезних масштабах. Однак нерідко вважається не вигідним удосконалювати технологію переробки природної сировини, енергії, утилізувати відходи виробництва. Разом з тим кожен рік з надр землі витягуються мільярди тон руди, спалюються мільярди тон палива. Тільки за рік в водойми потрапляють сотні мільярдів тон промислових і побутових стоків, в ґрунт вноситься 300 млн тон мінеральних добрив, в атмосферу викидається 20 мільярдів тон вуглекислого газу і понад мільярд тон інших з'єднань. У світовий океан виливають близько 10 млн тон нафтопродуктів, з яких 34 % зливає морський транспорт, 38 % потрапляє з господарсько-побутовими стоками, 10 % – з атмосфери, 6 % від катастроф танкерів. Одна тонна нафти покриває плівкою 12 квадратних кілометрів поверхні океану, роблячи її неживою. Все це негативно впливає на навколишнє середовище, що викликає небезпеки життєдіяльності людини – погіршення її здоров'я, працездатності, благополуччя – та в цілому призводить до зниження розвитку країни.

Таким чином, науково-технічна революція (НТР) приносить не тільки радість творення, а й тривогу за майбутнє навколишнього середовища та людей, які в ньому проживають. Щорічно збитки від автомобільних аварій становлять понад 1 млрд. доларів, при цьому гине 40 – 50 тисяч чоловік. Причому, 75 % цих аварій відбувається з вини водіїв.

Слід звернути увагу на вкрай недосконалу структуру капітальних вкладень у промислове виробництво й виконання послуг. Зокрема, недостатньо

уваги приділяється ергономічним і екологічним аспектам. У даний час підприємці вкладають свій капітал в придбання машин, обладнання та механізмів, але недостатньо фінансують проекти з вивчення впливу на людину різних фізичних, хімічних та біологічних явищ, пов'язаних з впровадженням нових технологій (вплив шумів, запахів, вібрацій, теплових, електромагнітних, інформаційних та інших силових полів). Особливо небезпечні технології, які пов'язані зі зберіганням й переробкою відходів атомних електростанцій, радіоактивних речовин та ін.

Тому із точки зору безпеки життєдіяльності необхідно людству звести до мінімуму свій вплив на природне середовище, при цьому не скорочуючи, а, навпаки, розширюючи обсяги виробництва. Необхідно охороняти природу, раціонально використовувати природні ресурси, забезпечувати виконання вимог із екології навколишнього середовища. Це є сьогодні одним з найважливіших державних завдань, від вирішення яких залежить благополуччя нинішнього і майбутнього поколінь.

Одне з першочергових завдань сьогодення – створення надійного заслону на шляху різних побутових і промислових відходів, що забруднюють повітря, воду, ґрунт. Для цього необхідно надати кожній людині знання й навички розумного спілкування з природою, навчити її самій приймати рішення й відповідати за їх наслідки.

Науково-технічна революція загострила проблему охорони навколишнього середовища, змусила по іншому поглянути на багато явищ і процесів, які пов'язані з його забрудненням, з виникаючими небезпеками життєдіяльності людини та ефективними шляхами їх подолання на основі вирішення ергономічних, екологічних, хімічних та фізичних проблем, створенні для цього нових наукових підходів та нових інноваційних технологій. Тому роботу присвячено аналізу закономірностей виникнення небезпек життєдіяльності у виробничій сфері під час виготовлення промислової продукції та обґрунтуванню шляхів їх подолання. Для цього розглянуто питання забезпечення безпеки життєдіяльності працівників металообробної та видавничо-поліграфічної галузей шляхом застосування інноваційних технологій виробництва. Значну увагу приділено умовам створення екологічно безпечних технологій алмазного електроерозійного шліфування для високопродуктивної та високоякісної обробки високотвердих матеріалів, які дозволяють одночасно забезпечити конкурентоспроможність виготовлених промислових виробів і суттєво покращити умови праці робітників із точки зору охорони праці та збереження їх здоров'я, підвищити культуру, екологію та ергономіку виробництва.

Розділ 1. Загальні положення безпеки життєдіяльності людини

1.1. Основні терміни та визначення безпеки життєдіяльності людини

Основним питанням теорії і практики безпеки життєдіяльності людини є питання підвищення рівня безпеки. Порядок пріоритетів під час розроблення будь-якого проекту потребує, щоб вже на перших стадіях його розроблення були включені елементи, що виключають небезпеку. Однак, це не завжди можливо. Якщо виявлену небезпеку неможливо виключити повністю, необхідно знизити імовірність ризику до припустимого рівня шляхом вибору відповідного рішення, якими є:

- повна або часткова відмова від робіт, операцій та систем, які мають високий ступінь небезпеки;
- заміна небезпечних операцій іншими – менш небезпечними;
- удосконалення технічних систем та об'єктів;
- розробка та використання спеціальних засобів захисту;
- заходи організаційно-управлінського характеру, в тому числі контроль за рівнем безпеки, навчання людей з питань безпеки, стимулювання безпечної роботи та поведінки.

Кожен із зазначених шляхів має свої переваги і недоліки. Тому важко сказати, який з них кращий. Як правило, для підвищення рівня безпеки завжди використовується комплекс цих заходів та засобів. Для того, щоб надати перевагу конкретним заходам та засобам або певному їх комплексу, порівнюють витрати на ці заходи та засоби і рівень зменшення шкоди, який очікується у результаті їх запровадження. Такий підхід до зменшення ризику небезпеки називається управлінням ризиком. Захист людей від техніки передбачає здійснення спеціальних організаційних та санітарно-гігієнічних заходів:

- розроблення і запровадження технологічних карт та інструкцій з техніки безпеки;
- навчання та інструктаж персоналу, контроль за дотриманням та виконанням встановлених правил безпеки під час проведення робіт;
- забезпечення працівників санітарно-гігієнічним обладнанням та відповідними процедурами, а також іншими заходами та засобами, які вимагають чинні нормативні документи з охорони праці [17].

Безпека життєдіяльності (БЖД) – це галузь знання та науково-практична діяльність, спрямована на вивчення загальних закономірностей виникнення небезпек, їхніх властивостей, наслідків їхнього впливу на організм людини, основ захисту здоров'я та життя людини і середовища її проживання від небезпек, а також на розробку і реалізацію відповідних засобів та заходів щодо створення і підтримки здорових та безпечних умов життя і діяльності людини як у повсякденних умовах побуту та виробництва, так і в умовах надзвичайних ситуацій [7; 8].

Безпека життєдіяльності – це наука, що вивчає проблеми безпечного перебування людини в середовищі – природному, техногенному, соціальному, в процесі різних видів її діяльності [68].

Безпека життєдіяльності – комплексна система знань про захищеність життя і діяльності особистості, суспільства і життєвого середовища від небезпечних чинників природного і штучного характеру. Безпека життєдіяльності поєднує у собі пожежну безпеку, санітарно-епідеміологічне благополуччя, охорону здоров'я, екологічну та ядерну безпеку, попередження надзвичайних ситуацій, цивільний захист, безпеку руху, якість і безпеку продукції та послуг, безпеку споруд, будівель та інженерних мереж тощо [15].

Безпека життєдіяльності – це ступінь захисту людини від надзвичайної небезпеки, де під терміном "небезпека" мається на увазі вплив на людину чинників, які можуть викликати відхилення стану її здоров'я від нормального. Природа цих факторів може бути пов'язана як з причинами природного або соціально-економічного характеру (екологічними катастрофами, низьким економічним рівнем життя та ін.), так і з причинами техногенного характеру (з рівнем забруднення навколишнього середовища як наслідком виробничої діяльності людини, аваріями, катастрофами на підприємстві, транспорті, війнами та ін.) [12; 59].

Безпека – це збалансований (за оцінкою експертів) стан людини, системи, соціуму, держави [12].

Небезпека – це явище, об'єкт або процес, які здатні за певних умов нанести шкоду здоров'ю людини безпосередньо або побічно [26].

Навколишнє середовище – це середовище проживання й діяльності людини; оточуючий людину природний та створений нею матеріальний світ [41]. Навколишнє середовище включає природне, техногенне (виробниче та побутове), соціальне середовища.

В узагальненому вигляді небезпеки можна класифікувати наступним чином [13; 40].

Небезпеки за природою походження підрозділяють на природні, техногенні, соціальні, комбіновані:

- природні небезпеки – це стихійні явища, які становлять загрозу для життя й здоров'я людей (наприклад, землетруси, виверження вулканів, сніжні лавини, селі, зсув, шторми, смерчі, блискавки та інші явища);
- техногенні небезпеки – це стани, властиві технічним системам, промисловим або транспортним об'єктам, які реалізуються у вигляді негативного впливу, що уражає людину й навколишнє середовище; або у вигляді прямого чи непрямого збитку для людини й навколишнього середовища у процесі нормальної експлуатації цих об'єктів та систем;
- соціальні небезпеки – це явища, події або процеси, здатні нанести шкоду людині, соціальній групі, народу, суспільству, державі, людському співтовариству й Землі як місцю проживання людини, чи навіть знищити їх; завдати шкоди їх благополуччю, зруйнувати природні, матеріальні й духовні цінності;
- комбіновані небезпеки – це небезпеки, що сполучають у собі одночасно кілька різних видів небезпек, які підсилюють негативну дію одна одної (наприклад, ерозія ґрунтів унаслідок їх вивітрювання або вимивання, яка підсилюється вирубкою лісів, надмірним випасом худоби на них).

Небезпеки за заподіяним збитком – це економічні, технічні, екологічні, матеріальні та соціальні.

Небезпеки за локалізацією пов'язані з атмосферою, гідросферою, літосферою, космічним простором.

Небезпеки за характером впливу на організм людини підрозділяють на фізичні, хімічні, біологічні, психофізіологічні:

- фізичні – недостатнє або занадто яскраве освітлення; аномальні параметри мікроклімату; підвищені рівні шумів і вібрацій; підвищені рівні електромагнітних полів і випромінювань; запиленість і загазованість повітря;
- хімічні – токсичні; подразнюючі; сенсibiliзуючі; канцерогенні; мутагенні; речовини, що впливають на репродуктивну функцію;
- біологічні – мікроорганізми та продукти їх життєдіяльності; тварини; рослини;
- психофізіологічні – фізичні перевантаження; нервово-психічні перевантаження.

Хімічні небезпеки – це речовини різного агрегатного стану, що здатні викликати які-небудь види загального або місцевого, моментального або віддаленого в часі несприятливого впливу на організм людини.

Токсичні речовини – це речовини, які викликають отруєння всього організму людини або впливають на стан окремих органів і систем (наприклад, порушення функцій кровотворних органів, розлад нервової системи, ураження нирок, печінки). До таких речовин відносять: окис вуглецю, свинець, ртуть, селітру й т. ін.

Канцерогенні речовини – це речовини, які викликають розвиток злоякісних новоутворень – пухлин. До таких речовин відносять: нікель, азбест, хром та ін.

Мутагенні речовини – це речовини, які впливають на полові клітини, що приводить до порушення спадкової інформації. До таких речовин відносять: свинець, солі ртуті тощо.

Подразнюючі речовини – це речовини, що викликають подразнення дихальних шляхів, слизових оболонок. До таких речовин відносять: свинець, хлор, аміак, ацетон та інші.

Шляхи потрапляння в організм людини небезпечних хімічних речовин підрозділяють на:

- органи дихання; цим шляхом речовини проникають в організм у вигляді газів, парів, аерозолів та їх сумішей;
- шлунково-кишковий тракт; надходження речовин в організм людини відбувається шляхом їх всмоктування: у ротовій порожнині; у шлунку; у тонкому кишечнику;
- шкіра й слизові оболонки; цим шляхом в організм людини найчастіше потрапляють речовини, які мають рідку або маслянисту консистенцію.

Класифікація небезпек залежно від наслідків впливу уражаючих чинників на організм людини включає: небезпечні, шкідливі.

Небезпечна безпека – це безпека, вплив якої на людину може призвести до травми, опіку або до інших ушкоджень організму, у важких випадках – до смерті.

Шкідлива безпека – це безпека, вплив якої на людину може призвести до зниження працездатності, погіршення самопочуття, розвитку захворювань, у важких випадках – до смерті.

Для кількісної оцінки небезпеки використовують поняття ризик [41]. Ризик – це оцінка імовірності виникнення небезпеки.

Ризик (R) виникнення небезпеки визначають як відношення кількості фактичних проявів небезпеки (n) до теоретично можливої кількості проявів небезпеки (N) за певний період часу, тобто [41]:

$$R = \frac{n}{N}, \quad (1)$$

де R – ризик виникнення небезпеки за певний період часу;

n – кількість фактичних проявів небезпеки за певний період часу;

N – теоретично можлива кількість проявів небезпеки за певний період часу.

Види та розміри ризиків (визначено на підставі вивчення міжнародного досвіду):

незначний ризик – $< 10^{-6}$;

допустимий ризик – $1,001 \cdot 10^{-6} \dots 5 \cdot 10^{-5}$;

терпимий ризик – $5,001 \cdot 10^{-5} \dots 5 \cdot 10^{-4}$;

недопустимий ризик – $> 5,001 \cdot 10^{-4}$.

Відносно малий (нульовий) ризик свідчить про відсутність реальних небезпек, і, навпаки, чим вища величина ризику, тим більше імовірність негативного впливу на людину.

Таким чином, досвід еволюції людства свідчить, що його будь-яка діяльність є потенційно небезпечною. Модель процесу діяльності людини в найбільш загальному вигляді можна представити узагальненою системою, яка складається з двох взаємозалежних елементів: "людина" і "середовище її існування" (рис. 1). Задачею рівноважного існування системи "людина – середовище існування" є досягнення наступних двох цілей.

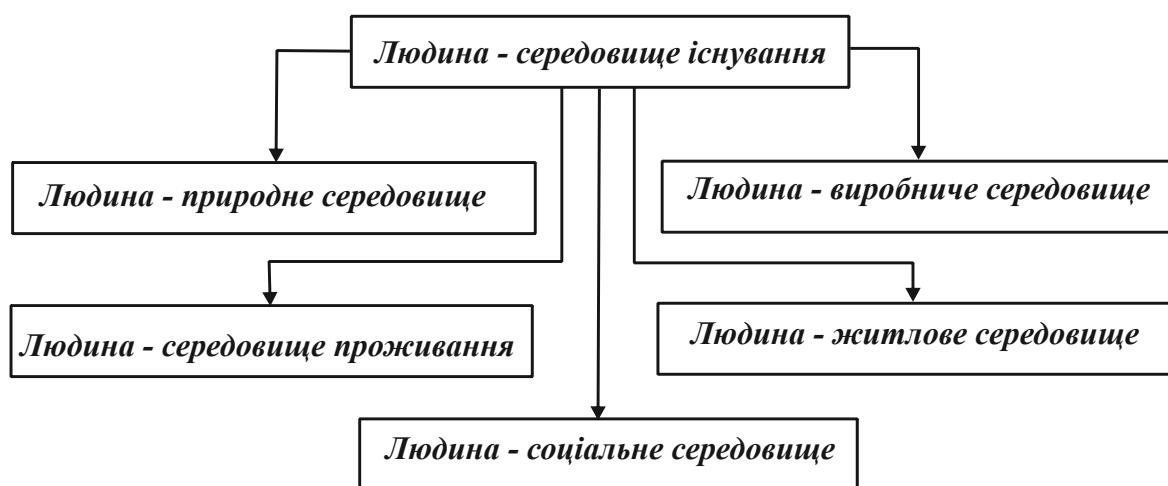


Рисунок 1 – Структурна схема системи "людина – середовище існування"

Перша ціль полягає у забезпеченні позитивного ефекту в плані підвищення продуктивності праці і, як наслідок – комфортності життя людини.

Друга ціль полягає у виключенні небажаних наслідків діяльності людини на навколишнє середовище і здоров'я сьогоденного і майбутнього поколінь.

До основних негативних наслідків діяльності людини відносяться такі: збиток здоров'ю і життю людини, пожежі, аварії, катастрофи, тобто явища, що вносять елемент порушення в динамічну рівновагу стану системи "людина – середовище існування". Унаслідок цього негативні явища, що виникають у розглянутій системі в результаті діяльності людини чи природних процесів, що протікають у середовищі існування, є небезпеками.

Безпека – це стан системи "людина – середовище існування", за яким з визначеною імовірністю виключається прояв небезпек. Безпека – це мета, а безпека життєдіяльності – засоби, шляхи, методи її досягнення.

Забезпечення комфортних умов діяльності й відпочинку створює передумови для прояву найвищої працездатності людини. При цьому формування, вибір і визначення комфортних умов (параметрів і організації виробничого, природного, соціального середовища, середовища проживання) діяльності і відпочинку повинні ґрунтуватися на знанні закономірностей взаємозв'язків системи "людина – середовище існування", фізіології людини, його психологічного стану і функціональних можливостей. У результаті реалізації такого підходу забезпечується зменшення травматизму і захворюваності людей, зменшення кількості цих небезпек чи зниження їхнього рівня. Отже, забезпечення безпеки і нешкідливості праці, ефективного відпочинку, з дотриманням вимог екології, природних процесів розвитку біосфери буде забезпечувати збереження життя і здоров'я не тільки людини, але і біосфери Землі, а значить і людства в цілому.

Зниження ступеня небезпеки і шкідливості негативних факторів середовища існування, зменшення їхньої кількості, здійснюється на основі інформації, яку можна отримати у процесі ідентифікації (розпізнавання) цих негативних чинників, і забезпечується доцільним вибором і застосуванням конкретних ефективних захисних методів і засобів [61].

1.2. Сутність техногенного середовища та його вплив на безпеку життєдіяльності людини

Техногенне середовище склалося в процесі трудової діяльності людини. Сутність його знаходиться там, де закінчується природа і починається людина. На сьогоднішній день майже все середовище, в якому перебуває людина, є

техногенним. Штучно створена людиною техносфера охоплює практично всю планету і навіть вийшла за її межі у космос.

Техногенне середовище – це існування людини в умовах, які сформовані у результаті розумового, науково-технічного, духовного розвитку та її предметної діяльності на базі природних явищ і процесів. Тому техногенне середовище є сукупним результатом досягнень суспільства, що з однієї сторони забезпечують визначений рівень життєдіяльності людини, а з іншої сторони – приводять до розбалансу природно сформованих взаємозв'язків у біосфері.

Головною умовою виникнення і розвитку техногенного середовища є природне прагнення людини до підвищеної комфортності життя.

Техногенне середовище виникло і склалося в процесі розумового розвитку людини, що виразилося в його трудовій діяльності, як розумної біологічної істоти, що мислить, що має мораль і естетичні почуття. Однак, при цьому з'явилися і техногенні джерела небезпеки для людини. Це передусім небезпеки, пов'язані з використанням транспортних засобів, з експлуатацією підйимально-транспортного обладнання, використанням горючих, легкозаймистих і вибухонебезпечних речовин та матеріалів, з використанням процесів, що відбуваються в умовах підвищених температур та підвищеному тиску, з використанням електричної енергії, хімічних речовин, різних видів випромінювання (іонізуючого, електромагнітного, акустичного). Тому для забезпечення безпеки людини у техногенному середовищі необхідно знати основні закономірності його функціонування та науково встановлені й створені принципи, засоби та умови зниження впливу негативних чинників техногенного середовища на людину.

Техногенне середовище (техносфера), як підсистема, підрозділяється на виробниче і побутове середовище [11].

Виробниче середовище – це середовище, у якому протікають виробничі відносини і здійснюється трудова діяльність людини. У залежності від суспільно-виробничого положення, яке займає людина у виробничому середовищі, воно може містити в собі окреме підприємство, чи організацію, установу або їх комплекс, у який входять інші підприємства, а також органи керувань районного, обласного й іншого рівнів. У порівнянні з природним середовищем виробниче середовище характеризується максимальною відносною насиченістю негативними антропогенними чинниками, перелік і рівень яких залежать від специфіки і культури конкретного виробництва.

До основних параметрів виробничого середовища, які визначають рівень психологічних чинників, відносять кількість працюючих, вид продукції, що

випускається, продуктивність праці, тип організації виробничого процесу, рівень автоматизації технологічних процесів, психологічний клімат у колективі, тип керівника, ритмічність виробництва, організацію оплати праці.

Перелік негативних чинників, що впливають на безпеку життєдіяльності людини у виробничому середовищі з фізіологічної точки зору, залежить від рівня організації умов праці, ступеня його нешкідливості та безпечності.

До найбільш розповсюджених негативних чинників, які характеризують виробниче середовище, відносять: недопустимі параметри мікроклімату робочої зони (температури, відносної вологості і швидкості руху повітря), підвищену запиленість, загазованість повітря, підвищений рівень вібрації і шуму, електромагнітних та іонізуючих випромінювань, недостатню чи надмірну освітленість робочої зони, наявність підвищеної напруги в електричному ланцюзі, замикання якого може відбутися через тіло людини. Таким чином, до техногенних відносять небезпеки, що виникають у процесі порушення технологій виробництва (людський чинник) або поломки машин і механізмів, тобто техногенними називають небезпеки, пов'язані безпосередньо з механізмами, машинами, спорудами, технічними пристроями. Попередження техногенних небезпек можливо заходами, спрямованими на удосконалення техніки [62].

У роботі [11] також зазначено, що до параметрів, які визначають умови праці людини та її безпеку, в першу чергу, відносяться: загазованість, запиленість, освітленість робочий місьць, рівень акустичних коливань, вібрації, іонізуючої радіації, електромагнітного випромінювання, пожежо- та вибухо-небезпечність, наявність небезпечного обладнання, засобів захисту працівників, ступінь напруженості праці, психологічний клімат.

Невиконання умов безпеки життєдіяльності людини на виробничому підприємстві може привести до виробничої травми або професійного захворювання. У роботі [66] наведено визначення цих понять:

Виробнича травма – це раптове механічне (забої, переломи, рани тощо), фізичне (рухомі вузли машин, механізмів, інструмент, оброблюваний матеріал, ненормальні метеорологічні умови, недостатня освітленість робочої зони, шум та вібрація тощо), хімічне (хімічні опіки, загальнотоксичні гострі отруєння тощо), біологічне (мікроорганізми, бактерії, віруси, рослинні та тваринні макроорганізми), психофізіологічне (фізичне та нервово перевантаження організму людини), комбіноване та інше пошкодження людини у виробничих умовах.

Професійне захворювання – патологічний стан, зумовлений тривалою роботою за шкідливих умов праці і пов'язаний з надмірним напруженням організму або несприятливою дією виробничих чинників.

Механічні та фізичні чинники переважно викликають травми. Теплові, хімічні, біологічні та психофізіологічні чинники у більшості випадків зумовлюють професійні захворювання.

Нещасний випадок – випадок з людиною внаслідок непередбаченого збігу обставин та умов, за котрих завдається шкода здоров'ю або настає смерть потерпілого. Нещасний випадок на виробництві пов'язують із дією на працівника небезпечного виробничого чинника.

Основні причини виникнення травматизму на виробництві включають: технічні, організаційні, санітарно-гігієнічні та психофізіологічні причини [63].

Технічні причини залежать від рівня організації праці на виробництві, а саме: недосконалий технологічний процес, конструктивні недоліки обладнання, інструментів та пристосувань, недостатня механізація важких робіт; недосконале огороження, відсутність спеціальних захисних засобів, засобів сигналізації та блокувань, недостатня міцність та надійність машин, шкідливі властивості оброблюваного матеріалу тощо. Ці причини інколи називають конструктивними або інженерними.

Організаційні причини повністю залежать від рівня організації праці на виробництві. До них можна віднести: незадовільний стан території, проїздів, проходів, порушення правил експлуатації обладнання, транспортних засобів, порушення технологічного регламенту, порушення правил і норм під час транспортування, складання і зберігання матеріалів і деталей; порушення норм і правил під час планового технічного обслуговування та ремонту обладнання, транспортних засобів і інструменту; недоліки під час навчання робітників безпечним методам праці; недостатній технічний нагляд за небезпечними роботами; використання машин, механізмів і інструменту не за призначенням; відсутність або незадовільне огороження робочої зони; відсутність або невикористання засобів індивідуального захисту тощо.

Санітарно-гігієнічні причини, до яких можна віднести: перевищення (відносно) запиленості та загазованості повітря робочої зони; відсутність або недостатнє природне освітлення, підвищену пульсацію світлового потоку; підвищений рівень шуму та вібрації, інфразвукових та ультразвукових коливань на робочому місці; підвищений рівень ультразвукової та інфрачервоної радіації тощо.

Психофізіологічні причини, до яких відносяться фізичні, нервово-психічні перевантаження працюючих. Психофізіологічні причини – грубі помилки у діях, які пов'язані з фізіологічним (втомленість), психічним (підвищена дратливість) або хворобливим станом працівників.

Найбільш частими конкретними причинами виробничого травматизму на виробничих підприємствах є: відсутність інструкцій з охорони праці; робота на несправному обладнанні або на обладнанні без засобів захисту; відсутність засобів проти випадкового ураження працівників електричним струмом; відсутність драбин, які б відповідали вимогам правил техніки безпеки; розвантаження і транспортування вантажів без застосування відповідних механізмів і пристосувань; користування несправним реманентом, пристосуванням та інструментом.

Як показує практика, нещасні випадки та травми у виробництві під час роботи з електричними пристроями виникають, перш за все, внаслідок порушення правил техніки безпеки. Причинами враження електричним струмом людини є оголені проводи, відкриті рубильники, не закрите розподільче устаткування, підігрівачі з відкритими нагрівальними елементами, пошкоджена електроапаратура, несправні електрозаземлюючі пристрої. Тому не можна відкривати, вмикати, торкатися руками або предметами установок, якщо обслуговування їх не входить в коло обов'язків працівника підприємства. Необхідно виконувати тільки ту роботу, за якою отримано інструктаж з охорони праці та на яку видане завдання [37; 65].

Слід остерігатися обірваних проводів, що лежать на землі – вони можуть бути під напругою. У цьому випадку необхідно виставити охорону і повідомити керівництво чи когось із електротехнічного персоналу. Забороняється очищати ввімкнені в мережу світильники та лампи. Не дозволяється забивати цвяхи та костилі в стіни приміщень, де проходить схована проводка. Роботи на верстатах і обладнанні, на висоті і драбинах, тунелях в місткостях, роботи з вантажо-підіймальними механізмами тощо необхідно здійснювати у відповідності з інструкцією для даного виду роботи [10; 38].

Незахищені струмопровідні частини, до яких можливий дотик людей, надійно огорожують у всіх випадках, якщо напруга перевищує [49]:

- 65 В – у приміщеннях без підвищеної небезпеки;
- 42 В – у приміщеннях з підвищеною небезпекою;
- 12 В – у приміщеннях особливо небезпечних.

У випадку напруги понад 250 В огорожують не тільки незахищені, але й ізольовані струмопровідні частини.

Захисне заземлення, занулення і відключення – основні заходи захисту людей від ураження електричним струмом у разі появи напруги на частинах конструкцій електроустаткування. Захисне заземлення – це свідоме електричне з'єднання з землею чи її еквівалентом металевих частин електроустатку-

вання. Захисне занулення – це свідоме електричне з'єднання з нульовим захисним провідником металевих струмонепровідних частин, які можуть виявитися під напругою. Захисне вимкнення – це швидкодійний захист, що забезпечує автоматичне відключення електроустаткування, коли в ньому виникає небезпека ураження струмом.

Як видно, безпека життєдіяльності людини у техногенному середовищі залежить від рівня її захищеності від негативної дії різного роду процесів, які протікають у техногенному середовищі. Тому необхідно вміти контролювати ці процеси, не допускати перевищення небезпечних для людини показників цих процесів. Для цього необхідно знати закони фізики, хімії, біології та їх зв'язок із безпечними умовами для людини, знати встановлені нормативами безпечні показники з охорони праці та гарно орієнтуватися у цифрових значеннях і розмірностях цих показників. Особливу увагу слід приділити знанням та вмінням застосовувати на практиці основні та додаткові одиниці системи СІ, методу розмірності під час оцінювання енергетичних і швидкісних параметрів технологічних систем.

Розглянемо тепер вплив побутового середовища на безпеку життєдіяльності людини.

Побутове середовище – це середовище, у якому проживає людина. Воно містить у собі комплекс житлових, соціально-культурних і спортивних будинків та споруд, комунально-побутових організацій і установ. Основними характеристиками цього середовища є розмір житлової площі на одну людину, ступінь електрифікації, газифікації житла, наявність центральної опалювальної системи, холодної та гарячої води, рівень розвитку суспільного транспорту тощо.

Побутовим середовищем також називають сукупність чинників і елементів, що впливають на людину в побуті. До елементів побутового середовища відносяться усі чинники, що пов'язані:

- з устроєм житла, його типом, застосовуваними будівельними матеріалами, конструкцією частин будинку, внутрішнім плануванням, складом приміщень і їхніх розмірів; інсоляцією і освітленням; мікрокліматом і опаленням; чистотою повітря і вентиляцією, санітарним станом, розташуванням житла щодо транспортних магістралей і промислової зони;

- з використанням полімерних будівельних матеріалів, меблів, килимів, покриттів, одягу із синтетичних волокон, які є джерелом шкідливих хімічних речовин;

– з використанням побутової техніки: телевізорів, газових, електричних і НВЧ-печей, пральних машин, фенів та ін.;

– з навчанням і вихованням, із соціальним статусом родини, матеріальним забезпеченням, психологічною обстановкою в побуті.

Усі чинники побутового середовища можна розділити на фізичні, хімічні, біологічні і психофізіологічні. Ідентифікація негативних чинників у побутовому середовищі представляє складність через комплексний їхній вплив у всіх його сферах [60].

Концентрація забруднюючих речовин у повітрі приміщень у десятки і сотні разів вище, ніж на вулиці. Найбільш суттєве забруднення робить формальдегід. Формальдегід – це безбарвний газ з різким неприємним запахом, що входить до складу синтетичних матеріалів і виділяється різними речами: меблями, килимами і синтетичними покриттями, фанерою, пінопластом. Присутність формальдегіду може викликати роздратування слизоватих оболонок очей, горла, верхніх дихальних шляхів, а також головний біль і нудоту.

Меблі дають близько 70 % забруднення повітря житлового приміщення, небезпечна концентрація токсичних газів накопичується у закритих шафах. Небезпечні виділення із синтетичних матеріалів відбуваються при пожежах. Органічне скло і поролон, наприклад, при горінні інтенсивне виділяють синильну кислоту, фосген й інші сильні отрути. Спалювання синтетичних матеріалів у побуті неприпустимо. У лаках і фарбах містяться токсичні речовини, які характеризуються як загально токсичними, так і специфічними видами дії – алергенною, канцерогенною, мутагенною та іншими. Потребують обережного поводження пожежонебезпечні і вибухонебезпечні речовини: розчинники, ацетон, бензин, а також отрутохімікати для боротьби з комахами, з бур'янами та із хворобами рослин. Застосовувати їх потрібно при строгому дотриманні регламентів і заходів безпеки, керуючись діючими інструкціями, викладеними на упаковках, етикетках і в листівках.

Різні миючі і синтетичні речовини, що чистять, викликають дратівну дію на шкіру, можуть викликати алергійні реакції при вдиханні їхньої пари і порошоків. Кислотні і лужні побутові препарати, спричиняють виражену місцеву дію на шкіру і слизуваті оболонки. Небезпеку представляє газове устаткування через можливий витік природного газу, який має вибухонебезпечні й токсичні властивості. Тому користатися газовим устаткуванням можна тільки з гарною вентиляцією приміщення.

На людину в побутовому середовищі впливають електричні поля від електропроводки, електричних приладів, освітлювальних пристроїв, НВЧ-

печей та телевізорів. У кольоровому телевізорі електрони прискорюються напругою в 25 кВ, при їхньому гальмуванні на екрані кінескопа збуджується рентгенівське випромінювання. Конструкція телевізора забезпечує поглинання основної частини цього випромінювання, але при тривалому перебуванні поблизу телевізора можна одержати значну дозу опромінення. Тому телевізор не доцільно використовувати як дисплей комп'ютера та розташовуватися поблизу екрана. Також нерідкі випадки поразки в побуті електричним струмом.

Матеріали з підвищеною радіоактивністю можуть разом з будівельними матеріалами (гранітом, шлаком, цементом, глиною й іншими.) потрапити в будівельні конструкції житлових будинків і створювати небезпеку радіоактивного опромінення живучих у них людей. При розпаді природного урану як проміжний продукт утворюється радіоактивний газ радон. Виділяючись з будівельних матеріалів та з ґрунту, радон може накопичуватися в непровітрюваному приміщенні й потрапляти в організм через органи дихання.

Зелені насадження в житловій зоні збагачують повітря киснем, сприяють розсіюванню шкідливих речовин і поглинають їх, знижують у літню пору на 8 ... 10 дБ рівень вуличного шуму. Згідно рекомендацій екологів і медиків, в ідеальній для життєдіяльності зоні будівлі не повинні займати більш 50 %, а асфальтовані і покриті каменем простори – більш 30 % упоряджених площ. Зелені насадження і газони не тільки поліпшують мікроклімат, тепловий режим, звожують і очищають повітря, але і роблять добродійний психофізичний вплив на людей. У містах повинні вестися роботи зі скорочення просторів, покритих каменем, асфальтом, бетоном, зменшення інтенсивності руху автотранспорту, організації невеликих паркових ансамблів і садів, озеленення фасадів будинків.

У побутовому середовищі людина переважно сама відповідає за свою безпеку, а на виробництві існують спеціальні служби нагляду за безпекою (відділи охорони праці, пожежної безпеки тощо) [62].

Необхідно зазначити, що характеристики середовища існування (побутового і виробничого), що впливають на психологію людини і які відбиваються на її фізіології, є взаємозалежними. Цей взаємозв'язок може бути безпосереднім чи непрямим. Причому, у ряді випадків ці взаємозв'язки не піддаються прямому виявленню.

У зв'язку з цим вирішення задач забезпечення безпеки життєдіяльності людини слід здійснювати на основі глибокого всебічного аналізу взаємозв'язків кожної із вище вказаних підсистем під час використання комплексного системного підходу [36; 61].

1.3. Основні небезпечні і шкідливі чинники техногенного середовища

Людина живе, безупинно обмінюючись енергією з навколишнім середовищем, приймає участь у кругообігу речовини в біосфері. У процесі еволюції людський організм пристосувався до екстремальних кліматичних умов – низьких температур півночі, високих температур екваторіальної зони, до життя в сухій пустелі й на сирих болотах. У природних умовах людина має справу з енергією сонячної радіації, руху повітря, хвиль земної кори. Енергетичний вплив на незахищену людину, що потрапила в шторм чи смерч, в зону землетрусу, діючого вулкана або грозу, може перевищити припустимий для людського організму рівень і нести небезпеку його травмування чи загибелі. Рівні енергії природного походження залишаються практично незмінними. Сучасні технології і технічні засоби дозволяють якоюсь мірою знизити їхній небезпечний вплив, однак складність прогнозування природних процесів і змін у біосфері, недостатність знань про їх природу, створюють труднощі в забезпеченні безпеки людини в системі "людина – природне середовище".

Поява техногенних джерел теплової й електричної енергії, вивільнення ядерної енергії, освоєння родовищ нафти і газу зі спорудженням протяжних комунікацій породили небезпеку різноманітних негативних впливів на людину і середовище існування. Енергетичний рівень техногенних негативних впливів росте, зростає і неконтрольований вихід енергії в техногенному середовищі, що є причиною збільшення числа каліцтв, професійних захворювань і загибелі людей.

Відповідно до ГОСТ 12.0.003-74* "Небезпечні і шкідливі чинники. Класифікація", небезпечні і шкідливі чинники за природою походження підрозділяються на наступні 4 групи: фізичні, хімічні, біологічні, психофізичні.

До фізичних небезпечних, шкідливих та вражаючих чинників відносяться:

- машини і механізми, що рухаються, рухливі частини устаткування, хитливі конструкції і природні утворення;
- гострі і падаючі предмети;
- підвищення і зниження температури повітря і навколишніх поверхонь;
- підвищена запилованість і загазованість повітря;

- підвищений рівень шуму, інфразвуку, ультразвуку, вібрації;
- підвищений чи знижений барометричний тиск;
- підвищений рівень іонізуючих випромінювань;
- підвищена напруга в мережі, що може замкнутися на тіло людини;
- підвищений рівень електромагнітного випромінювання, ультрафіолетової та інфрачервоної радіації;
- недостатність та зниженість контрастності освітлення;
- підвищена яскравість, пульсація світлового потоку.

До хімічних небезпечних, шкідливих та вражаючих чинників відносяться:

- агресивні речовини, що використовуються в технологічних процесах;
- промислові отрути і отруйні речовини (сильнодіючі отруйні речовини), отрутохімікати;
- засоби захисту рослин; мінеральні добрива; лікарські засоби, застосовувані не по призначенню;
- бойові отруйні речовини.

Хімічно небезпечні, шкідливі та уражаючі чинники підрозділяються за характером впливу на організм людини і за шляхом проникнення в організм.

Біологічно небезпечними і шкідливими чинниками є:

- патогенні мікроорганізми (бактерії, віруси, особливі види мікроорганізмів спірохети і рикетсії, гриби), а також продукти їхньої життєдіяльності – токсини;
- рослини, що містять небезпечні речовини;
- заражені патогенними мікроорганізмами та хворі тварини.

Біологічне забруднення навколишнього середовища виникає у результаті аварій на підприємствах біотехнології, очисних спорудах, недостатньо очищеному устаткуванні промислових та побутових стоків.

Психофізіологічні небезпечні чинники – це такі чинники, які обумовлені особливостями характеру та організації праці, параметрів устаткування, яким обладнано робоче місце. Вони можуть впливати на функціональний стан організму людини, його самопочуття, емоційну та інтелектуальну сфери і приводити до стійкого зниження працездатності та порушення стану здоров'я.

За характером дії психофізіологічні небезпечні та шкідливі виробничі чинники поділяють на фізичні (статичні та динамічні) і нервово-психічні перевантаження: розумова перенапруження, перенапруження аналізаторів, монотонність праці, емоційні перевантаження. Небезпечні та шкідливі чинники за природою своєї дії можуть відноситися одночасно до різних груп [60].

До параметрів, що визначають умови праці людини та її безпеку, в першу чергу, слід віднести: загазованість, запиленість, освітленість робочий місць, рівень акустичних коливань, вібрації, іонізуючої радіації, електромагнітного випромінювання, пожежо- та вибухонебезпечність, наявність небезпечного обладнання, засобів захисту працівників, ступінь напруженості праці, психологічний клімат [11].

Сьогодні діяльність більшості працівників сучасних професій у виробничій сфері пов'язана з використанням комп'ютерної техніки. Працюючи з комп'ютером, людина потрапляє під вплив різноманітних чинників: електромагнітних полів (діапазон радіочастот: ВЧ, УВЧ і СВЧ), інфрачервоного та іонізуючого випромінювання, шуму і вібрацій, статичної електрики [64].

Робота з комп'ютером вимагає значної розумової напруги і супроводжується нервово-емоційним навантаженням операторів, високим напруженням зорової роботи і достатньо значним навантаженням на м'язи рук під час роботи з клавіатурою ПК. Велике значення має раціональна конструкція і розташування елементів робочого місця, що є важливим для підтримання оптимальної робочої пози у процесі роботи.

У процесі роботи з комп'ютером необхідно дотримуватись правильного режиму роботи і відпочинку. У протилежному випадку в персоналу спостерігається незадоволеність роботою, головна біль, роздратування, порушення сну, втома і больові відчуття в очах, попереку, у ділянці шиї та рук.

Джерелами техногенних небезпек є відповідні об'єкти, що породжують небезпеки, які, можливо, інколи не зовсім правильно було б називати техногенними, але до них ми відносимо всі небезпеки, пов'язані з впливом на людину об'єктів матеріально-культурного середовища. До техногенних небезпек слід також віднести виведені у військових лабораторіях бактерії, а також організми, створені методами генної інженерії.

1.4. Ергономічні аспекти безпеки життєдіяльності людини

Ергономіка – наукова дисципліна, що комплексно вивчає (з точки зору психології, фізіології, гігієни праці та інших наук) людину в конкретних умовах її діяльності, пов'язаної з використанням технічних засобів [41].

Ергономічні вимоги до техніки та технології визначаються властивостями людини, характеристиками середовища використання, які пред'являються для підвищення ефективності функціонування людини при реалізації цієї техніки та технології.

Оцінювання технічних засобів та технологій здійснюється наступними ергономічними характеристиками людини:

- антропометричними характеристиками людини (розміри тіла й окремих його частин в різних робочих позах і положеннях, динаміка змін розмірів тіла при переміщенні всього тіла або його частин в просторі, форма частин тіла та ін.);
- характеристиками рухової активності людини (сила, швидкість, економічність й обсяг виконавчих рухів);
- можливостями й особливостями функціонування органів почуттів людини;
- особливостями сприйняття, пам'яті, мислення людини;
- впливом середовища на ефективність діяльності людини;
- необхідністю врахування в технології рівня професійної підготовки людини, що взаємодіє з цією технологією.

Під середовищем використання розуміється простір, в якому людина здійснює функціональну діяльність, наприклад, кабіна трактора, салон легкового автомобіля, кабіна екіпажу літака, салон для пасажирів літака, приміщення цеху та ін. Ефективність функціонування людини під час реалізації конкретної технології можна характеризувати показниками продуктивності, точності, безпомилковості роботи, стомлюваності людини, комфортабельності умов праці [41].

Прикладом ергономічного показника може служити зусилля на рукоятці механізму, яке виражене в Ньютона або балах. Прикладом ергономічного параметра може служити кут нахилу спинки сидіння пілота літака, водія транспортного засобу тощо. Ергономічні параметри безпосередньо не характеризують ергономічні властивості виробу, технології, але впливають на ступінь їх прояву в різних умовах, тобто визначають значення ергономічних показників.

1.5. Екологічні аспекти безпеки життєдіяльності людини

Екологія – це наука, яка вивчає відносини організмів (особин, популяцій, біоценозів тощо) між собою та з навколишньою неорганічною природою, загальні закони функціонування екосистем різного ієрархічного рівня, середовище мешкання живих істот (включаючи людину). Посилення впливу людини на природу надає все більшої гостроти екологічним проблемам взаємодії людини та природи, людства та біосфери [44; 67].

Найважливішою екологічною проблемою є забруднення навколишнього середовища проживання людини. Однією з основних причин недооцінювання забруднення навколишнього середовища є те, що її шкідливий вплив на людину й природу проявляється не відразу, а після тривалого часу [47]. Тому розглянемо, по-перше, причини та умови забруднення навколишнього середовища на землі.

Сільськогосподарське виробництво здійснюється на землі. Із 14 млрд. гектарів для обробки придатні 50 %, а обробляється всього 1 – 3 млрд., які й забезпечують 90 % їжі. Щорічно населення планети збільшується на 1,5 %. Це вимагає збільшення площ посівів. Однак чимало площ займають водосховища, житлові масиви (наприклад, Салтівка, Олексіївка та інші масиви у Харкові). Тому важливим чинником є підвищення врожайності посівів, у тому числі завдяки захисту рослин. Для цього застосовують агротехнічні, хімічні та біологічні методи захисту рослин. Застосовують мінеральні та органічні добрива. Однак, як показує практика, по-перше, добрив недостатньо вноситься для забезпечення захисту посівів. По-друге, майже половина мінеральних добрив, які вносяться в орні землі, осідає в біосфері, завдаючи їй шкоди. Виходячи з цього, потрібно більше застосовувати органічні добрива, які краще засвоюються рослинами й ґрунтом та менше завдають шкоди біосфері.

Значну шкоду завдає також невміле застосування хімічних препаратів-отрутохімікатів, які, накопичуючись в ґрунті, можуть уповільнювати зростання рослин. Наприклад, дуст (ДДТ) в даний час під суворою заборонаю в багатьох країнах світу, проте його можна вільно придбати на ринку.

Серед глобальних екологічних проблем кінця ХХ століття особливо гостро постало питання, пов'язане з накопиченням на нашій планеті такої кількості промислових та побутових відходів, що вони повсюдно стали загрожувати здоров'ю людей, безпеці життєдіяльності людини та безпеці навколишнього простору. За даними Організації Об'єднаних Націй, щорічно 5,2 млн. осіб, зокрема 4 млн. дітей помирають від хворіб, спричинених токсичною дією відходів і стічних вод, що неправильно видаляються, особливо в регіонах великих міст.

Дуже активно збільшується кількість твердих побутових відходів, приблизно щороку вони зростають на 5 – 6 %.

У високорозвинених країнах світу переробляється побутових твердих відходів від 30 – 50 % (у Європі), до 60 – 75 % (у США та Японії). У країнах, що розвиваються, цей відсоток досягає 7 – 10 %, а в Україні – 3 – 5 %. До 2025 р. кількість відходів, відповідно до прогнозів фахівців ООН, збільшиться

у 4 – 5 разів, а вартість їх переробки та зберігання – у 2 – 3 рази. З кожним роком гострішою стає проблема відходів в Україні.

До кінця XX століття щорічна кількість відходів на кожного жителя України досягла 400 т. Основними джерелами утворення промислових відходів є підприємства гірничопромислових, хіміко-металургійних, машинобудівних, паливно-енергетичних, будівельних та агропромислових комплексів. Так, наприклад, на підприємствах гірничодобувних та гірничозбагачувальних галузей знаходиться відходів приблизно 53 млрд. т, на підприємствах металургійної промисловості щорічно утворюється до 15 млн. т металургійних шлаків. Об'єм накопичених відходів від теплових електростанцій України до кінця XX ст. досяг понад 300 млн. т.

Щорічно на територіях міських населених пунктів України накопичується 38 – 42 млн. т побутового сміття. За середнім морфологічним складом побутове сміття містить 25 – 30 % паперу, 35 – 40 % харчових відходів, 4 – 5 % текстилю, 4 – 6 % полімерів, 4 – 5 % кольорових металів, 5 – 7 % скла, 2 – 7 % гуми, кісток, каміння та ін. Питома вага сміття 220 – 250 кг/м, вологість 35 – 40 %, теплотворна здатність 800 – 2400 ккал/кг.

Смітники (полігони) – навколо великих міст щорічно поглинають близько 1500 га землі, які стають небезпечним джерелом отруєння навколишнього середовища. Зі смітників у повітря та ґрунтові води потрапляє багато токсичних речовин – важких металів, гуми, пластмас, лаків та фарб. На смітниках розвиваються хвороботворні бактерії, утворюються токсичні гази, які загрожують здоров'ю людей та безпеці їх життєдіяльності. На смітниках виникають небезпечні для навколишнього простору пожежі.

Вирішення складної та відповідальної проблеми екологічної безпеки життєдіяльності людини можливе шляхом широкого застосування безвідходних технологій, будівництва сучасних сміттєпереробних заводів із ефективними технологіями утилізації, високотемпературного спалювання, одержання корисних речовин. Прикладом ефективною технології утилізації є використання відходів чорних металів. Так, виробництво основного конструкційного машинобудівного матеріалу – сталі, що досягається за рахунок використання металобрухту, знижує її вартість до 70 %. При цьому кожна 1000 т металобрухту дозволяє заощаджувати близько 1500 т залізняку і до 200 т коксу. Виникає можливість виключити геологорозвідку, видобуток і збагачення руд, звільнити промислові площі від непотрібного обладнання. Це знижує рівень забруднення довкілля та рівень загрози здоров'ю людей, підвищує екологічну безпеку їх життєдіяльності.

Прикладом підвищення екологічної безпеки життєдіяльності людей є використання макулатури. Її раціональний збір, переробка на папір та картон не тільки запобігає засміченню навколишнього середовища залишками паперу, але й зберігає цінну деревину та багато гектарів лісу від вирубки, з якого виготовляють папір.

Слід зазначити, що технологічні системи виробництва промислової продукції, будучи інструментом творення, одночасно є, на жаль, сильним чинником руйнування середовища, в якому вони функціонують, що негативно впливає на здоров'я людей та їх практичну діяльність.

Видобуваючи щорічно порядку 10 млрд. т гірських порід земних надр, людство тисячами шахт, бурильних установок порушує земну поверхню і невідомо змінює її вигляд. Також створює нові ландшафти з кар'єрами, териконами, горами відвальних порід, шлаконакопичувачами та смітниками, що, безсумнівно, погіршує довкілля та життя людей, спричиняє їх різні хвороби. Виплавлення понад 800 млн. т різних металів призводить до викиду в повітря та гідросферу величезної кількості промислових відходів, руйнування біосфери (живої оболонки Землі), загрози всьому живому на планеті.

В цих умовах особливо актуальним є питання пропаганди екологічних знань, зокрема, вивчаючи екологію у вищих навчальних закладах (ВНЗ). Гуманітарна підготовка у ВНЗ має базуватися на основних принципах екологічної культури, на екологічно чистих технологічних системах, як однієї з основних умов збереження життя на Землі та розвитку цивілізації в майбутньому.

Розглянемо тепер причини та умови забруднення навколишнього середовища у повітрі. Із часом газовий склад атмосфери змінюється, все менше і менше стає кисню. Тільки за один переліт до Америки турбіни літака спалюють 40 – 60 тон атмосферного кисню, а 400 мільйонів автомобілів, які рухаються на автошляхах, спалюють кисню набагато більше.

Відновлювальний процес забезпечується зеленими легенями планети – лісами. Однак, в даний час ліси варварські знищуються (вирубуються, випаляються). Ще не так давно ліси займали площу, рівну 15 млн квадратних кілометрів, а зараз вони скоротилися на одну третину й продовжують скорочуватися щорічно на 2 %. Наприклад, одне дерево бука виділяє в середньому за день 1,5 літра кисню. Крім того, кора цього дерева виловлює з повітря багато шкідливих домішок, переробляючи їх в живу матерію. Це дозволяло відновлювати від забруднення навколишнє середовище в повітрі.

Польоти надзвукових літаків, запуск ракет, випробування ядерної зброї виділяють значну кількість шкідливих речовин. Їх концентрація в атмосфері

збільшується ще й в результаті мікробного розкладання азотних мінеральних добрив. Ці речовини, піднімаючись в стратосферу та вступаючи в хімічні реакції, руйнують озоновий екран Землі, який захищає її поверхню від жорсткого космічного випромінювання. Це негативно впливає на безпеку людини, приводить до різного роду її захворюваності.

Не меншою загрозою для озонового екрану є фреони – хімічні інертні речовини, що широко застосовуються в холодильній промисловості та у виробництві побутових аерозольних упаковок. В ході фотохімічного розкладання в стратосфері фреони виділяють іони хлору, який руйнує озон. Це також негативно впливає на здоров'я людини.

Зменшення щільності озонового щита знижує врожаї сільськогосподарських культур та біологічну продуктивність Світового океану, призводить до підвищення захворюваності людей на рак шкіри та іншими захворюваннями. Очікується зменшення щільності озонового шару Землі до початку XXI століття на 20 – 10 %. Кількість вуглекислоти в атмосфері нашої планети зростає: 47 % CO₂ поглинається океаном, а 53 % залишається в атмосфері. Очікуване потепління клімату може призвести до танення льодовиків Антарктиди й Гренландії, що підніме рівень океанів та зменшить щільність озонового шару Землі.

Розглянемо причини та умови забруднення навколишнього середовища у воді. Найдорогоцінніший мінерал землі – вода, необхідний провідник життя й учасник багатьох виробничих процесів. Зростання водоспоживання невинуватою як в побуті, так і в промисловому виробництві. Житлово-комунальне господарство витрачає на потреби водопостачання 25 кубічних кілометрів води. У гіршому стані водоспоживання в промисловому виробництві, де показник зворотного й повторно-послідовного водопостачання дуже різко знизився.

Також викликає тривогу стан біологічних ресурсів Світового океану. Так, вивчення забруднення Північного моря показало, що в його води щорічно надходить 7740 тон свинцю, 5900 тон міді, 30900 тон цинку, 2900 тон хрому, 850 тон кадмію, 3700 тон нікелю, 44 тон ртуті. Дослідження ж Атлантичного океану свідчить про те, що в шельфових водах Європи та Північної Америки рівень нафтового забруднення в 2 – 3 рази вище, ніж у відкритому океані.

Важливе значення має вирішення проблеми промислових відходів.

Керівники підприємств, особливо зараз, в такий нестабільний для розвитку країни час, часто не розуміють всю складність проблеми охорони природи й нерідко викидають за межі свого підприємства шкідливі для навколиш-

нього середовища відходи, які погіршують здоров'я людей, що гублять річки, ґрунт, тваринний світ й рослинність [12; 13]. Наприклад, безліч середніх і дрібних виробничих структур, у тому числі й новоутворених, викидають в атмосферу десятки мільйонів тон шкідливих речовин, їх концентрації у багато разів перевищують допустимі норми – все це замовчується, не контролюється.

Розглянемо вплив шумового забруднення на безпеку людини [69].

Рівень шуму вимірюється в децибелах (дБ). Встановлено, що рівень шуму в 20 ... 30 дБ не шкідливий для людини (80 дБ – допустима межа). Звук же в 130 дБ викликає больові відчуття, а в 150 дБ – стає нестерпним, в 180 дБ викликає втому металу, а в 190 дБ викидає заклепки з металоконструкцій. На центральних магістралях великих міст шум досягає 100 дБ й більше. І такий шум постійний.

Шум характеризується кумулятивними властивостями: акустичне роздратування, накопичуючись в організмі, все сильніше пригнічує нервову систему. Під впливом сильного шуму в органі слуху відбуваються незворотні зміни. Зниження слухової чутливості при високих рівнях шуму настає вже через один-два роки роботи, при середніх – через 5 ... 10 років. При обстеженні групи юнаків, які слухають сучасну естрадну музику, було виявлено втрату чутливості слуху у 20 %. Реакція на шум виражається у підвищеній збудливості й дратівливості. Дуже шкідливий для слуху навколишнього середовища, включаючи і людини, звуковий удар від надзвукових літаків. Зорова реакція при шумі 90 дБ зменшується на 25 %.

1.6. Ергономічні та екологічні небезпеки життєдіяльності людини

Розвиток техніки та науково-технічний прогрес стали основними чинниками підвищення продуктивності праці, підвищення життєвого рівня людей та розвитку суспільства в цілому. Однак це привело до виникнення величезної кількості нових форм небезпек життєдіяльності людини – загальних та професійних захворювань, нещасних випадків у виробництві та в побутових умовах, які приводять до травм і навіть смертельних наслідків [44]. Найбільшою трагічною подією стала техногенна катастрофа у 1986 році на Чорнобильській атомній електростанції (ЧАЕС), яка призвела до загибелі великої кількості людей внаслідок отримання великих доз радіації, радіоактивного зараження місцевості та неможливості проживання на ній населення. Ця катастрофа торкнулася величезних територій України, Росії та Білорусії. Роботи

з усунення наслідків цієї катастрофи продовжуються в даний час і триватимуть ще багато років. На це вже витрачено дуже багато коштів. А причини катастрофи криються, насамперед, у порушенні правил експлуатації атомною електростанцією.

Із цього випливає, що створення таких надпотужних та небезпечних в експлуатації технічних об'єктів потребує надзвичайно високої надійності технічних та технологічних (техногенних) рішень, покладених в основу створення та експлуатації цих об'єктів. Інакше це призводить до тяжких наслідків та загибелі людей.

Таким чином, для забезпечення безпечної роботи людей у виробничих умовах (на підприємствах, об'єктах будівництва та сільському господарстві) необхідно, по-перше, суворо виконувати вимоги техніки безпеки [4; 7]. По-друге, використовувати засоби виробництва, що виключають виникнення у процесі роботи нещасних випадків. При цьому важливо виконувати вимоги ергономіки, забезпечуючи ефективне функціонування людини у виробничих умовах під час роботи з технікою та застосовуваними технологіями. Наприклад, робоча зона технологічного обладнання під час роботи повинна бути ізольована від робітника. Для цього останніми роками виготовляють сучасні металорізальні верстати із числовим програмним управлінням (ЧПУ) із закритою зоною обробки. Процес обробки повністю автоматизований, оскільки верстат із ЧПУ працює за спеціально підготовленою управляючою програмою. Роль робітника зводиться до встановлення заготовки та зняття її після обробки, контролю за роботою верстата, користуючись пультом управління верстатом. При цьому робітнику не доводиться виконувати тяжкі фізичні роботи, які традиційні для роботи на звичайних металорізальних верстатах. У результаті він менше втомлюється у процесі роботи та більш якісно та впевнено працює на протязі всієї робочої зміни, оскільки зайнятий більше вирішенням інженерних задач із забезпечення якісного та високопродуктивного виготовлення виробу чи деталі. Тому для виконання цих робіт на верстатах із ЧПУ становлять більш досвідчених робітників або навіть спеціалістів із вищою технічною освітою, що можуть приймати рішення по вдосконаленню технологічних процесів обробки деталей машин на таких складних верстатах, якими є верстати із ЧПУ.

Все це в значній мірі відповідає вимогам ергономіки організації технологічного процесу механічної обробки виробів на металорізальному верстаті, оскільки процес обробки здійснюється в автоматичному режимі, робочий більше наглядає за процесом і не зайнятий фізичними навантаженнями.

Необхідно зазначити, що ефект механічної обробки у даному випадку досягається завдяки поєднанню технології механічної обробки із мікроелектронікою – застосуванням системи із числовим програмним управлінням. При цьому система "технологія – електроніка" збільшує глибину й оперативність управління, гнучкість технологічної системи, створює можливість управління в ході технологічного процесу.

Раніше всі металорізальні верстати виготовляли з відкритою зоною обробки (рис. 2). У результаті робітник міг випадково або від втоми рукою потрапити на заготовку, що рухається (обертається), що призводило до травми робітника. При цьому у процесі обробки бризки мастильно-охолоджуючої рідини (емульсії), яка подається в зону обробки, – гарячої та хімічно шкідливої речовини – потрапляли на робітника (на руки і обличчя) й могли викликати у нього з часом професійні захворювання. Крім того, бризки емульсії потрапляли на підлогу, через що він ставав мокрим і слизьким, що часто призводило до падіння та травм робітників.



Рисунок 2 – Робота верстатника на токарному верстаті

На жаль, і зараз у виробництві використовують старі верстати із відкритою зоною обробки. Тому необхідно посилено контролювати відповідним службам підприємств виконання робітниками техніки безпеки під час роботи на цих верстатах. Необхідно різними захисними пристроями на верстаті унеможливити попадання рук робітника у зону обробки під час роботи. Необхідно також застосовувати різні захисні щитки, щоб захистити робітника від бризок емульсії, що подається у зону обробки. Обов'язково робітник повинен

працювати у спеціальних окулярах, оскільки, крім бризок емульсії, із зони обробки вилітають уламки стружок, які можуть потрапити в обличчя робітника та пошкодити органи зору.

Проте, як показує практика, як і раніше, мають місце порушення правил техніки безпеки у виробничих умовах, що призводить до численних нещасних випадків. Наприклад, під час роботи великий прес (заввишки 4 метри) зупинився у результаті стопоріння робочого органу в оброблюваній заготовці. Для усунення цього стопоріння необхідно було створити робочому органу пресу зворотний хід, повернути вручну у зворотний бік клинопасову передачу, яка встановлена зверху преса. Робітник піднявся на прес, потягнув клинопасовий ремінь у зворотний бік, колеса передачі почали прокручуватися. Рука робітника була в рукавиці, яка зачепилася за виступаючі з рухомого клинопасового ременя виступаючі дрібні металеві дротинки. Робітник не зумів вчасно висмикнути рукавицю із защемлених у неї металевих дротинок і його рука разом із рукавицею опинилася під ременем у клинових виїмках великого колеса, яке оберталося за інерцією. У результаті під дією великого навантаження робітник отримав перелом двох пальців руки, втратив працездатність і тривалий час перебував на лікуванні. Ось до чого призводить порушення правил техніки безпеки, оскільки цю операцію з усунення стопоріння робочого органу великого преса повинен був виконувати досвідчений фахівець (зовсім за іншою безпечною для життя людини технологією), а не звичайний робітник.

Розпорядження робітникові на виконання цієї небезпечної для його життя операції віддав змінний майстер, який мав знати правила техніки безпеки, особливо щодо роботи з такими великими та потужними технологічними об'єктами як прес заввишки 4 метри. Майстер повинен був знати, що таку складну та небезпечну операцію з усунення стопоріння робочого органу преса слід виконувати кваліфікованому фахівцю, а не простому, зовсім не підготовленому для цього робітнику. Проте з метою виконання плану майстер не став очікувати приходу спеціаліста (наладчика), а розпорядився робітникові самому виконати цю небезпечну операцію, яка й призвела до плачевних наслідків.

Аналізуючи цю ситуацію, слід зазначити, що вона відбулася також із-за невиконання ергономічних умов організації праці на пресі. Необхідно було передбачити безпечне виконання операції з усунення стопоріння робочого органу преса, наприклад, забезпечивши здійснення зворотного ходу преса автоматично за допомогою електродвигуна. Це не потребувало б робітникові виконувати цю дуже небезпечну для його життя операцію – вручну повертати великі колеса клинопасової передачі, в яких зосереджена величезна енергія

інерції, що миттєво привела до нещасного випадку – перелому пальців руки робітника.

Слід зазначити, що досить часто у цехах виробничих підприємств відбуваються розриви шліфувальних кругів у процесі обробки. Оскільки зона обробки шліфувального верстата є відкритою, то уламки від круга, що розірвався, розлітаються по всьому цеху з великою швидкістю (30 – 40 м/с) і часто травмують робітників. Мали також місце на виробництві випадки попадання довгого волосся жінок-робітниць у відкриту робочу зону обробки на верстаті, що призводило до смертельних наслідків. Все це, очевидно, пов'язане із порушенням правил техніки безпеки на робочому місці. Однак ці випадки можна було б запобігти, реалізуючи ергономічні вимоги, які пов'язані, насамперед, із закриттям зони обробки верстата різними пристроями. Для виключення розриву шліфувального круга у процесі роботи необхідно контролювати його правильну установку на верстаті (точність установки, допустиму величину дисбалансу, ступінь затуплення круга тощо). Усі ці чинники має безперервно контролювати служба з охорони праці на підприємстві.

Значною небезпекою сучасного виробництва є те, що працююча молодь дуже захоплена слуханням музики у навушниках на робочому місці. Через це не чути, що робиться поруч, особливо якщо в цеху працює кран-балка, що рухається та переміщує вздовж цеху різні вантажі. Працівник у навушниках не почує сигналів небезпеки, які подають йому інші працівники. Це може призвести до нещасних випадків. Навіть на території підприємства працівник у навушниках, переходячи дорогу, не почує сигнал, що подається машиною або іншим засобом, що рухається. Це також створює небезпеку виникнення нещасного випадку. Тому необхідно частіше нагадувати працівникам правила техніки безпеки та поведінки на території підприємства, зокрема, заборонити працювати та переміщуватися на території підприємства у навушниках [69]. Навушниками можна користуватися в обідню перерву у спеціально відведених для відпочинку місцях.

Під час роботи у дуже галасливих умовах допускається робота у навушниках, щоб убезпечити слуховий апарат від шкідливого впливу шуму. Ці види шкідливих шумів робіт обумовлені правилами техніки безпеки.

Запитання для самостійного контролю

1. У чому полягає сутність безпеки життєдіяльності?
2. Назвіть складові навколишнього середовища.

3. Надайте характеристику небезпек за природою походження.
4. Надайте характеристику небезпек за заподіяним збитком.
5. Поясніть сутність небезпек за характером впливу на організм людини.
6. Наведіть приклади техногенних небезпек.
7. Чим відрізняються хімічні небезпеки від фізичних небезпек?
8. Наведіть класифікацію небезпек залежно від наслідків впливу уражаючих факторів на організм людини.
9. Чим відрізняється небезпечна безпека від шкідливої небезпеки?
10. Надайте визначення ризику та видам і розмірам ризиків.
11. У чому полягає сутність системи "людина – середовище існування"?
12. Які підсистеми включає техногенне середовище?
13. Назвіть негативні чинники, що впливають на безпеку життєдіяльності людини у виробничому середовищі з фізіологічної точки зору.
14. Надайте визначення виробничої травми та професійного захворювання.
15. Якими негативними чинниками обумовлені виробничі травми та професійні захворювання?
16. Недосконалий технологічний процес може бути причиною професійного захворювання?
17. З чим пов'язані нещасні випадки та травми у виробництві під час роботи з електричними пристроями?
18. Як впливає побутове середовище на безпеку життєдіяльності людини?
19. Назвіть небезпечні і шкідливі чинники за природою походження.
20. Назвіть параметри, що визначають умови праці людини та її безпеку.
21. Як ергономіка впливає на безпеку життєдіяльності людини?
22. Як екологія впливає на безпеку життєдіяльності людини?
23. Назвіть рівень шуму, який шкідливий для людини.
24. Наведіть приклади ергономічних та екологічних небезпек життєдіяльності людини.
25. Які травми та професійні захворювання може отримати робітник під час роботи на металорізальному верстаті?
26. Наведіть приклади небезпек життєдіяльності людини у виробничих умовах.

Література: [4; 7; 8; 10 –13; 15; 17; 26; 36; 37; 38; 40; 41; 44; 47; 49; 59 – 69]

Розділ 2. Шляхи забезпечення безпеки життєдіяльності людини у виробничих умовах

2.1. Застосування сучасних безпечних для життєдіяльності людини технологій виробництва

Як зазначено у п. 1.6, одним із найбільш значних досягнень вирішення проблеми безпеки життєдіяльності верстатників на робочому місці виробничого підприємства стало застосування сучасних високопродуктивних метало-різальних верстатів із числовим програмним управлінням (ЧПУ) типу "обробний центр" закордонного виробництва (рис. 3, рис. 4) [14; 47], які виготовляються із закритою зоною обробки. На відміну від традиційно застосовуваних верстатів вони засновані на використанні високоефективних екологічно безпечних технологій високошвидкісної механічної обробки деталей машин.



Рисунок 3 – Верстат із ЧПУ типу "обробний центр" DOOSAN VM960 (виробництва Південної Кореї)

Слід зазначити, що верстати із ЧПУ, як і традиційні універсальні метало-різальні верстати, раніше виготовляли з відкритою зоною обробки. Тому на сучасних верстатах із ЧПУ закордонного виробництва зона обробки в процесі роботи повністю ізольована від верстатника, верстати закриті захисними кожухами. Всі захисні системи верстатів спроектовані так, щоб за нормальних умов роботи запобігти можливі ризики (контакт верстатника із оброблю-

вальною заготівкою, яка рухаються з великою швидкістю, із застосовуваними маслом і мастильно-охолоджуваними рідинами (МОР), вдихання парів МОР і пилу, викликаних особливостями оброблюваних матеріалів тощо). Встановлено, що рівень іонізуючого випромінювання в точках робочої зони верстата менше граничного рівня. Отже, верстат не є джерелом небезпечного рівня іонізуючих випромінювань. Встановлено також, що рівень шуму за нормальних робочих умов не перевищує 80 дБ, що є безпечним для користувачів верстата. Все це дозволяє убезпечити верстатника під час роботи на верстаті та покращує екологію виробництва й безпеку життєдіяльності працюючих на підприємстві.



Рисунок 4 – Обробний центр Doosan VM 2740U
(виробництва Південної Кореї)

Процес обробки у даному випадку повністю автоматизований, верстат із ЧПУ працює за спеціально підготовленою управляючою програмою. За суттю, сучасний верстат із ЧПУ працює під управлінням мінікомп'ютера. Верстатник на робочому місці займається встановленням заготівки та зняттям її після обробки, контролюванням за роботою верстата, користуючись пультом управління верстатом.

Оскільки робоча зона верстата під час його роботи повністю ізольована від верстатника, то неможливе випадкове потрапляння його руки (чи відкритого волосся верстатниці) у робочу зону верстата та отримання травми, як це може відбутися під час обробки на традиційних верстатах із відкритою зоною обробки.

Також стає неможливим потрапляння на верстатника у процесі обробки бризків мастильно-охолоджуючої рідини (емульсії – хімічно шкідливої речовини), яка подається у робочу зону верстата. Це значно покращує умови його праці, екологію робочого місця та виключає професійні захворювання верстатника. Верстатник менше втомлюється під час роботи та більш якісно і впевнено працює на протязі всієї робочої зміни. Все це в значній мірі відповідає вимогам ергономіки організації технологічного процесу механічної обробки виробів на металорізальному верстаті, оскільки процес обробки здійснюється в автоматичному режимі, верстатник більше наглядає за процесом і не зайнятий фізичними навантаженнями.

Розвиток систем управління верстатів із ЧПУ дозволив створити багатоопераційні верстати, які здійснюють різні технологічні операції металообробки: точіння, розточування, свердління, фрезерування, нарізання різблення тощо. На цих верстатах заготовка переміщується вздовж трьох координатних осей та обертається навколо поворотного стола. Багатоопераційні верстати із ЧПУ виготовляють із глобусними столами, які мають не тільки вертикальну, а й горизонтальну вісь повороту, що дозволяє обробляти заготовку з різних боків і під різними кутами при одному закріпленні. Зміна інструментів, режимів обробки виконується автоматично. Такі верстати називають оброблювальними центрами.

Економічна доцільність застосування багатоопераційних верстатів визначається, головним чином, скороченням допоміжного часу в загальному балансі часу обробки та вартості застосовуваних пристосувань.

За умови раціонального використання ці верстати забезпечують підвищення в 10 – 100 разів продуктивності праці та досягнення високих показників якості виготовлення деталей машин, що створює об'єктивні передумови кардинальної перебудови виробництва, виходу машинобудівних підприємств із кризи та організації випуску вітчизняної високоякісної конкурентоспроможної машинобудівної продукції, значного покращення умов праці робітників, підвищення культури виробництва та забезпечення безпеки життєдіяльності на підприємстві. Підтвердженням цього є досвід модернізації виробництва на низці машинобудівних підприємств міста Харкова та технічного переозброєння передових машинобудівних підприємств України новими наукомісткими технологіями виготовлення деталей машин. Значних успіхів у цьому напрямі досягнуто, насамперед, на підприємствах авіаційного комплексу, де актуальною є проблема виготовлення високоточних деталей. Так, на ДП ХМЗ “ФЕД” для її вирішення придбано та ефективно використовується понад 50 одиниць сучасних високооберто-

вих верстатів із ЧПУ виробництва провідних закордонних верстатобудівних фірм. У результаті більше половини складних у виготовленні деталей гідро- та паливорегулюючої апаратури авіаційного призначення (виготовлених із високоміцних сплавів та сталей) обробляється на цих верстатах за новими технологіями. Це дозволило гарантовано забезпечити високі вимоги щодо точності та якості оброблюваних поверхонь, багаторазово зменшити трудомісткість обробки, оскільки за діючими технологіями деталі оброблялися на різних верстатах, що вимагало їх тривалого налагодження, переустановки деталей.

За новими технологіями обробка даних деталей здійснюється на одному верстаті із ЧПУ фактично з одного установа в автоматизованому режимі. Це забезпечує більш точне позиціонування оброблюваної деталі, різко знижує трудомісткість її виготовлення. Наприклад, складні у виготовленні деталі раніше оброблялися на універсальному обладнанні з великою кількістю токарних, фрезерних та свердлильних операцій. Зараз ці операції об'єднані в одну операцію, яка виконується на сучасному центрі обробки PicoMax 60. Якщо раніше під час обробки однієї деталі використовувалося, наприклад, 47 різних видів ріжучих інструментів, то за новою технологією – всього 23 види інструментів, тобто досягнуто значної економії щодо витрати ріжучих інструментів. При цьому стабільно забезпечуються високі показники шорсткості та точності обробки. Продуктивність праці підвищилася в середньому у 2,5 рази, що дозволило скоротити кількість працюючих від 8 до 2-х осіб. Суттєво покращилися умови праці та культура виробництва, фактично виключено різні технічні небезпеки, які можуть призвести до травматизму та професійних захворювань працівників, їх робота стала більш цікавою та кваліфікованою.

Водночас, ці верстати із ЧПУ – закордонного виробництва та дуже коштовні. Тому питання їх придбання підприємством вимагають ретельного економічного аналізу та, насамперед, з погляду зниження собівартості на операціях обробки деталей машин, оскільки зниження собівартості – найважливіший шлях збільшення прибутку та рентабельності товарної продукції, підвищення промислового виробництва. У зв'язку з цим було проведено експериментальні дослідження собівартості обробки на операції фрезерування [31]. Встановлено, що застосування збірної кінцевої фрези, оснащеної твердосплавними пластинами зі зносостійким покриттям (закордонного виробництва), порівняно з вітчизняною монолітною фрезою дозволяє до 10 разів зменшити собівартість і приблизно в таку саму кількість разів збільшити продуктивність обробки. Ефект досягається, головним чином, завдяки зниженню статті витрат, пов'язаної із заробітною платою робітника.

Перспективним напрямом розв'язання цих завдань стало застосування високошвидкісної обробки на сучасних високообертових верстатах із ЧПУ: "PICOMAX", "HERMLE", "SPINNER" тощо. Обробка корпусних деталей на цих верстатах здійснюється з підвищеними швидкостями різання ((4000 – 20000) об./хв) і подачами ((6 – 30) м/хв). Широко застосовують прогресивні ріжучі інструменти фірм "KORLOY", "ISKAR", "GUHRING", "TAEGUTEC" та ін., що дозволяє значно підвищити продуктивність, точність та якість обробки. Незважаючи на високу вартість цих верстатів із ЧПУ та інструментів, в умовах високошвидкісної обробки термін їхньої окупності незначний.

Показовим може бути досвід застосування сучасних високообертових верстатів із ЧПУ в основному виробництві ПАТ "Світло шахтаря" (м. Харків). Основна продукція цього підприємства – шахтне обладнання, зокрема шахтні конвеєри. Головною проблемою під час їх виготовлення є виготовлення редуктора приводу. Зараз конструкторським бюро заводу розроблено значну кількість прогресивних конструкцій редукторів, тому актуальною є проблема їх якісного виготовлення. Для успішного вирішення цієї проблеми заводом придбано низку нових металообробних верстатів із ЧПУ, які наразі ефективно експлуатуються. Так, завдяки застосуванню сучасного зубошліфувального верстата із ЧПУ моделі HOFLEER RAPID 1250 (рис. 5), що працює за методом профільного копіювання, вдалося вивільнити 4 застарілі зубошліфувальні верстати, що працюють за методом обкату, і всю річну програму обробки зубчастих коліс виконувати на одному верстаті з забезпеченням високих вимог щодо точності та якості оброблених поверхонь [31]. Продуктивність обробки збільшилася більш ніж у 5 разів. Приблизно в таку саму кількість разів зменшилася собівартість обробки. Термін окупності придбаного зубошліфувального верстата становив лише 0,5 року, що свідчить про високу ефективність застосування нової прогресивної технології зубошліфування. Із метою подальшого вдосконалення операції зубошліфування на заводі було придбано координатно-вимірювальну машину GLOBAL Perfomance 122210. Вона призначена для автоматизації контрольних вимірювань параметрів точності обробки зубчастих коліс, а також інших оброблених деталей редукторів шахтних конвеєрів.

Необхідно зазначити, що ці вимірювання проводилися з використанням різних вимірювальних пристроїв з досить низькою точністю вимірювань і вимагали значного часу на вимірювання, тобто були дуже трудомісткі. Це ускладнювало, по-перше, контролювати розміри оброблених складнопрофільних зубчастих коліс, по-друге, вимагало тривалого налаштування зубошліфувального верстата на заданий розмір. У результаті загальна трудомісткість операцій зу-

бошліфування (що включала обробку зубчастого колеса на верстаті, вимірювання його розмірів та налаштування верстата на необхідний розмір) збільшувалася багаторазово. Застосування нової координатно-виміральної машини дозволило докорінно змінити структуру технології зубошліфування, оскільки ця машина дозволяє з одного установу вимірюваного зубчастого колеса виміряти і за допомогою комп'ютера графічно подати всі відхилення від заданих розмірів оброблених поверхонь зубчастого колеса. Це значно підвищило точність і багаторазово знизило трудомісткість вимірів. У зв'язку з цим фактично виключаються проблеми підналаштування зубошліфувального верстата на розмір через зношування шліфувального круга та прояви інших чинників. Підналаштування верстата здійснюється значно швидше в часі й з більшою точністю, що зрештою призводить до підвищення якості обробки зубчастого колеса і, відповідно, терміну його служби.

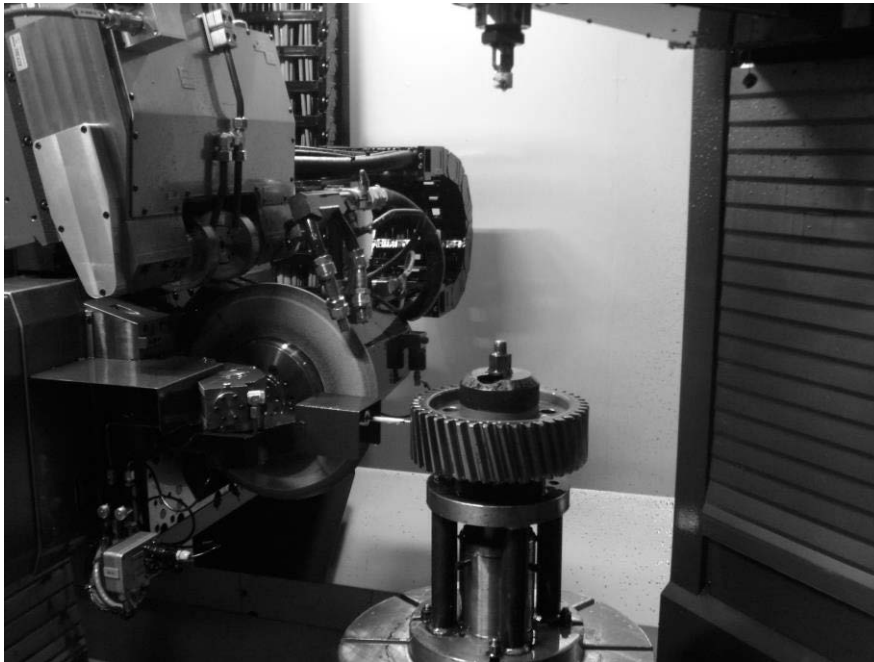


Рисунок 5 – Обробка зубчастого колеса на зубошліфувальному верстаті моделі HOFLEER RAPID 1250

Виготовлений таким способом редуктор приводу шахтного конвеєра характеризується значно вищими техніко-економічними показниками і стає конкурентоспроможним з кращими закордонними аналогами. Внаслідок цього продукція ПАТ "Світло шахтаря" фактично завоювала ринок України, оскільки шахтні конвеєри використовують практично на всіх вугільних шахтах України, а також на шахтах інших держав. Отже, завдяки розробленню нової технології

виготовлення редукторів приводів шахтних конвеєрів на основі оптимізації параметрів операцій за критерієм найменшої собівартості обробки, вдалося суттєво знизити трудомісткість і собівартість виготовлення редукторів за умови забезпечення високої якості обробки. Це дозволило зрештою вийти на виробництво конкурентоспроможної машинобудівної продукції.

Таким чином, широке застосування верстатів із ЧПУ створює умови розвитку гнучкого виробництва, головною особливістю якого є малолюдний і безлюдний характер. Це принципово змінює умови виробництва, значно підвищує його культуру, екологію та ергономіку. Завдяки цьому відкриваються нові можливості забезпечення безпеки життєдіяльності та охорони праці на підприємстві. Цьому також сприяє значний розвиток технологій виробництва, які за минулі 200 років зазнали значних змін. Із простих технологій вони перетворилися на складний комплекс знань ноу-хау, включаючи наукомісткі високі технології: нанотехнології, інформаційні технології, робототехніку, штучний інтелект, 3D-принтери, процесори та ін. Вони стали інноваційними технологіями, випереджаючими час, безперервно оновлюваними із розвитком науки і техніки, охоплюючи виробничу та соціальну сфери. Підтвердженням цьому є, наприклад, застосування нанотехнологій у різних галузях виробництва.

Нанотехнології – це сукупність методів і прийомів структуризації речовини на атомному й молекулярному рівнях з метою виробництва кінцевих продуктів з наперед заданою структурою. Нанотехнологія дає можливість створювати об'єкти принципово нової якості, наприклад, створювати матеріали, які містять структурні наночастки і які володіють якісно новими можливостями й експлуатаційними характеристиками. Все це дозволяє поліпшити властивості матеріалів і створювати пристрої з можливостями, які раніше були недосяжні на основі традиційних технологій.

Зменшення розмірів структур приводить до появи нового виду об'єктів, таких як лазерні генератори, які характеризуються унікальними можливостями.

Можливість синтезувати нанорозмірні структури з точно контрольованими розмірами й складом, а потім збирати їх у структури більших розмірів з унікальними можливостями й функціями приводить до радикальних змін у технологіях багатьох галузей промисловості, які займаються виготовленням матеріалів.

Нанотехнологія є, за суттю, наукою конструювання, що робить її потужним інструментом перетворення матеріального світу. Вона поєднує науку, техніку й освіту.

Можливість роботи на атомно-молекулярному рівні – з подальшим "атомним" складанням більших структур і з новими властивостями дозволяє по-іншому розуміти природу цих базових "будівельних блоків". Нанотехнологія дозволяє в мільйони разів точніше вимірювати у науці та техніці, а вдосконалені нано- і нейроелектронні комп'ютери дозволяють вирішити багато проблем моделювання й обробки інформації.

Уперше термін "нанотехнологія" ужив професор Токійського університету Норио Танигути у 1974 році: так він назвав виробництво виробів розміром кілька нанометрів.

Створення нових сучасних технологій призвело як до кардинальних змін у розвитку сучасної промисловості, так і до четвертої промислової революції (Індустрія 4,0), що стало важливим чинником підвищення рівня безпеки життєдіяльності людини у техногенному середовищі.

Свій погляд на досягнення четвертої промислової революції з точки зору розвитку сучасного автоматизованого промислового виробництва сформулював у роботі [14] співавтор даного навчального посібника Жовтобрюх В. О. – керівник Інженерно-Технічного Центру групи компаній "ВаріУс". Тому заслуговує на увагу наведені їм у п. 2.2 характерні риси четвертої промислової революції, які пов'язані, перш за все, із широким застосуванням цифрових технологій та програмного забезпечення у виробничих процесах. Наведені дані дозволяють із розумінням оцінити значення Індустрії 4,0 у забезпеченні безпеки життєдіяльності людини у сучасних умовах виробництва та в цілому у техногенному середовищі.

2.2. Індустрія 4,0.

Четверта промислова революція стрімко входить у наше життя





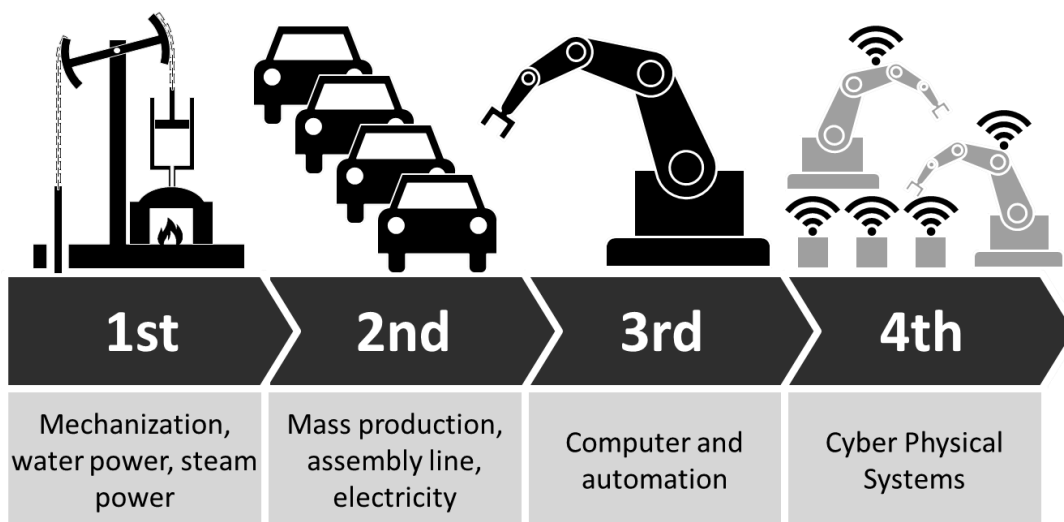
Жовтобрюх В. О. – керівник Інженерно-Технічного Центру
групи компаній "ВаріУс", кандидат технічних наук

Стрімкість розвитку процесів четвертої промислової революції – головна відмінність від трьох попередніх. Такого висновку я дійшов, коли мені пощастило побувати на кількох інноваційних промислових підприємствах Ізраїлю та Фінляндії. А на конференції, яка зібрала розробників інформаційних платформ для автоматизації конструкторсько-технологічних процесів, що відбулася навесні в Будапешті, довелося поспілкуватися з представниками ІТ-компаній з кількох європейських країн, які розробляють програмне забезпечення для промислового обладнання у США, Франції, Італії, Росії та інших країнах ближнього та далекого зарубіжжя. Відверто кажучи, я був приголомшений темпами технологічного розвитку протягом останнього року навіть сусідніх країн. Але ще більше мене вразив неймовірний обсяг потоку інформації навколо таких тем, як "промисловий інтернет речей", "цифровий верстат", "імітаційне моделювання" тощо.

Такий якісний стрибок в умах та виробничих планах представників машинобудівної галузі в усьому світі ввів мене у стан деякого страху. Слід зазначити, що страх відстати, не встигнути чи запізнитися завжди був однією з моїх фобій у навчанні, спорті та роботі, звичайно! Я зрозумів, що, очолюючи підприємство, яке завжди знаходилося на передовій технічного прогресу в Україні, упустити такий ривок у розвитку нових технологій не можу собі

дозволити. Звичайно, я й раніше усвідомлював, що ми, як інжинірингова компанія, лише впроваджуємо на українських підприємствах передове обладнання, інструмент, технології та спеціалізоване програмне забезпечення (ПЗ), передусім від зарубіжних розробників. Зарубіжних – лише тому, що немає вітчизняних конкурентних аналогів. А це означає, що країна загалом суттєво відстає у рівні впровадження інновацій від індустріально розвинених країн світу. Цікаво, що наука та освіта в Україні перебували на піку свого розвитку у 1970–80-х роках. Причому ще на початку 1990-х науковий потенціал був здатний давати промисловості серйозні, в тому числі й програмні продукти з автоматизації процесів, часто випереджаючи зарубіжні розробки, включаючи й область інформаційних технологій. Все це, на жаль, у минулому.

Я усвідомив, що мало не пропустив найцікавіше – ще стрімкіший ривок інформаційних технологій, коли змагання між верстатобудівниками за найдосконалішу конструкцію верстата перемістилося в область автоматизації та оцифрування процесів, у центрі яких знаходиться верстат. Прямо зараз у цьому активну участь беруть практично всі виробники верстатів із ЧПУ. Причому підприємці, які не бажають найближчими роками "вилетіти" з ринку, не лише з дедалі більшим інтересом спостерігають за розвитком подій, а й прагнуть діяти.



Зараз наші колеги з Європи повним ходом реалізують проекти оцифрування методів збору інформації із верстатів та інших виробничих механізмів не тільки в дослідних обсягах, але й на замовлення великих промислових холдингів, оцифровуючи процеси збору та аналітики інформації за допомогою сучасних інтернет-технологій. Причому, проекти з реальним фінансуванням – як від приватних замовників, так і в рамках державних програм. І що цікаво:

майже всюди проекти реалізуються за участю молодих талановитих спеціалістів із українським паспортом. Парадокс, але, перебуваючи за межами нашої країни, я знайшов пояснення дивної та досить неприємної зміни українського ринку праці, поміченої мною восени 2017 – навесні 2018 року.

Будучи за кордоном, я зрозумів, чому стало так складно знайти хорошого спеціаліста у будь-який підрозділ компанії навіть за гідної мотивації. Все просто: еліта української молоді, здобувши дипломи інженера, масово виїжджає працювати до Європи й надалі. До того ж, донедавна не всім пересічним українським громадянам фінансово доступна можливість навчання дітей у закордонних вишах із подальшим працевлаштуванням – сьогодні стала звичайною практикою. Особливо для мешканців обласних центрів України та, безумовно, Києва. Влітку 2014 р. один з відомих українських олігархів у відповідь на занепокоєння мого товариша про те, що скоро в Україні неможливо буде найняти молодих робітників та інженерів замість фахівців, які йдуть із заводів пенсіонерів і їдуть на заробітки до Польщі і Чехії, цинічно відповів: "Та гаразд, це ще не скоро, на наш вік вистачить!..". І – помилився!

Все міняється швидше, ніж очікували навіть ті люди, які давно мають "паспорт успіху в бізнесі". Я зустрів багато наших молодих інженерів, які працюють за межами країни. І добре працюючих! Хлопці, нам не наздогнати! Припускаю, що молодь і без хорошої освіти також за останній рік чималою мірою поповнила світовий генофонд країн, що розвивають науку, освіту та підприємництво, а тому не мають проблем із наявністю робочих місць як для корінних жителів, так і для мігрантів з України ...

Інтернет та інформаційні технології все активніше проникають не тільки в побутове середовище, а й у виробниче, допомагаючи йому ставати більш ефективним. Автоматизовані системи управління (АСУ) виробничими процесами вже нікого не дивують і давно стали нормою для будь-якого підприємства. Але, як правило, вони є сукупністю розрізнених, і нерідко розкиданих по території підприємства, обчислювальних машин або операційних центрів, об'єднаних у локальні мережі і вирішують вузьке коло завдань, дуже обмежене компетенцією фахівців певного департаменту.

Загалом, якщо чесно, нинішня ситуація із впровадженням цифрових рішень на українських підприємствах мені нагадує один анекдот із початку 1990-х. "Зустрілися два директори заводів з Японії та Союзу, які випускають одну й ту саму продукцію в однакових обсягах. Директор японського заводу розповідає, що всю роботу виконує 8 осіб і ставить питання колезі, а скільки у нього працівників? Директор радянського підприємства, у якого працювало в

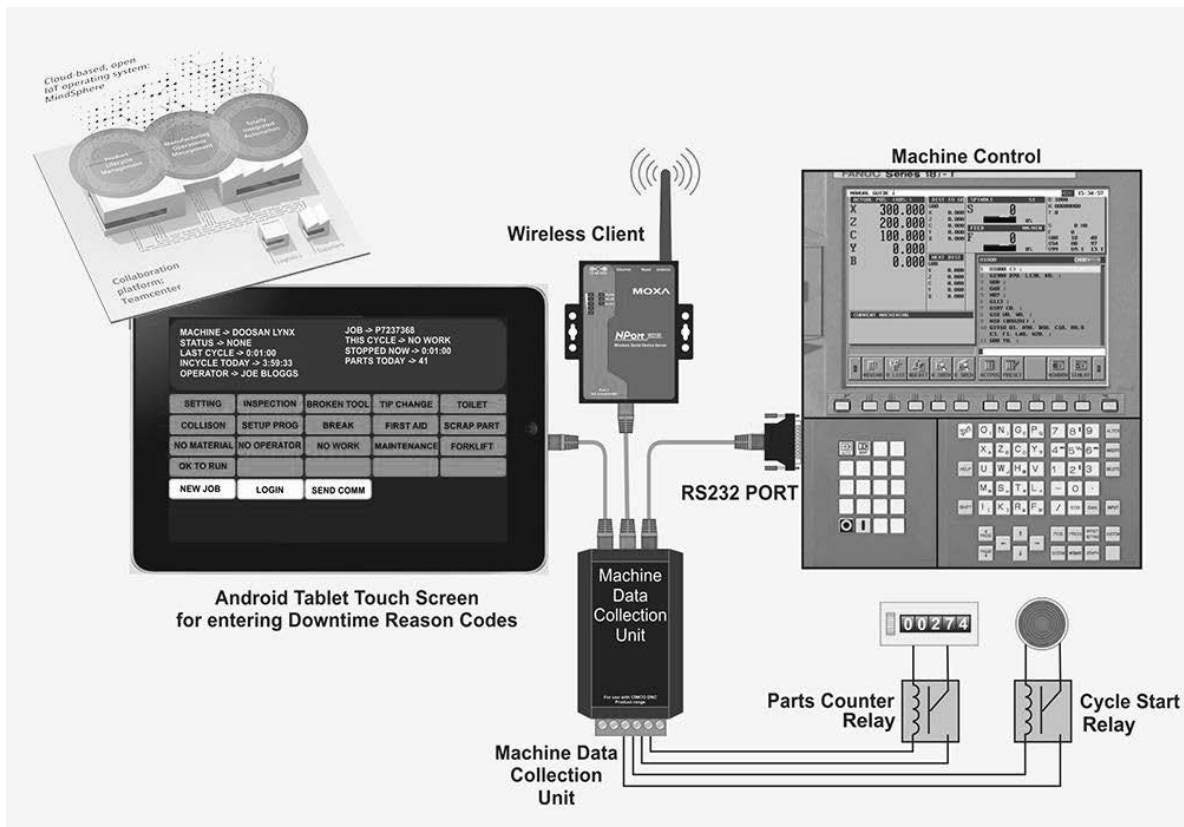
три зміни 300 співробітників, щоб не "впасти в бруд обличчям", не моргнувши оком, відповів – дев'ять! На наступний ранок зустрічаються в аеропорту. У японця червоні очі, він всю ніч не спав, побачивши свого вчорашнього співрозмовника, запитує: "Чим все ж займається ваш дев'ятий співробітник?..".



Рано чи пізно кожен думаючий керівник підприємства ставить питання, чи дійсно впроваджені 5 – 15 років тому ERP (Enterprise Resource Planning) та CRM (Customer Relationship Management) системи є достатніми для контролю продуктивності та ефективності роботи? Адже, як і 10 років тому, щоб дійсно зрозуміти, наскільки збалансовано працює виробництво, все ще необхідно регулярно виходити з кабінету в цех, буквально виконуючи одну з головних заповідей ощадливого виробництва Кайдзен про те, що з усіх можливих методів контролю слід обирати візуальний!

На думку багатьох українських керівників машинобудівних підприємств, причини низької окупності інвестицій в обладнання криються у невисокій мірі або у спотвореній поінформованості менеджменту підприємств про стан справ на виробничих майданчиках. А також у нездатності персоналу чи інформаційних систем превентивно оцінювати ситуацію, плануючи своєчасні заходи щодо запобігання можливим збоям у роботі цеху, окремого верстата або навіть певного вузла.

Збір та підготовка даних для вже діючих систем ERP нерідко є слабким місцем, яке не дозволяє отримати реальну картину про ключові показники ефективності для кожного підприємства своїх.



Мій знайомий Андрій Ловигін, дуже талановитий успішний бізнесмен, будучи розробником однієї з найефективніших систем моніторингу роботи обладнання, розповів історію про те, що один його клієнт, який вклав величезні кошти на купівлю кількох десятків металообробних верстатів з ЧПУ, протягом кількох місяців отримував звіти як на свій комп'ютер, так і у паперовому вигляді про завантаження обладнання на 90%! Але коли одного разу, перш ніж ухвалити рішення про додаткову закупівлю обладнання для повного виконання обсягу замовлень, він сам зайшов у цех у розпал робочого дня, то виявив, що жоден верстат не працював у конкретний момент!

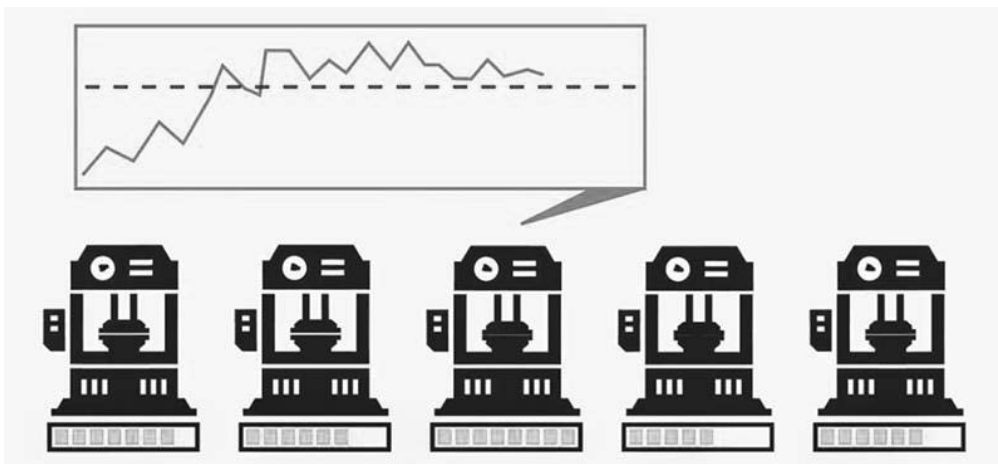
Впровадження на даному підприємстві системи автоматизованого збору інформації про завантаження обладнання показало реальну ситуацію: лише 17% ефективного завантаження! Вжиті заходи призвели до того, що відпала потреба у нових інвестиціях. Вже встановленого устаткування з лишком вистачало для виконання всієї виробничої програми.

Ощадливе конкурентоспроможне виробництво – мрія будь-якого власника промислової компанії. Найчастіше цими питаннями бувають стурбовані саме керівники підприємств, які інвестували чималі кошти в організацію сучасних виробничих ділянок та придбання сучасного обладнання. Вони прагнуть підвищити ефективність процесів з допомогою застосування швидких і розумних верстатів, що мало залежать від кваліфікації персоналу. Але дуже

скоро виявляється, що цього недостатньо для перетворення заводу на бездоганну "машинку для заробляння грошей". Терміни окупності відрізняються від тих, що планувалися на етапі проектування. Це впливає на підвищення собівартості продукції в результаті:

- незапланованих простоїв обладнання;
- низької продуктивності процесу обробки;
- неефективності служб, які повинні швидко ліквідувати непланові простой.

Причини простоїв, неефективного використання обладнання, поломок або нецільового використання верстатів завжди одні й самі. Кожен досвідчений виробник має управлінські рецепти для "ручного" вирішення практично всіх таких випадків. Саме тому ефективність будь-якого виробництва завжди драматично зростає у моменти фізичної присутності вищого менеджменту підприємства у цехах.



Ключовою проблемою для такого власника або керівника підприємства є низький рівень поінформованості про те, що реально відбувається в цеху. І тут на допомогу приходять продукти компаній, що займаються розробкою та вдосконаленням систем управління виробничими процесами на базі автоматизованого збору даних – MES (Manufacturing Execution System). Сучасні системи моніторингу ефективності роботи обладнання здатні збирати та обробляти величезні потоки інформації, надаючи все більш ексклюзивні звіти співробітникам та менеджменту підприємства.

Системи моніторингу ще далекого 2005 року почали пропонувати багато великих виробників обладнання (Siemens – Simco MDC-Max, FANUC – MTLINK), а двома-трьома роками пізніше і деякі незалежні інтегратори та розробники (Zyfra – MDCPlus, Predator-Software, NetworkDNC).

В Україні ринок MDC-систем (Machine Data Collection) поки що не зайнятий власними розробниками. Деякі підприємства користуються самописними розробками, що враховують локальну специфіку обладнання, інші купують закордонне програмне забезпечення. Якщо говорити про найвідоміші закордонні системи, то порівняльна таблиця характеристик виглядатиме приблизно таким чином:

Таблица. Сравнение характеристик поставщиков MDC-услуг

	CIMCO MDC-MAX	FANUC MT-LINKI (Япония)	PREDATOR- SOFTWARE	СМПО Foreman (Россия)	MDCPlus (Финляндия)
Поддержка прямых протоколов					
MTConnect	Yes	Yes	Yes**	Yes	Yes
OPC UA	Yes	Yes	Yes**	Yes	Yes
DNC Opt #18	Yes	No	Yes**	Yes	Yes
FOCAS	Yes	Yes	Yes**	Yes	Yes
Siemens	Yes*	No	Yes**	Yes	Yes
M-NET	Yes	No	–	Yes	Yes
Работа с сигналами электроавтоматики					
Наличие аппаратного блока	Yes	No	Yes	Yes	Yes
Обратная связь рабочего места оператора					
Терминал оператора	No	No	No	Yes	Yes
Прочий функционал					
Клиент-серверная архитектура	Yes	Yes	Yes	Yes	Yes
Интеграция в Windows домен	Yes	No	Yes**	Yes	Yes
Интеграция с MES и CRM	No	No	–	Yes	Yes
API	–	No	Yes**	–	Yes
Экспорт данных для дальнейшей обработки	Yes	No	No	Yes	No
Модуль ТОИР	No	No	No	No	Yes
Модули управления производством	–	No	No	Yes	Yes

Примечание: * — с аппаратным блоком;
** — в зависимости от версии ПО.

Представленные системы находятся примерно в одной ценовой категории.
Из зарубежных разработок лишь одна из систем полностью русифицирована — это финская MDC.

Використовувати численні закордонні розробки українські підприємства, відверто, остерігаються, побоюючись неоднозначної інтерпретації законів, які регламентують роботу із закордонними програмами. Незважаючи на велику кількість систем моніторингу, багато з них мають надлишковий функціонал, часто незатребуваний замовником, який впливає на вартість. Малі та середні виробництва, в першу чергу, потребують простих систем, які даватимуть цеховим службам та менеджменту базове розуміння ступеня завантаженості обладнання.

Спільно з ІТ-департаментом Інженерно-Технічного Центру "Варіус" ми вирішили розробити власний програмно-апаратний комплекс моніторингу, базова версія якого поширюватиметься для всіх замовників обладнання DOOSAN безкоштовно. Ця версія дозволить отримувати первинну управлінську інформацію щодо завантаженості обладнання, оснащеного стійками ЧПУ FANUC. Візуалізацію цього комплексу ми представляли на стенді компанії в рамках Промислового форуму в Києві з 20 по 23 листопада 2018 р. І якщо ринок

виявить інтерес до даної розробки, то ми готові випустити і повноцінне комерційне рішення з урахуванням потреб підприємств.

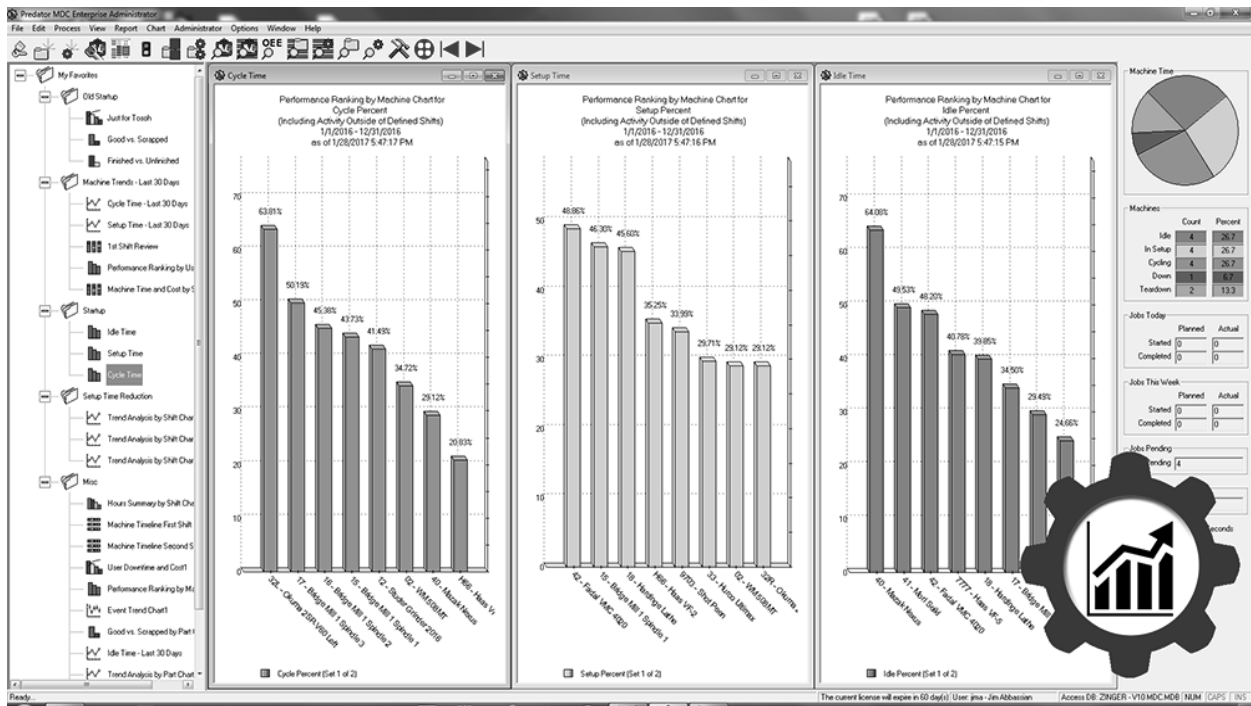
Останнім часом лавиноподібний розвиток отримали системи, що дозволяють, з одного боку, автоматизувати збір даних з кожної виробничої одиниці докладно та майже достовірно, а з іншого – здатні аналізувати ситуацію та генерувати звіти для будь-якого структурного підрозділу підприємства. Це дозволяє керівнику або власнику підприємства з будь-якої точки світу, де є інтернет, спостерігати за роботою верстатів з екрана комп'ютера, планшета або телефону. А за потреби – одним дотиком сформувати звіт про завантаження обладнання за день, тиждень, місяць чи рік. Сучасні системи дозволяють формувати такі звіти за кілька секунд, видаючи безпристрасні дані про реальний стан справ на кожному верстаті, кожного оператора або всього цеху. Можна з'ясувати причини простою, оцінити оперативність роботи сервісних служб.

А начальник цеху або головний технолог будь-якої миті підключившись до мережі може отримати всю необхідну інформацію прямо зі СЧПУ будь-якого верстата, визначити, яка деталь обробляється, переглянути кадр керуючої програми в онлайн-режимі та оцінити правильність обраних режимів. Не кажучи вже про те, що так само дистанційно можна запобігти випадкам нецільового використання обладнання, наприклад, у третю зміну. Очевидно, що збирання такої інформації може мати колосальний вплив на ефективність роботи підприємства.

При цьому, за визнанням багатьох фахівців у галузі верстатобудування, вже зараз технічні характеристики та конструкція аналогічних верстатів різних виробників стають дедалі ближчими. У недалекому майбутньому різниці між ними при оцінюванні таких параметрів, як потужність, жорсткість та швидкість, фактично не буде. У зв'язку з цим, для формування конкурентних переваг, верстатобудівники все активніше створюють свою програмну екосистему з багатьма корисними модулями. Впроваджують, наприклад, дуже корисні опції, що дозволяють верстату вчасно визначити рівень вібрації відповідальних елементів верстата.

Або, не знімаючи інструмент зі верстата, контролювати параметри його зношування.

Або дати можливість системі управління самостійно згенерувати найефективнішу траєкторію руху фрези з урахуванням усіх вихідних даних. І навіть допомагають вибрати оптимальний інструмент із наявного на складі для виконання певної технологічної операції.



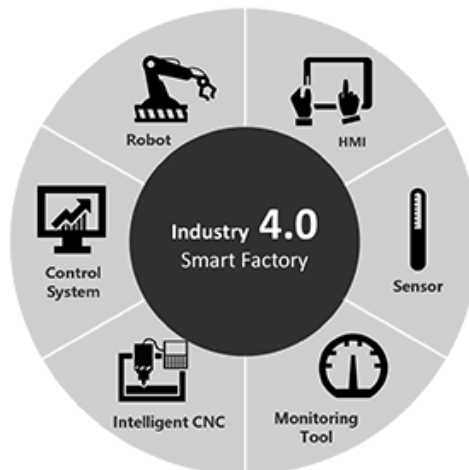
Сьогодні можна сказати, що суспільство знаходиться на середині шляху до тотального оцифрування різних процесів, включаючи індустріальне виробництво та, перш за все, машинобудування.

Згідно з концепцією Industry 4.0, яка була озвучена у 2011 р. у Давосі Клаусом Швабом, президентом Всесвітнього економічного форуму, завдяки прискореній інтеграції у промислові процеси кіберфізичних систем участь людини у виробництві продукції буде значно скорочена. Людина та машина зможуть працювати разом над поставленим завданням, оскільки зітнуться межі між цифровими технологіями та біологічним світом. Це означає, що завдяки значному підвищенню рівня програмного забезпечення верстатів та допоміжні пристрої, об'єднані між собою мережею, зможуть надати максимальне сприяння людині у досягненні поставленої мети. І при цьому результат буде отримано найефективнішим та найоптимальнішим за вартістю шляхом.

Наприклад, вже сьогодні виробники масово пропонують до впровадження колаборативні роботи, абсолютно безпечні для людини завдяки наявності в їх конструкції спеціальних сенсорів та датчиків. Система управління цих машин дозволяє легко інтегрувати в цехову мережу типу Esernet. Вони легко "спілкуються" із верстатами і обслуговуючим персоналом відповідно до розроблених індивідуально під них або стандартних протоколів.

Переваги такої концепції є очевидними. Такі маніпулятори та інші допоміжні механізми, оснащені сенсорами, не припиняють роботу навіть під час появи в робочій зоні обслуговуючого персоналу для контролю, ремонту або

з метою поповнення замовленого верстатом інструменту. А зв'язок по мережі, відповідно до концепції "інтернету верстатів", дозволить верстатам та допоміжним механізмам самостійно перерозподіляти завантаження з урахуванням позаштатних ситуацій, наприклад при виході з ладу якогось обладнання.



Звичайно, обмеженням масового впровадження подібних рішень, як і раніше, є вартість таких "розумних" пристроїв та складність визначення їх ефективності, особливо для підприємств, що працюють у нестабільній політико-економічній реальності. Але дуже скоро ситуація з підготовкою та набором кваліфікованих співробітників стане настільки серйозною, що питання перед менеджментом промислових підприємств лежатиме вже не в площині вартості автомата чи робота, який замінює людину. А в тому, чи закрити виробництво зовсім, чи визнати невідворотність процесів Industry 4.0 і "найняти" на роботу в заздальгідь оснащений "цифровий цех" найбільш ефективного робота.

Фрезерний центр, оснащений СЧПУ з інтелектуальним інтерфейсом, відразу після інтеграції до цифрового простору цеху зможе отримати всі необхідні дані із системи планування виробничих завдань. Вибравши своє завдання, визначить залишки доступних заготовок, звірить технологічну карту з наявністю різального інструменту в магазині та на складі, доведе все необхідне, відправить sms/e-mail відповідальній особі: в ОГТ – якщо верстату довелося змінити технологію на альтернативну через підвищення зношування фрези чи заміни на іншу; в ОГМ – якщо превентивний аналіз свідчить про підвищену вібрацію у шпиндельному вузлі й потрібно замовити підшипник; у відділі забезпечення виробництва – якщо не вистачає заготовок.

Фонди на інтеграцію цифрового контролю – це заощаджені інвестиції у технічне оснащення підприємства. Контроль та моніторинг виробничих

процесів дозволяють усунути неефективне використання наявного обладнання та у певних випадках відмовитися від закупівлі додаткових потужностей там, де можна обійтися технологічними чи адміністративними рішеннями. Переоснащення саме собою є процесом безперервним, отже, складається з етапів. Простіше кажучи, встановити систему моніторингу ефективності роботи обладнання має сенс на одному з етапів, щоб за її допомогою оцінити економічну ефективність інвестованих коштів.

Насамперед необхідно окреслити коло завдань, які має вирішити автоматизація. Наприклад, у деяких випадках рішення від великих виробників систем автоматизації можуть бути надмірно складними і коштовними. У той же час гравці-початківці можуть бути недостатньо гнучкими, оперативними в підтримці та розвитку продукту. В ідеалі я рекомендував би вибирати розробника програмного забезпечення зі штатом співробітників, які здійснюють підтримку власними силами та володіють успішними кейсами інтеграції завдань, що належать до вашого типу виробництва, а також зі зрозумілим планом виходу нових версій програмного забезпечення та їх оновлення.

2.3. Застосування екологічно безпечних для життєдіяльності людини технологій металообробки

Як видно, наведені у п. 2.2 характерні риси сучасного промислового виробництва пов'язані, перш за все, із широким застосуванням цифрових технологій та програмного забезпечення у промислових процесах, автоматизації виробництва, переходу на малолюдні та безлюдні технології, створенні заводів-автоматів на основі використання робототехнічних засобів та автоматизованого управління виробництвом. Все це значно підвищує науково-технічний рівень виробництва та створює необхідні умови виготовлення конкурентоспроможної промислової продукції. Це також підвищує культуру, ергономіку та екологію виробництва. Стають безпечнішими технології виробництва й менше виникає питань з охорони праці, що у кінцевому підсумку забезпечує безпеку життєдіяльності людей у сучасних умовах виробництва на підприємстві.

Таким чином, технологічні рішення, наведені у п. 2.2, слід розглядати інноваційними рішеннями безпеки життєдіяльності виробничого середовища, яких можна досягти завдяки широкому впровадженню на промислових підприємствах значних науково-технічних досягнень четвертої промислової революції (Індустрія 4,0). Однак у реальних умовах виробництва реалізувати ці рішення у повному обсязі достатньо складно. Тому для досягнення високих

вимог щодо якості та економічності виготовлення, наприклад, машинобудівної продукції, здатної з успіхом конкурувати зі світовими аналогами на міжнародних ринках, важливо, перш за все, вирішити питання застосування більш ефективних сучасних технологій виробництва. Особливо це стосується технологій металообробки, оскільки для ефективного складання машин та їх успішного функціонування необхідно виготовляти високоточні й високоякісні деталі машин із нових металевих і неметалевих важкооброблюваних матеріалів (тверді сплави, зносостійкі наплавлення й покриття, алмази, високотверді кераміки й ферити, технічне скло тощо), а також досягати більш високих показників якості, точності, продуктивності, собівартості, трудомісткості обробки тощо.

Прагнення керівників промислових підприємств до зниження витрат на виробництво і підвищення прибутку підприємства призводить до застосування високопродуктивних технологій металообробки, заснованих, як правило, на поєднанні різних видів енергій (механічної, хімічної, електричної та ін.). Із однієї сторони, це сприяє інтенсифікації процесів металообробки, а з іншої сторони, призводить до появи небажаних чинників, які негативно впливають на екологію робочого місця і виробництва в цілому, зниження працездатності та безпеки життєдіяльності робітників. Отже, вирішення важливої проблеми забезпечення безпеки життєдіяльності техногенного середовища шляхом підвищення, в першу чергу, екологічної безпеки виробництва та зниження і навіть виключення небезпечних (шкідливих) впливів на життєдіяльність робітника і стан навколишнього середовища є однієї із основних умов розвитку економіки країни і поліпшення добробуту населення. Важливу роль у цьому відіграє застосування у виробництві екологічно чистих технологій, наприклад, таких, що виключають використання хімічно шкідливих для здоров'я робітника технологічних середовищ.

Прогресивним методом обробки виробів, виготовлених із важкооброблюваних металевих та неметалевих матеріалів підвищеної твердості, є шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках, які забезпечують досягнення високої продуктивності обробки та необхідну якість оброблюваних поверхонь. Ефект обробки досягається, головним чином, завдяки високій твердості та гостроті різальних кромek алмазних зерен шліфувального круга. Разом із тим, внаслідок високої міцності утримання алмазних зерен у металевій зв'язці круга, вони після зношування не випадають, а продовжують приймати участь в процесі шліфування, викликаючи інтенсивне тертя в зоні різання. Це різко знижує ріжучу здатність алмазного круга й, відповідно, якість та продуктивність обробки.

Як показує практика, застосування традиційних методів механічного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках із використанням для цього звичайних абразивних кругів або абразивних брусків викликає значні складності відновлення їх ріжучої здатності. Вони пов'язані зі значними навантаженнями, що виникають у зоні обробки, та утворенням абразивного пилу, який є шкідливим для здоров'я робітника й устаткування, засмічуючи його та інтенсивно зношуючи рушійні частини, що погіршує умови праці й екологію виробництва.

Крім того, процес видалення зношених алмазних зерен із робочої поверхні алмазного круга під час механічного правлення дуже тривалий за часом. При цьому далеко не завжди вдається повністю видалити зношені алмазні зерна та забезпечити їх достатню висоту виступання над рівнем зв'язки круга. У зв'язку з цим виникла необхідність застосування нових більш досконалих методів правлення алмазних кругів на металевих зв'язках. До них слід віднести метод електрохімічного правлення алмазного круга, який є більш ефективним із технічної точки зору. Цей метод заснований на електрохімічному розчиненні металевої зв'язки у середовищі електроліту [16; 20; 23; 42]. У результаті зношені алмазні зерна випадають зі зв'язки круга, поступаючи місцем нижчерозташованим незношеним зернам. Це забезпечує високу ріжучу здатність алмазного круга й підвищення якості та продуктивності обробки під час шліфування.

Таким чином, метод електрохімічного правлення алмазного круга на металевій зв'язці дозволяє безперервно розкривати на його робочій поверхні нові шари гострих зерен, утворюючи новий ріжучий рельєф, який характеризується високою гостротою та продуктивністю обробки. На основі цього методу розроблено ефективну технологію алмазного електрохімічного шліфування твердих сплавів та різних високотвердих матеріалів [23; 42]. Ця технологія дозволяє здійснювати безперервне електрохімічне правлення алмазного круга у процесі шліфування. Крім того, ця технологія поєднує електрохімічне та механічне зняття оброблюваного матеріалу із заготовки (рис. 6), що забезпечує суттєве підвищення продуктивності та якості обробки, зниження інтенсивності зношення достатньо коштовного алмазного круга на металевій зв'язці.

Сутність технології алмазного електрохімічного шліфування полягає у тому, що в зону різання подається електричний струм із напругою 10 – 12 В та сильний електроліт. У якості основи електролітів використовують неорганічні (натрієві або калієві) солі, водні розчини яких мають високу електропровідність і забезпечують ефективне протікання електрохімічних процесів.

Як правило, це нітрат натрію (застосовують також гідроксид натрію, карбонат натрію та хлорид натрію). Електроліт спричиняє електрохімічні реакції на поверхні заготовки та окислення поверхні, що приводить до видалення матеріалу. У результаті відбувається одночасне протікання трьох процесів: електрохімічного (анодного) розчинення в електроліті оброблюваного матеріалу й струмопровідної металевої зв'язки алмазного круга та механічного різання. Це дозволяє здійснювати комбіноване високопродуктивне знімання оброблюваного матеріалу завдяки одночасному протіканню електрохімічної реакції та механічного різання. Також це дозволяє підтримувати високу різальну здатність алмазного круга на високоміцній металевій зв'язці завдяки його безперервному електрохімічному правленню у процесі обробки, що значно підвищує продуктивність та якість обробки.



Рисунок 6 – Схема здійснення процесу шліфування

Слід зазначити, що під час алмазного електрохімічного шліфування здійснюється безперервна подача електроліту під тиском через сопло у зону шліфування (між кругом і оброблюваною деталлю). Сопло встановлено достатньо близько від зони контакту алмазного круга з оброблюваною деталлю. Незважаючи на невеликий діаметр отвору в соплі, потік електроліту, що виходить, внаслідок розбризкування охоплює значну частину зони обробки. У результаті під дію електроліту потрапляють конструктивні елементи шліфувального верстата й оброблювана деталь, що викликає їх корозію та передчасний вихід з ладу.

Бризки електроліту також потрапляють на одяг робітника, а якщо робочий знаходиться без рукавиць, то й на його руки. Очевидно, це може призвести до професійного захворювання робітника, оскільки електроліти, які застосовують під час алмазного електрохімічного шліфування, містять екологічно шкідливі для здоров'я верстатника речовини.

Крім того, у процесі алмазного електрохімічного шліфування у результаті електрохімічного розчинення оброблюваного матеріалу й металевій зв'язки алмазного круга утворюються гази і аерозолі. Це приводить до утворення на робочому місці туману із електроліту зі шкідливими складовими для організму верстатника. Туман осідає на всі ділянки шліфувального верстата й на робітника, який протягом зміни вдихає цей електролітний туман й погіршує своє здоров'я із-за того, що електролітний туман негативно впливає на його органи дихання. Тому часто у верстатників спостерігалася кровотеча з носа, й вони відмовлялися працювати в даних умовах, вимагали заборони застосування алмазного електрохімічного шліфування – як шкідливої для здоров'я верстатника технології обробки, оскільки це порушувало умови безпеки життєдіяльності та охорони праці.

Таким чином, технологія алмазного електрохімічного шліфування погіршує екологію виробництва внаслідок наявності в зоні обробки шкідливих для здоров'я робітника й обладнання сильних електролітів, які забруднюють робоче місце хімічно активними речовинами. У результаті цього обладнання піддається інтенсивному корозійному зносу і втрачає свої технічні характеристики.

Крім шкідливої для здоров'я робочого технології алмазного електрохімічного шліфування, у ряді випадків на виробництві отримала застосування технологія хімічного травлення (правлення) різальної поверхні алмазного круга на міцній металевій зв'язці М2-01 із метою забезпечення його високої ріжучої здатності. Для цього алмазний круг поміщали в концентровану кислоту (42-відсотковий розчин азотної кислоти) і витримували певний час. Після обробки для захисту металевій зв'язки від корозії та нейтралізації процесу травлення алмазний круг промивали. Як показала практика, ця технологія є досить ефективною. Вона не вимагає складного обладнання та пристроїв, крім вентиляційних пристроїв. Разом з тим, вона не є екологічно безпечною технологією, тому що шкідливо впливає на здоров'я робітника через наявність у концентрованій кислоті екологічно шкідливих для здоров'я робочого речовин.

Для зниження шкідливої дії на здоров'я верстатників електролітів та інших шкідливих речовин, що використовують під час алмазного електро-

хімічного шліфування та хімічного травлення, застосовують місцеву вентиляцію для відсмоктування шкідливих речовин безпосередньо від місця їх утворення. Також встановлюють різні витяжні пристрої. Вони дозволяють певною мірою видалити туман, що утворюється із електроліту, на робочому місці, і поліпшити умови праці верстатника. Однак, не вирішують повністю проблему безпеки його праці. Це вимагає подальшого пошуку нових конструктивних технічних рішень, пов'язаних із закриттям зони обробки верстата різними пристроями, а також із удосконаленням та розробленням нових більш ефективних технологій алмазного шліфування та правлення алмазних кругів на металевих зв'язках, які не потребують застосування шкідливих для здоров'я верстатників електролітів та інших шкідливих речовин.

Таким чином встановлено, що основною причиною зниження рівня безпеки життєдіяльності на виробничих підприємствах таких небезпечних галузей України як металургійна, переробна та машинобудівна промисловості є використання застарілих технологій виробництва та достатньо зношеного обладнання, які погіршують екологічні та ергономічні умови праці, шкідливо впливають на здоров'я працівників.

Виходячи із цього, застосування верстатів із ЧПУ із закритою зоною обробки слід розглядати важливою умовою ефективного використання на виробничих підприємствах технології алмазного електрохімічного шліфування (рис. 7), яка, як показано вище, дуже обмежена із-за шкідливої дії на здоров'я верстатників сильних електролітів.



Рисунок 7 – Електрохімічний верстат ET6000-3D

Виникаючий у процесі шліфування туман із електроліту зі шкідливими складовими для організму верстатника у даному випадку концентрується у закритій зоні обробки верстата із ЧПУ, а потім за допомогою витяжних пристроїв виноситься у повітряний простір за межі виробничого підприємства. Це повністю забезпечує умови охорони праці та безпеки життєдіяльності верстатника на робочому місці. Однак, верстати із ЧПУ для алмазного електрохімічного шліфування – закордонного виробництва й дуже коштовні. Тому на підприємствах України процес алмазного електрохімічного шліфування традиційно здійснюють на звичайних універсальних шліфувальних верстатах. Виходячи із цього, проблема екології та небезпечних для здоров'я верстатників умов праці залишається невирішеною. Кількість питань, виникаючих при цьому, вимагає й подальшого поглибленого вивчення даної проблеми. Все це значно обмежує практичне застосування прогресивної технології алмазного електрохімічного шліфування та вимагає її удосконалення, в першу чергу, шляхом виключення із технологічного процесу шкідливого для здоров'я верстатника електроліту.

Однак, якщо вилучити із цього технологічного процесу застосування електроліту, то фактично вилучається можливість застосування алмазних кругів на металевих зв'язках, які незамінні під час шліфування деталей, виготовлених з важкооброблюваних металів. У результаті має місце замкнуте коло, виходом з якого може бути лише перехід на нові більш досконалі технології алмазного шліфування, засновані на інших фізичних ефектах, які виключають шкідливе для екології виробництва електрохімічне розчинення металевої зв'язки алмазного круга й одночасно забезпечують його високу ріжучу здатність у процесі шліфування. Тому важливо обґрунтувати вибір оптимальних екологічних рішень під час створення екологічно чистих технологій алмазного шліфування. Для цього слід розглянути закономірності формування екологічних умов виробництва під час шліфування, виявити основні недоліки діючих технологій алмазного шліфування, які пов'язані, головним чином, із застосування екологічно небезпечних методів механічного та електрохімічного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках. Це дозволить розробити практичні рекомендації з ефективного застосування методів правлення алмазних кругів на металевих зв'язках та підготовки їх до роботи для забезпечення екологічно чистих умов шліфування.

Як показує практика, під час алмазного електрохімічного шліфування, поряд із процесом електрохімічного розчинення металевої зв'язки протікає процес електроерозії, який виникає у зв'язку з появою електричних розрядів

між алмазним кругом і оброблюваною деталлю. Дія електричних розрядів викликає локальні ударно-термічні мікроруйнування металевої зв'язки внаслідок виникнення надзвичайно високих температур (рис. 8) [6]. У результаті відбувається видалення з робочої поверхні круга затуплених алмазних зерен і забезпечується його висока ріжуча здатність, що призводить до підвищення продуктивності та якості обробки при шліфуванні. Чим вище сила електричного струму, що підводиться в зону шліфування, тим більш інтенсивно протікає процес електроерозії й більш значним стає об'єм металевої зв'язки алмазного круга, яка видаляється від дії електричних розрядів.

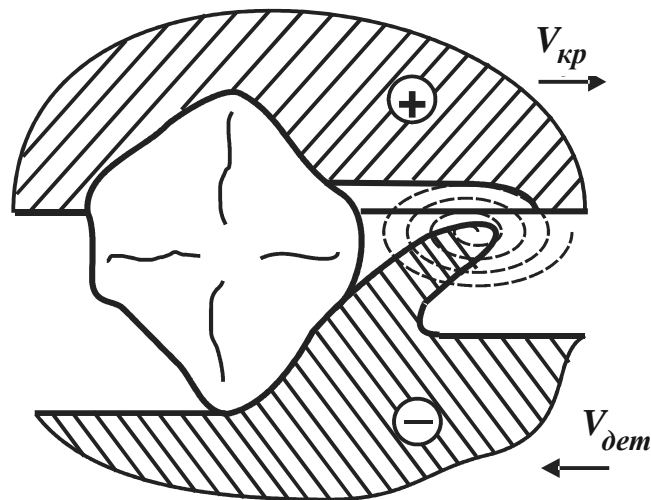


Рисунок 8 – Схема електроерозійної дії на металеву зв'язку алмазного круга ($V_{кр}$ – швидкість круга; $V_{дет}$ – швидкість деталі)

Встановлено, що за певних умов об'єм металевої зв'язки, що видаляється у результаті дії електричних розрядів, може бути більше об'єму металевої зв'язки, що видаляється у процесі її електрохімічного розчинення. Тому в цих умовах відпадає необхідність в електрохімічному розчиненні металевої зв'язки алмазного круга, оскільки її можна видалити завдяки присутності у процесі шліфування електричних розрядів.

Як відомо із курсу фізики, механізм утворення електричних розрядів між двома тілами не вимагає застосування рідини. Для здійснення процесу необхідно лише встановити певний зазор між двома тілами, оскільки за його відсутності електричні розряди не виникають, а між тілами протікає електричний струм, який не викликає виникнення електроерозії металевої зв'язки алмазного круга. Із цього випливає, що для утворення електричних розрядів не потрібно застосовувати електроліт, оскільки процес може протікати "всуху".

Застосування рідини у цьому випадку може бути пов'язано лише з поліпшенням умов вимивання із зони обробки продуктів електроерозійного руйнування металевої зв'язки алмазного круга. Отже, для ефективного протікання процесу електроерозії достатньо у зону обробки подавати звичайну технічну воду, яка на відміну від застосовуваних електролітів під час алмазного електрохімічного шліфування, виключає шкідливий вплив на здоров'я робітника та устаткування.

Виходячи із такого подання процесу електроерозійної дії на металеву зв'язку алмазного круга, на практиці набула поширення технологія алмазного електроерозійного шліфування. Вона заснована на введенні у зону шліфування додаткової електричної енергії у формі електричних розрядів (рис. 9) [5; 6; 39; 43].

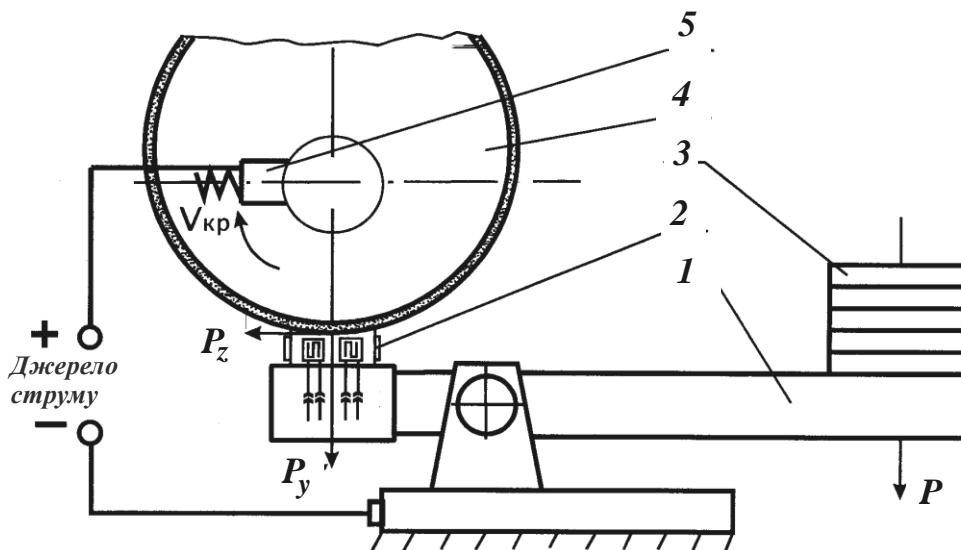


Рисунок 9 – Схема експериментальної установки для визначення складових сили різання P_z і P_y у процесі алмазного електроерозійного шліфування:

- 1 – балка; 2 – тензометричні датчики; 3 – вантаж;
- 4 – алмазний круг; 5 – токопідвідний пристрій

Ця технологія стала ефективним засобом заміни екологічно шкідливої та небезпечної для здоров'я робітників технології алмазного електрохімічного шліфування, вона отримала широке практичне застосування.

У даному випадку процес обробки протікає без використання шкідливих електролітів – із використанням звичайної технічної води (використовується технічна вода з антикорозійною добавкою, 1,5 – 3 % содовий розчин),

яка не викликає негативного впливу на здоров'я верстатника, як це має місце під час алмазного електрохімічного шліфування. Технічна вода використовується в якості звичайної охолоджувальної рідини. Таким чином виключається шкідливий для здоров'я верстатника процес електрохімічного (анодного) розчинення в електроліті оброблюваного матеріалу й металевої зв'язки алмазного круга.

Ефект обробки досягається шляхом електроерозійного (термічного) руйнування металевої зв'язки алмазного круга, оскільки під дією електроерозійних розрядів температура на поверхні зв'язки досягає температури плавлення й руйнує її. У результаті з поверхні зв'язки круга видаляються зношені алмазні зерна й робоча поверхня круга відновлюється гострими різальними зернами. Це забезпечує високу різальну здатність алмазного круга (вищу, ніж під час алмазного електрохімічного шліфування), що значно підвищує продуктивність та якість обробки. Тому ефективність застосування алмазного електроерозійного шліфування значно вище, ніж алмазного електрохімічного шліфування. Однак, головна перевага алмазного електроерозійного шліфування полягає у виключенні шкідливої дії на здоров'я верстатників сильних електролітів та створенні безпечних умов їх життєдіяльності на робочому місці, чого не досягалось під час застосування алмазного електрохімічного шліфування. Отже, цей метод шліфування є більш екологічно безпечним та чистим порівняно з методом алмазного електрохімічного шліфування. Завдяки цьому він отримав достатньо широке практичне застосування.

Слід також зазначити, що під час алмазного електроерозійного шліфування відсутня корозія металорізального обладнання і передчасний вихід його з ладу, як це має місце в умовах алмазного електрохімічного шліфування.

Таким чином, заміна шкідливих для здоров'я верстатників сильних електролітів нешкідливою звичайною технічною водою у процесі алмазного електроерозійного шліфування дозволяє одночасно вирішити такі важливі проблеми: забезпечити умови безпеки життєдіяльності верстатника на робочому місці, виключити передчасний вихід з ладу металорізального обладнання внаслідок відсутності його корозії та суттєво підвищити продуктивність і якість обробки матеріалів. Це відкриває нові технологічні та екологічно безпечні умови праці верстатника під час здійснення високоефективних операцій шліфування алмазними кругами на високоміцних металевих зв'язках. Тому важливо розробити практичні рекомендації з ефективного застосування методу алмазного електроерозійного шліфування та забезпечення екологічно

чистих умов обробки, підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітника. Це допоможе керівникам промислових підприємств та підрозділів більш ефективно планувати заходи у даному напрямі.

2.4. Фізична сутність екологічно безпечного методу алмазного електроерозійного шліфування

Питанням підвищення ефективності застосування екологічно безпечного методу алмазного електроерозійного шліфування присвячені роботи Беззубенко М. К., Рибицького В. А. [6; 43]. У цих роботах встановлено, що під час алмазного електроерозійного шліфування електричні розряди, які виникають у зоні контакту алмазного круга на металевій зв'язці із оброблюваною деталлю, викликають локальні ударно-термічні мікроруйнування металеві зв'язки внаслідок виникнення надзвичайно високих температур. У результаті відбувається видалення з робочої поверхні круга затуплених алмазних зерен і забезпечення його високої ріжучої здатності, що призводить до підвищення продуктивності та якості обробки під час шліфування. Чим вище сила електричного струму, що підводиться у зону шліфування, тим більш інтенсивне протікає процес електроерозії й більш значним стає об'єм металеві зв'язки, яка видаляється під дією електричних розрядів. У цих умовах відпадає необхідність в електрохімічному розчиненні металеві зв'язки алмазного круга шляхом застосування сильних електролітів [5; 43], оскільки її можна видалити завдяки присутності під час правлення алмазного круга електричних розрядів із застосуванням звичайної технічної води. Це є важливою умовою підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування.

Таким чином, у вказаних роботах обґрунтовано основні напрями застосування електроерозійного правлення алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках під час алмазного електроерозійного шліфування. Однак недостатньо розглянуто питання ефективності забезпечення екології виробництва в цих умовах на різних технологічних операціях алмазного шліфування із урахуванням вимог до якості та продуктивності обробки.

Оскільки основний ефект алмазного електроерозійного шліфування полягає у забезпеченні високоефективного електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках шляхом електроерозійного (термічного) руйнування металеві зв'язки, то важливо розглянути фізичні закономірності цього процесу.

Під час підведення напруги до двох поверхонь деталі та алмазному кругу – електричний струм буде протікати переважно через стружки, що утворюються, викликаючи їх нагрівання і термічне руйнування, а також термічне руйнування металевої зв'язки алмазного круга в момент виникнення електричного розряду в місці її контакту зі стружкою. Згідно закону Джоуля-Ленца, кількість виділеної при цьому теплоти, визначається залежністю:

$$Q_T = k \cdot I \cdot U \cdot \tau, \quad (2)$$

де k – тепловий еквівалент роботи;

I – сила електричного струму, А;

U – напруга, В;

τ – час дії електричного імпульсу, с.

Ця теплота витрачається на нагрівання маси m стружок від температури θ_1 до температури θ_2 (можна прийняти $\theta_1 = 0$; $\theta_2 = \theta$):

$$Q_T = m \cdot c \cdot \theta, \quad (3)$$

де c – теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·град.).

Масу m можна виразити залежністю $m = \rho \cdot \mathcal{V}$, де ρ – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³; \mathcal{V} – об'єм стружок (м³), що зрізаються за час τ . Порівнюючи залежності (2) і (3) із урахуванням продуктивності обробки $Q = \mathcal{V} / \tau$, отримано залежність для визначення температури нагрівання стружок, що утворюються, у момент дії електричного імпульсу:

$$\theta = \frac{k \cdot I \cdot U}{\rho \cdot c \cdot Q} = \frac{k \cdot N}{\rho \cdot c \cdot Q}, \quad (4)$$

де $N = I \cdot U$ – потужність електричного струму, Вт.

Виходячи із залежності (4), температура стружок θ тим більше, чим більше потужність електричного струму N і менше продуктивність обробки Q . Отже, процес термічного руйнування стружок та металевої зв'язки алмазного круга (за умови забезпечення певної температури θ) під час шліфування із заданою продуктивністю обробки Q цілком однозначно визначається потужністю електричного струму N : чим більше N , тим вище продуктивність обробки Q , яка може бути реалізована в умовах алмазного електроерозійного шліфування.

Розглянемо закономірності формування потужності електричного струму N . Згідно закону Ома, сила електричного струму I визначається залежністю:

$$I = \frac{U}{R}, \quad (5)$$

де R – загальний опір міжелектродного зазору, який визначається опором окремих стружок, що контактують з металевою зв'язкою алмазного круга, Ом.

Із урахуванням паралельного з'єднання окремих опорів (стружок, що утворюються), як показано на рис. 10, загальний опір міжелектродного зазору R визначається залежністю:

$$\frac{1}{R} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n}, \quad (6)$$

де R_1, \dots, R_n – опори окремих стружок, що контактують із металевою зв'язкою алмазного круга, Ом.

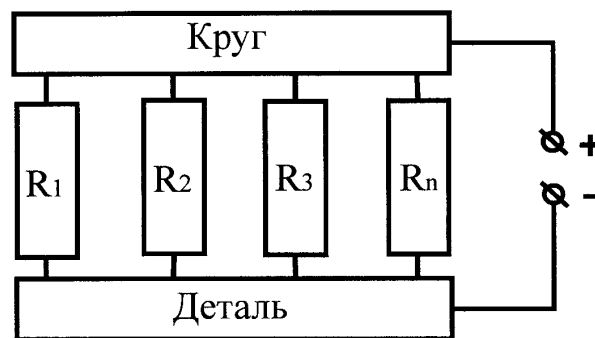


Рисунок 10 – Розрахункова схема визначення загального опору міжелектродного зазору R

Опір окремої стружки R_n дорівнює:

$$R_n = \rho_{Om} \frac{l_n}{S_n}, \quad (7)$$

де ρ_{Om} – питомий опір оброблюваного матеріалу, Ом·мм²/м;

l_n – товщина міжелектродного зазору у місці контакту окремої стружки із металевою зв'язкою алмазного круга, м;

S_n – площа поперечного перерізу стружки, що утворюється, м².

У першому наближенні прийемо $R_1 = R_2 = \dots = R_n$, відповідно, $S_1 = S_2 = \dots = S_n$ та $l_1 = l_2 = \dots = l_n$. Тоді $\frac{1}{R} = \frac{n}{R_n}$, де n – кількість стружок, що утворюються та одночасно контактують із металевою зв'язкою алмазного круга.

Із урахуванням зроблених припущень, після підстановки залежностей (6) і (7) у залежність (5) отримано:

$$I = \frac{U \cdot S}{\rho_{Om} \cdot l}, \quad (8)$$

де $S = n \cdot S_n$ – сумарна площа поперечного перерізу стружок, що утворюються та контактують із металевою зв'язкою алмазного круга, м²;

$l = l_n$ – товщина міжелектродного зазору, м.

Із урахуванням відомої залежності $S = Q/V_{кр}$, залежність (8) набуде вигляду:

$$I = \frac{U \cdot Q}{\rho_{Om} \cdot l \cdot V_{кр}}, \quad (9)$$

де Q – продуктивність обробки, м³/с;

$V_{кр}$ – швидкість круга, м/с.

Відповідно, температура стружок θ аналітично виразиться:

$$\theta = \frac{k \cdot U^2}{\rho \cdot c \cdot \rho_{Om} \cdot l \cdot V_{кр}}. \quad (10)$$

Як видно, температура стружок θ тим більше, чим більше напруга U і менше товщина міжелектродного зазору l та швидкість круга $V_{кр}$. За заданими значеннями U і $V_{кр}$ залежно від товщини міжелектродного зазору l можливі три випадки:

1) $l > l_{зр}$ (де $l_{зр}$ – граничне значення товщини міжелектродного зазору).

У цьому випадку $\theta < \theta_{зр}$ (де $\theta_{зр}$ – граничне значення температури, за якою відбувається термічне руйнування стружок, що утворюються, та металевої зв'язки алмазного круга), отже, процес електроерозії відсутній. Тому для здійснення процесу електроерозії необхідно збільшити напругу U або зменшити швидкість круга $V_{кр}$ (переважно збільшити напругу U);

2) $l = l_{зр}$, тоді $\theta = \theta_{зр}$. Це указує на присутність стійкого процесу електроерозії, що забезпечує термічне руйнування стружок, що утворюються, і металевої зв'язки алмазного круга з інтенсивністю, достатньою для підтримання високої ріжучої здатності алмазного круга і стабільного протікання процесу знімання матеріалу під час шліфування;

3) $l < l_{зр}$ і $\theta > \theta_{зр}$, що указує на перевищення граничної температури $\theta_{зр}$. У цьому випадку має місце інтенсивне термічне руйнування стружок, що утворюються, і металевої зв'язки алмазного круга, яке призводить із часом обробки до збільшення товщини міжелектродного зазору l і, виходячи із

залежності (10) – до зменшення температури до граничного значення θ_{2p} , а в подальшому, стабілізації в часі параметрів процесу алмазного електроерозійного шліфування.

Збільшення товщини міжелектродного зазору l сприяє утворенню на алмазному крузі більш розвиненого рельєфу, що характеризується збільшеним об'ємом міжзернового простору алмазного круга. Відповідно, це призводить до збільшення продуктивності обробки. Потужність електричного струму N визначається із урахуванням залежності (9):

$$N = \frac{U^2 \cdot Q}{\rho_{Om} \cdot l \cdot V_{кр}}. \quad (11)$$

За заданих значень параметрів U , Q і $V_{кр}$ потужність електричного струму N залежить від товщини міжелектродного зазору l . Із її зменшенням потужність електричного струму N збільшується у результаті збільшення сили електричного струму I . Тому для реалізації цих умов алмазного електроерозійного шліфування необхідно застосовувати джерела технологічного струму підвищеної потужності.

Загалом напруга U впливає на продуктивність обробки наступним чином. Згідно залежності (10), для кожного значення напруги U існує цілком конкретне значення товщини міжелектродного зазору l (за умови $\theta = \theta_{2p}$), що відповідає певній продуктивності обробки Q . Отже, завдяки збільшенню напруги U можна збільшити товщину міжелектродного зазору l і, відповідно, продуктивність обробки Q . Обмеженням збільшення продуктивності обробки Q за залежністю (11) є потужність N джерела технологічного струму. Це обмеження впливає також із залежності (4).

Розглянемо закономірності протікання алмазного електроерозійного шліфування за умови $I = const$. У цьому випадку залежність (4) із урахуванням залежності (9) набуде вигляду:

$$\theta = \frac{k \cdot \rho_{Om} \cdot I^2 \cdot l \cdot V_{кр}}{\rho \cdot c \cdot Q^2}. \quad (12)$$

Введемо позначення:

$$i = \frac{I}{S} = \frac{I}{Q} \cdot V_{кр}, \quad (13)$$

де i – щільність електричного струму, що виникає у поперечному перерізі стружок, що утворюються, А/м².

Цей параметр відрізняється від відомого параметра i , який визначається відношенням сили електричного струму I до загальної площі контакту алмазного круга з оброблюваною деталлю.

Із урахуванням залежності (13) залежність (12) набуває вигляду:

$$\theta = \frac{k \cdot \rho_{Om} \cdot i^2 \cdot l}{\rho \cdot c \cdot V_{кр}}. \quad (14)$$

Домогтися необхідної температури стружок θ можна різними поєднаннями параметрів i та l . Зі збільшенням щільності електричного струму i товщину міжелектродного зазору l можна зменшити і, навпаки, збільшити. Очевидно, для оптимального значення l існує оптимальне значення i , яке можна встановити розрахунково-експериментальним шляхом.

Визначимо закономірності здійснення процесу електроерозійного правлення алмазного круга за умови відсутності утворення стружок, тобто коли має місце контакт між вершинами мікронерівностей поверхні металевої зв'язки алмазного круга таправлячим електродом. У цьому випадку температура нагрівання контактуючих мікронерівностей поверхні металевої зв'язки алмазного круга θ із урахуванням залежності $\mathcal{Q} = S \cdot l$, а також залежностей (2) та (3) набуває вигляду:

$$\theta = \frac{k \cdot I \cdot U \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot S \cdot l}, \quad (15)$$

де \mathcal{Q} – об'єм матеріалу металевої зв'язки алмазного круга, що піддається нагріванню, м³;

S – сумарна площа контакту мікронерівностей поверхні металевої зв'язки алмазного круга таправлячого електроду, м²;

l – товщина міжелектродного зазору між алмазним кругом таправлячим електродом, м

За умови подання сили електричного струму I залежністю (8), маємо:

$$\theta = \frac{k \cdot U^2 \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot \rho_{Om} \cdot l^2}. \quad (16)$$

У отриманій залежності час τ необхідно розглядати часом контакту фіксованої точки алмазного круга зправлячим електродом (за умови використання джерела постійного електричного струму) або часом одиничного електричного імпульсу (за умови використання джерела імпульсного електричного струму).

За умови встановлення невеликого міжелектродного зазору l (що має місце під час електроерозійного правлення дрібнозернистого алмазного круга

або в початковий момент електроерозійного правлення, коли виступання зерен над рівнем металевої зв'язки алмазного круга практично відсутнє) температура θ приймає відносно великі значення, що перевищують граничне значення температури θ_{zp} . У цьому випадку матиме місце інтенсивне термічне руйнування металевої зв'язки та відновлення ріжучих властивостей алмазного круга.

За умови відносно великого міжелектродного зазору l (наприклад, під час електроерозійного правлення крупнозернистих алмазних кругів) температура θ буде меншою, що може виключити протікання процесу електроерозії. У цьому випадку необхідно збільшити напругу U .

Під час електроерозійного правлення алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках, що вимагає збільшення температури θ_{zp} , необхідно збільшити напругу U і зменшити товщину міжелектродного зазору l . Зі зменшенням часу τ електроерозійного правлення алмазного круга також необхідно збільшити напругу U та зменшити товщину міжелектродного зазору l для досягнення граничної температури θ_{zp} . Очевидно, під час чорнового високопродуктивного електроерозійного правлення алмазного круга час τ необхідно збільшувати.

Сила електричного струму I , виходячи із залежності (8), визначається напругою U та відношенням S/l . Із їхнім збільшенням сила електричного струму I збільшується. Тому для заданої потужності електричного струму N , згідно залежності

$$N = \frac{U^2 \cdot S}{\rho_{Om} \cdot l}, \quad (17)$$

необхідно варіювати напругою U та відношенням S/l . Очевидно, для заданого значення напруги U існує граничне значення відношення S/l , що визначається потужністю електричного струму N , яке доцільно реалізувати у процесі електроерозійного правлення алмазного круга.

Для оцінювання достовірності отриманих теоретичних рішень проведемо аналіз відомих експериментальних даних, отриманих під час дослідження процесів алмазного шліфування із підведенням у зону різання електричного струму.

У роботі [2] встановлено, що під час звичайного ($U = 0$) шліфування торцем алмазного круга із характеристиками АС4 100/80 – МО13Е – 100 твердого сплаву ВК6 спільно зі сталлю 45 продуктивність із часом обробки безперервно зменшується у зв'язку із затупленням алмазного круга.

Як впливає із рис. 11, за умови подачі на електроди напруги продуктивність обробки протягом деякого часу зменшується, потім, збільшується до

значення, що перевищує початкову продуктивність обробки. При цьому більшому значенню напруги U відповідає більша продуктивність обробки. Автори роботи [2] пояснюють цю закономірність присутністю процесу електрохімічного розчинення оброблюваного матеріалу. На наш погляд, ефект шліфування пов'язано із переважним впливом процесу електроерозійного руйнування металевої зв'язки та підвищенням ріжучої здатності алмазного круга. Це впливає із аналітичної залежності (10).

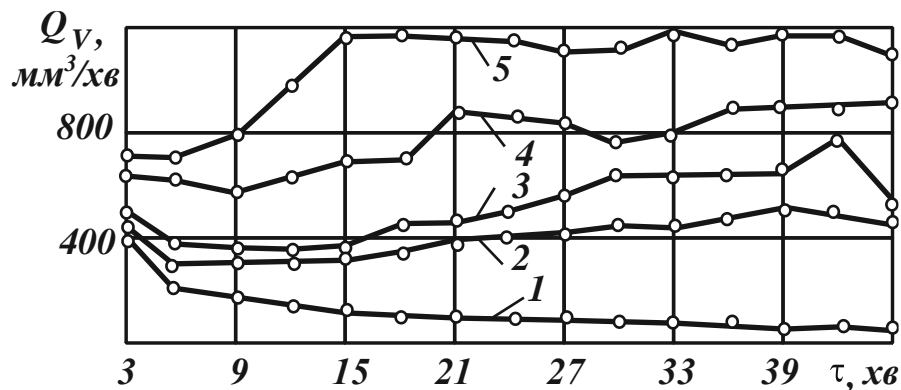


Рисунок 11 – Залежність продуктивності обробки твердого сплаву спільно зі сталлю від часу обробки для різних значень напруги U :
 1 – $U = 0$; 2 – $U = 4$ В; 3 – $U = 6$ В; 4 – $U = 8$ В; 5 – $U = 12$ В.

Площа обробки $F = 2,1 \text{ см}^2$; $P_n = 50 \text{ Н/см}^2$; $V_{кр} = 25 \text{ м/с}$;

$$S_{осц} = 70 \text{ подв.хід/хв}$$

Зі збільшенням напруги U за умови $\theta = \theta_{2p} = const$ товщина міжелектродного зазору l збільшується та призводить до збільшення об'єму міжзеренного простору алмазного круга і продуктивності обробки. Деяке зменшення продуктивності обробки у початковий момент шліфування (із невеликими напругами 4 ... 8 В) пов'язане з більш інтенсивним затупленням алмазного круга порівняно з інтенсивністю електроерозійного руйнування металевої зв'язки.

Під час шліфування із напругою $U=12$ В відсутнє падіння продуктивності обробки, що пов'язано із суттєвим підвищенням інтенсивності електроерозійного руйнування металевої зв'язки алмазного круга.

На рис. 12 показано, що зі збільшенням напруги U збільшення продуктивності обробки супроводжується збільшенням питомої витрати алмазу. Це вказує на збільшення інтенсивності руйнування металевої зв'язки алмазного круга внаслідок переважачого впливу процесу електроерозії.

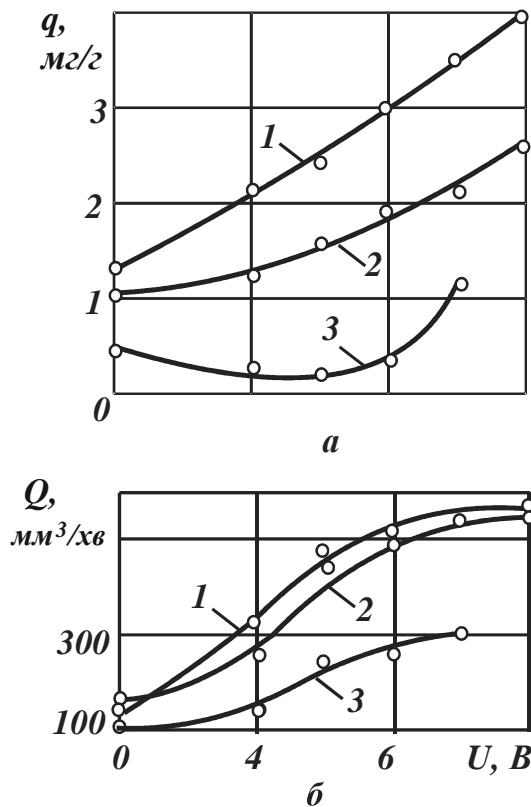


Рисунок 12 – Залежність питомої витрати алмазів (а) та продуктивності (б) від напруги U під час обробки композиції "твердий сплав ВК8 + сталь 45" ($F=2,1 \text{ см}^2$, $V_{кр} = 25 \text{ м/с}$, $S_{осц} = 70 \text{ подв.хід/хв}$):

- 1 – АС4 100/80 М013Е, $P_n = 75 \text{ Н/см}^2$;
- 2 – АС4 160/125 М013Е, $P_n = 75 \text{ Н/см}^2$;
- 3 – АС4 100/80 МС2, $P_n = 12 \text{ Н/см}^2$

Згідно залежності (10), за умов $U = const$ і $\theta = \theta_{2p} = const$ зі збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ товщина міжелектродного зазору l повинна зменшитися. Згідно залежності $S = Q/V_{кр}$, повинна також зменшитися сумарна миттєва площа поперечного перерізу зрізу всіма одночасно працюючими зернами алмазного круга. Отже, продуктивність обробки Q при цьому залежить від відношення параметрів l і S й, очевидно, не суттєво зміниться.

Наведені на рис. 13 [2] експериментальні дані підтверджують теоретичний висновок. Зі збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ продуктивність обробки Q незначно збільшується, а в окремому випадку, незначно зменшується (фактично залишається постійною). Незначна зміна продуктивності обробки Q несуттєво впливає на зміну інтенсивності зношування алмазного круга у зв'язку із електро-

ерозійною дією на металеву зв'язку. Це указує на незначну зміну питомої витрати алмазу зі збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ (рис. 13). Розрахунки показали, що щільність електричного струму $i = I/S$ у цьому випадку змінюється у межах $i = 10^5 \dots 10^6 \text{ А/мм}^2$.

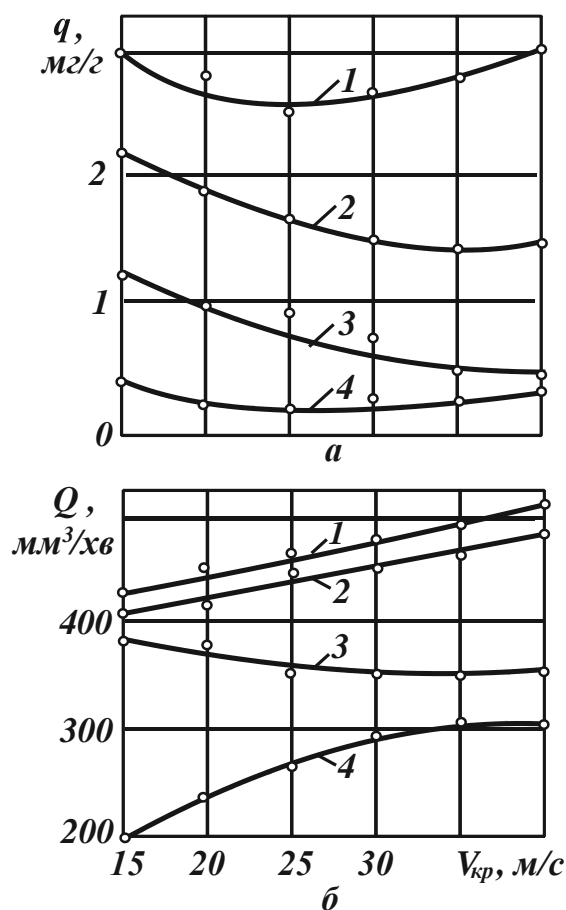


Рисунок 13 – Залежності питомої витрати алмазів q (а) та продуктивності обробки Q (б) від швидкості круга $V_{кр}$ під час обробки композиції "твердий сплав ВК8 + сталь 45" ($F = 2,1 \text{ см}^2$, $U = 6 \text{ В}$, $S_{осц} = 70 \text{ подв.хід/хв}$):

- 1 – алмазний круг АС 100/80 М013Е, $P_H = 75 \text{ Н/см}^2$;
- 2 – алмазний круг АС4 160/125 М013Е, $P_H = 75 \text{ Н/см}^2$;
- 3 – алмазний круг АС4 250/200 М013Е, $P_H = 75 \text{ Н/см}^2$;
- 4 – алмазний круг АС4 100/80 МС2, $P_H = 120 \text{ Н/см}^2$

Згідно експериментальних даних, наведених на рис. 14 [51], щільність електричного струму i в умовах стабілізованого процесу внутрішнього алмазного електроерозійного шліфування твердосплавних деталей змінюється несуттєво і становить: для $S_{non} = 0,1 \text{ мм/хв}$ ($I = 15 \text{ А}$) – $i = 1, 1 \cdot 10^5 \text{ А/мм}^2$; для

$S_{non} = 0,2$ мм/хв ($I = 20$ А) – $i = 10^5$ А/мм²; для $S_{non} = 0,3$ мм/хв ($I = 30$ А) – $i = 0,75 \cdot 10^5$ А/мм². Як видно, зі збільшенням поперечної подачі (продуктивності обробки) щільність електричного струму i несуттєво зменшується. Виходячи із залежності (14), із урахуванням умови $\theta = \theta_{cp} = const$, це приводить до відчутного збільшення товщини міжелектродного зазору l , оскільки параметр i входить у залежність у другому ступені, що зумовлює збільшення об'єму міжзеренного простору алмазного круга та продуктивності обробки.

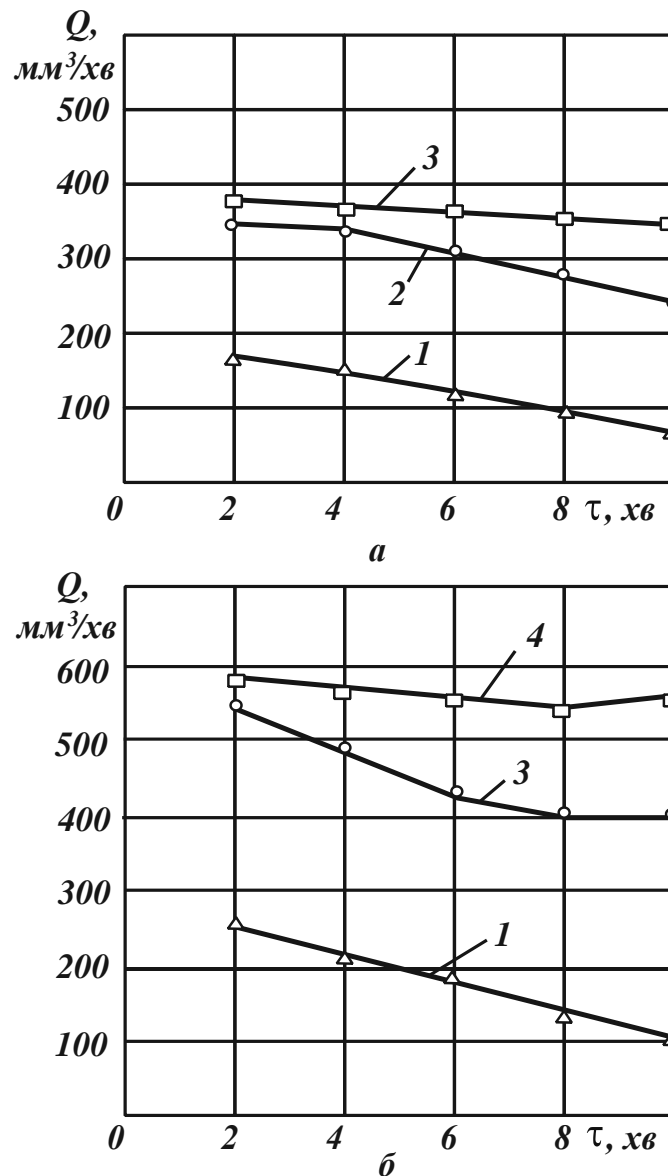


Рисунок 14 – Залежність продуктивності обробки Q від часу τ шліфування:
 а – $S_{non} = 0,2$ мм/хв; б – $S_{non} = 0,3$ мм/хв; 1 – $I = 0$; 2 – $I = 15$ А; 3 – $I = 20$ А;
 4 – $I = 30$ А; оброблюваний матеріал – твердий сплав ВК15; алмазний круг
 АС6 160/125 М2-01 4; $V_{кр} = 23$ м/с; $V_{дет} = 60$ м/хв; $S_{нозд} = 3$ м/хв

Таким чином, розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що у стабілізованому процесі алмазного електроерозійного шліфування щільність електричного струму i в першому наближенні можна прийняти постійною, наприклад, рівною $i = 10^5$ А/мм².

Це дозволить для заданих значень продуктивності обробки Q і швидкості круга $V_{кр}$ за залежністю $i = I \cdot V_{кр} / Q$ визначити силу електричного струму I , а за залежністю (9) – для заданого значення напруги U – товщину міжелектродного зазору l або, навпаки, для заданого значення l – напругу U .

За відомими значеннями параметрів I і U можна визначити потужність електричного струму N , необхідну для вибору джерела технологічного струму тощо. Значення I , U , що реалізують цю умову, слід розглядати оптимальними, оскільки вони забезпечують фактично виключення контакту оброблюваного матеріалу з металевою зв'язкою алмазного круга (завдяки термічному руйнуванню стружками, що утворюються, металевої зв'язки алмазного круга) протягом усього часу шліфування.

2.5. Технологічні можливості екологічно безпечних методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках

Температуру нагрівання поверхневих шарів металевої зв'язки алмазного круга під час його електроерозійного правлення у момент дії електричного імпульсу можна визначити на основі перетвореної залежності (15):

$$\theta = \frac{k \cdot A}{\rho \cdot c \cdot S \cdot l}, \quad (18)$$

де $A = I \cdot U \cdot \tau$ – робота електричного струму, Дж.

Як випливає із залежності (18), температура θ тим більше, чим більше робота електричного струму A і менше параметри S і l .

У початковий момент електроерозійного правлення затупленого алмазного круга, коли товщина міжелектродного зазору l невелика ($l \rightarrow 0$), температура θ приймає великі значення, достатні для термічного руйнування металевої зв'язки алмазного круга.

У міру збільшення висоти виступання зерен над рівнем зв'язки алмазного круга, товщина міжелектродного зазору l збільшується, а температура θ зменшується, що за певних умов може призвести до припинення процесу

електроерозії та термічного руйнування металевої зв'язки алмазного круга. У цьому випадку необхідно збільшити роботу електричного струму A .

Зі збільшенням міцності (твердості) металевої зв'язки алмазного круга температура θ та робота електричного струму A збільшуються.

Зі збільшенням товщини міжелектродного зазору l для ефективного здійснення процесу електроерозійного правлення крупнозернистих алмазних кругів необхідно збільшувати роботу електричного струму A .

Для більш глибокого аналізу процесу електроерозійного правлення алмазного круга слід залежність (18) перетворити до вигляду:

$$\theta = \frac{k \cdot N}{\rho \cdot c \cdot Q_{np}}, \quad (19)$$

де $N = I \cdot U$ – потужність електричного струму, Вт;

$Q_{np} = S_{nl} \cdot l / t$ – продуктивність процесу електроерозійного правлення алмазного круга, м³/с;

S_{nl} – фактична площа контакту металевої зв'язки алмазного круга ізправлячим електродом, м²;

l – товщина міжелектродного зазору, м.

За умови досягнення граничного значення температури θ продуктивність процесу електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} залежить лише від потужності електричного струму N : чим більше N , тим більше Q_{np} .

Із урахуванням залежностей $I = U / R$ і $R = \rho_{Om} \cdot l / S_{nl}$ залежність (19) набуде вигляду:

$$\theta = \frac{k \cdot U^2 \cdot \tau}{\rho \cdot c \cdot \rho_{Om} \cdot l^2}, \quad (20)$$

де R – загальний опір міжелектродного зазору між металевою зв'язкою алмазного круга таправлячим електродом, Ом;

ρ_{Om} – питомий опір металевої зв'язки алмазного круга, Ом·мм/м².

У даному випадку напруга U визначає товщину міжелектродного зазору l . Чим більше U , тим більше параметр l для заданого граничного значення температури θ та, відповідно, більше продуктивність процесу електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} .

У початковий момент електроерозійного правлення алмазного круга, коли $l \approx 0$, напруга U невелика (за умови досягнення граничної температури θ_{2p}).

Із часом здійснення процесу електроерозійного правлення алмазного круга товщина міжелектродного зазору l збільшується, що супроводжується збільшенням напруги U . Отже, для забезпечення більшого міжелектродного зазору l необхідно використовувати більш високу напругу U . Це відноситься до електроерозійного правлення крупнозернистих алмазних кругів, високопродуктивного чорнового шліфування та ін.

Із урахуванням залежностей $I = U / R$ і $R = \rho_{Om} \cdot l / S_{nl}$ залежність (19) можна також перетворити до вигляду:

$$\theta = \frac{k \cdot I^2 \cdot \tau \cdot \rho_{Om}}{\rho \cdot c \cdot S_{nl}^2}. \quad (21)$$

У цьому випадку сила електричного струму I визначає фактичну площу контакту металевої зв'язки алмазного круга із правлячим електродом S_{nl} . Чим більше I , тим більше S_{nl} для заданого граничного значення температури θ та, відповідно, більше продуктивність процесу електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} .

Сила електричного струму I у початковий момент електроерозійного правлення алмазного круга (у зв'язку з невеликою площею контакту металевої зв'язки з правлячим електродом S_{nl}) набуває великого значення (можливе коротке замикання).

У міру знімання мікронерівностей металевої зв'язки алмазного круга, площа її контакту з правлячим електродом S_{nl} зменшується, що призводить до зниження сили електричного струму I .

Отже, у початковий момент електроерозійного правлення алмазного круга (за великою площею контакту металевої зв'язки із правлячим електродом) необхідно використовувати джерела струму, що забезпечують підвищені значення сили електричного струму I .

Зі збільшенням часу дії електричного імпульсу τ , як впливає із залежностей (20) і (21), для досягнення граничної температури θ_{2p} потрібно встановлювати менші значення напруги U та сили електричного струму I .

Таким чином, нестачу потужності джерела електричного струму N можна компенсувати збільшенням часу дії електричного імпульсу τ (за умови використання джерела імпульсного електричного струму) або збільшенням довжини робочої частини електрода (за умови застосування джерела постійного електричного струму). Теоретичні результати узгоджуються з експериментальними даними, наведеними на рис. 15 [39].

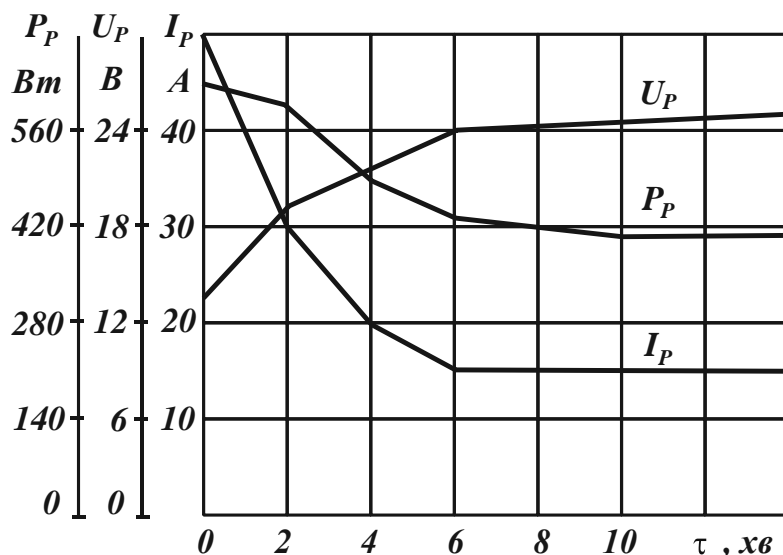


Рисунок 15 – Характер зміни електричних параметрів процесу електроерозійного правлення алмазного круга в часі

Зі збільшенням часу електроерозійного правлення алмазного круга сила електричного струму I_p та потужність електричного струму P_p зменшуються, а напруга U_p збільшується. Це пов'язано зі зменшенням площі контакту металевої зв'язки алмазного круга з правлячим електродом S_{nl} , продуктивності процесу електроерозійного правлення Q_{np} та збільшенням товщини міжелектродного зазору l відповідно до наведених залежностей.

Зі збільшенням потужності електричного струму P_p продуктивність електроерозійного правлення алмазного круга збільшується (рис. 16 [39]), що також впливає із залежності (21).

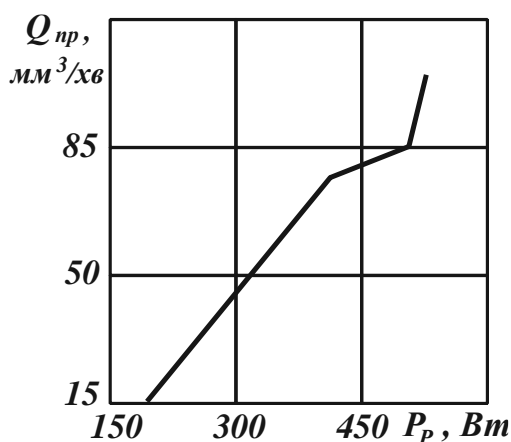


Рисунок 16 – Залежність продуктивності електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} від потужності електричного струму P_p

Як видно, реалізація високоякісного процесу електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці вимагає підвищення напруги U до 30 В і більше, сили електричного струму – понад 40 А, потужності електричного струму – більше 1 кВт.

Теоретичні результати узгоджуються з експериментальними даними Іванова М. П. та Кобзаря Л. Є., наведеними на рис. 17, рис. 18 [18].

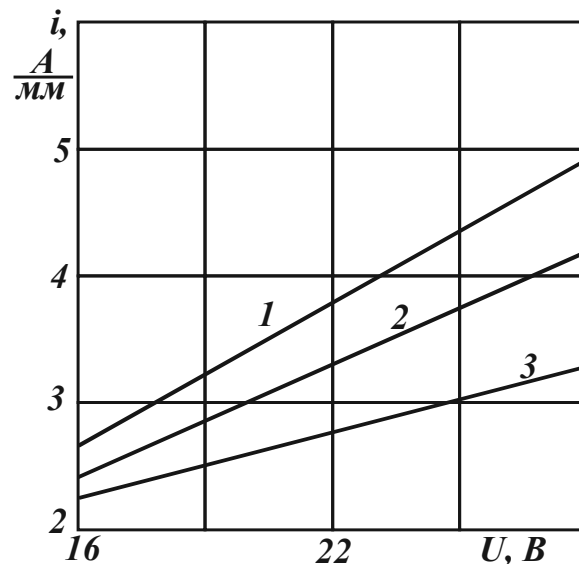


Рисунок 17 – Залежність щільності електричного струму i від напруги U для різних характеристик алмазних кругів:
1 – АС6 50/40; 2 – АС6 125/100; 3 – АС6 200/160

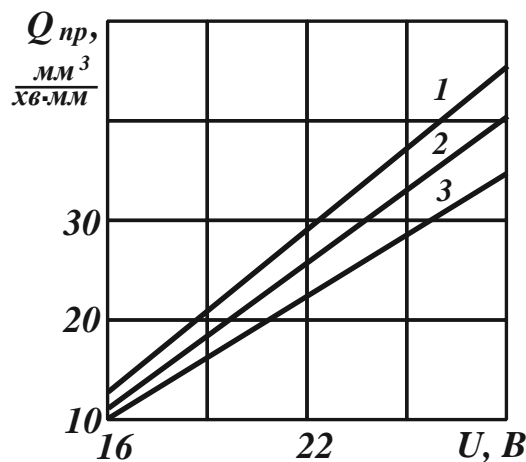


Рисунок 18 – Залежність продуктивності електроерозійного правлення алмазного круга $Q_{пр}$ від напруги U для різних характеристик алмазних кругів:

1 – 1А1 200×10×75; 2 – 1А1 250×16×75; 3 – 1А1 300×25×127

Зі збільшенням напруги U під час електроерозійного правлення алмазного круга (джерело електричного струму – спеціальний двонапівперіодний випрямляч із максимальним електричним струмом у вторинній обмотці силового трансформатору 200 А) щільність електричного струму i та продуктивність електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} , що припадають на одиницю ширини круга, збільшуються. Добуток $i \cdot U$ та Q_{np} зі збільшенням напруги U збільшуються в однакову кількість разів для алмазного круга 1A1 250×16×75×5 AC6 200/160 4 M2 – 01 (позиція 2 на наведених графіках).

Відповідно до залежності (19), це вказує на сталість температури θ у процесі електроерозійного (термічного) руйнування металеві зв'язки алмазного круга. Отже, зі збільшенням напруги U товщина міжелектродного зазору l за умови $\theta = const$ згідно залежності (20) збільшується. Про це свідчать також експериментальні дані щодо висот виступання зерен над рівнем зв'язки алмазного круга, які наведено на рис. 19 [16].

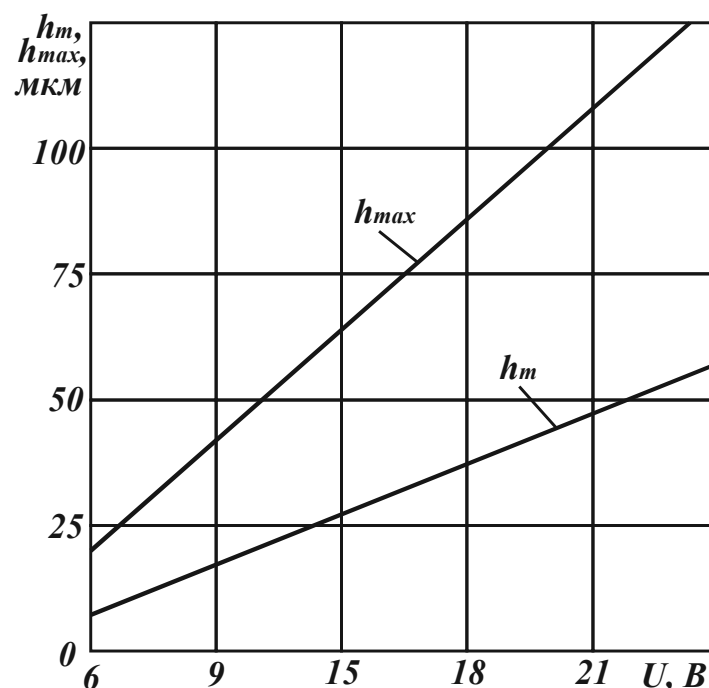


Рисунок 19 – Залежності модальної h_m та максимальної h_{max} висот виступання зерен над рівнем металеві зв'язки алмазного круга від напруги U

Зі збільшенням напруги U модальна та максимальна висоти виступання зерен над рівнем металеві зв'язки алмазного круга збільшуються. Встановлено, що параметри i та Q_{np} зі збільшенням зернистості алмазного круга за

умови $U = const$ зменшуються. Виходячи із залежності (21), це пов'язано зі збільшенням площі контакту металевої зв'язки алмазного круга з правлячим електродом S_{nl} за умови $\theta = const$. Із наведених даних випливає, що процес електроерозійного правлення алмазного круга забезпечує продуктивність правлення Q_{np} на рівні $1000 \text{ мм}^3/\text{хв}$ (за силою електричного струму до 100 А та напругою $U = 28 \text{ В}$).

За експериментальними даними Матюхи П. Г. [25] (рис. 20), зі збільшенням довжини правлячого електроду h продуктивність процесу електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} і середня потужність електричного струму P_{cp} збільшуються в однакове число разів (наприклад, в діапазоні $h = 10 \dots 40 \text{ мм}$ – приблизно в 4 рази). Це вказує на сталість температури θ , згідно залежності (18), незалежно від зміни електричних параметрів процесу електроерозійного правлення алмазного круга.

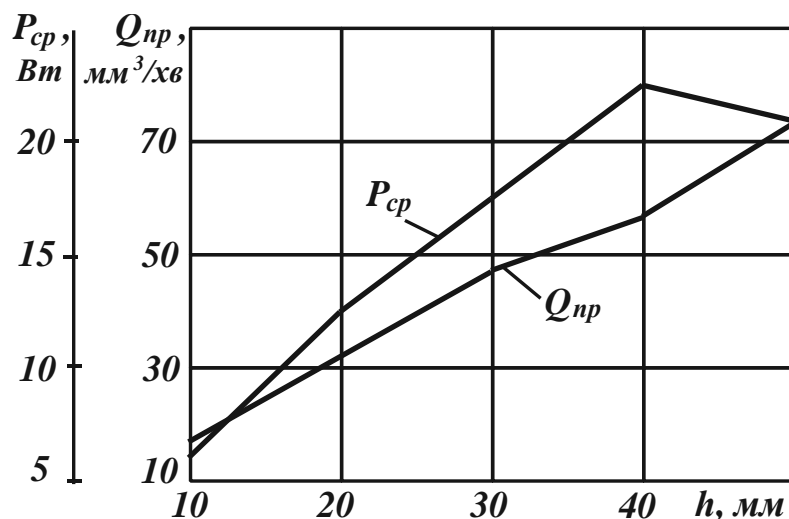


Рисунок 20 – Залежності продуктивності електроерозійного правлення алмазного круга Q_{np} і середньої потужності електричного струму P_{cp} від довжини правлячого електроду h

Важливо застосувати отримані теоретичні рішення для аналізу параметрів алмазного електроерозійного шліфування, коли функцію правлячого електрода виконує деталь, що обробляється у процесі шліфування. У цьому випадку залежності (19) – (21) набувають вигляду [21]:

$$\theta = \frac{k \cdot I \cdot U}{\rho_m \cdot c_m \cdot Q}; \quad (22)$$

$$\theta = \frac{k \cdot U^2}{\rho_m \cdot c_m \cdot \rho_{Om} \cdot l \cdot V_{кр}}; \quad (23)$$

$$\theta = \frac{k \cdot I^2 \cdot l \cdot \rho_{Om} \cdot V_{кр}}{\rho_m \cdot c_m \cdot Q}, \quad (24)$$

де ρ_m – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³;

c_m – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/(кг·град.);

Q – продуктивність алмазного електроерозійного шліфування, м³/с.

Під час алмазного електроерозійного шліфування слід своєчасно усувати з робочої поверхні алмазного круга продукти обробки, не допускаючи його засалювання та втрати ріжучої здатності. Це забезпечується, перш за все, електроерозійним (термічним) руйнуванням стружок, що утворюються, за умови досягнення граничної температури θ . Тому для збільшення продуктивності алмазного електроерозійного шліфування Q потужність електричного струму $N = I \cdot U$ та силу електричного струму I необхідно збільшувати (за умови $\theta = const$). Для збільшення товщини міжелектродного зазору l напругу U також необхідно збільшувати.

Як впливає із наведених залежностей, за заданими значеннями Q та l зі збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ напруга U збільшується, сила електричного струму I зменшується, а потужність електричного струму N залишається постійною. Виходячи із наведеного аналізу залежності (22) – (24), можна дійти висновків:

- рівень продуктивності алмазного електроерозійного шліфування Q цілком однозначно визначається потужністю електричного струму $N = I \cdot U$;
- збільшити продуктивність алмазного електроерозійного шліфування Q можна збільшенням товщини міжелектродного зазору l шляхом підвищення напруги U ;
- чим більше товщина міжелектродного зазору l за заданим значенням продуктивності алмазного електроерозійного шліфування Q , тим менше потрібна сила електричного струму I ;
- чим більше швидкість круга $V_{кр}$ за заданими значеннями l і Q , тим менше потрібна сила електричного струму I і більше напруга U .

Із наведених залежностей також впливає, що в умовах високопродуктивного алмазного електроерозійного шліфування основним електричним параметром є напруга U , яку необхідно збільшувати. Враховуючи обмеження

на величину напруги U за умовами техніки безпеки (безпеки життєдіяльності та охорони праці), і виходячи із залежності (23), необхідно зменшувати швидкість круга $V_{кр}$. Однак це призводить до зменшення продуктивності алмазного електроерозійного шліфування Q , що не є ефективним шляхом.

Теоретичні результати узгоджуються з експериментальними даними, наведеними на рис. 21 [39]. Потужність електричного струму P_p із часом обробки залишається майже постійною. Отже, завдяки здійсненню електроерозійного правлення алмазного круга забезпечується підтримка постійної в часі продуктивності алмазного електроерозійного шліфування Q .

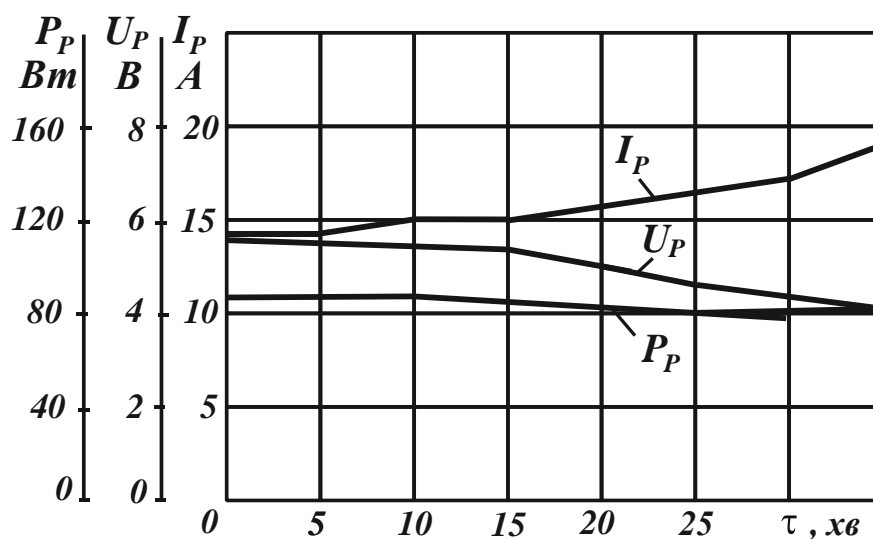


Рисунок 21 – Характер зміни електричних параметрів електроерозійного правлення алмазного круга з часом

Напруга U_p із часом електроерозійного правлення алмазного круга незначно зменшується. Тому це призводить до зменшення товщини міжелектродного зазору l згідно залежності (23).

Зменшення товщини міжелектродного зазору l за умов $Q = const$ і $\theta = const$ призводить до збільшення сили електричного струму I згідно залежності (24), що також підтверджується експериментальними даними.

Для здійснення ефективного електроерозійного правлення алмазних кругів на міцних металевих зв'язках типу М2-01 потужність електричного струму необхідно суттєво збільшувати. За умови її обмеження – зменшувати швидкість лінійного зношування зерен алмазного круга шляхом збільшення їх міцності та зносостійкості, а також збільшення площі робочої поверхні

алмазного круга (діаметра та висоти) й кількості розташованих на ній алмазних зерен. Цим визначається ефективність застосування великогабаритних алмазних кругів на металевих зв'язках для здійснення технології алмазного електроерозійного шліфування.

2.6. Умови практичного застосування екологічно безпечних методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках

Проблемі практичного застосування алмазного електроерозійного шліфування присвячено роботи [6; 39; 50], у яких наведено оптимальні умови здійснення процесу для різних схем шліфування, що включають і процес загострення твердосплавних інструментів. Встановлено, що за умови безперервного підведення до зони різання додаткової електричної енергії у формі електричних розрядів забезпечуються необхідні параметри якості обробки твердосплавних інструментів. За умови періодичного підведення до зони різання додаткової електричної енергії ефективність процесу обробки твердосплавних інструментів знижується [28; 29; 52]. Тому важливо обґрунтувати технологічні можливості алмазного електроерозійного шліфування з точки зору підвищення продуктивності та якості обробки – виключення припікань, мікротріщин та мікровідколів, які зазвичай мають місце під час шліфування внаслідок втрати ріжучої здатності алмазного круга. Для цього необхідно визначити умови підвищення технологічних та екологічних показників обробки під час алмазного електроерозійного шліфування та загострення твердосплавних інструментів.

Для реалізації на практиці методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці необхідно провести модернізацію шліфувального верстата. Вона полягає в електроізоляції алмазного круга від шпинделя верстата (рис. 22, рис. 23) і підключенні до алмазного круга позитивного полюса імпульсного або постійного джерела технологічного струму. Негативний полюс підключається до оброблюваної деталі або до спеціально виготовленого правлячого електроду. При такому підключенні джерела електричного струму відбувається електроерозійне (термічне) руйнування металевій зв'язки алмазного круга та усувається засалювання його робочої поверхні продуктами обробки (струж-

ками, що утворюються, та ін.), забезпечується збільшене виступання алмазних зерен, що дозволяє значно підвищити продуктивність шліфування. Наведена модернізація шліфувального верстата є необхідною та достатньою умовами збереження здоров'я робітника-шліфувальника від можливого ураження електричним струмом під час здійснення процесів алмазного електроерозійного шліфування або електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці.

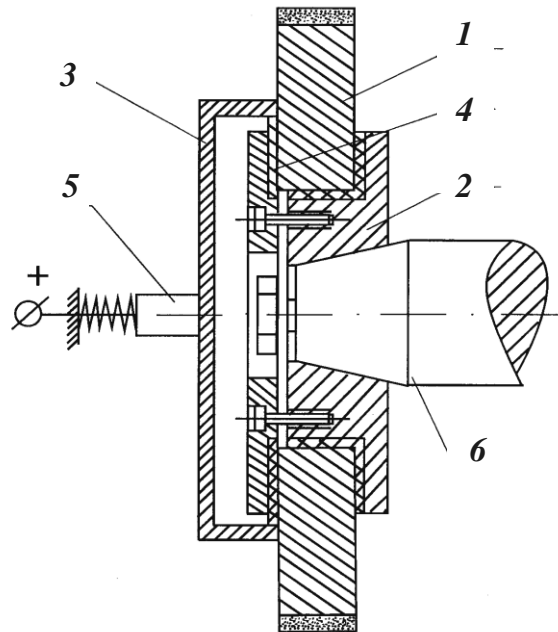


Рисунок 22 – Схема електроізоляції шпиндельного вузла й підведення технологічного струму до алмазного круга форми 1А1:
 1 – алмазний круг; 2 – планшайба; 3 – струмопідвідний фланець;
 4 – ізолятор; 5 – графітна щітка; 6 – шпindelь верстата

Для вирішення поставлених завдань проведено експериментальні дослідження алмазного електроерозійного шліфування твердосплавних інструментів (фрез, розверток, зенкерів та ін.) на круглошліфувальному верстаті після його модернізації: електроізоляції шпинделя алмазного круга та підключення до верстата джерела технологічного струму. Обробку здійснювали алмазним кругом на металевій зв'язці 1А1 300×25×5 АС6 125/100 4 М1-01. Як джерело технологічного струму використали спеціальний генератор імпульсного електричного струму підвищеної потужності (до 4 кВт), а як робоче середовище – прості за складом нешкідливі технологічні рідини (1 ... 3-відсотковий розчин соди).

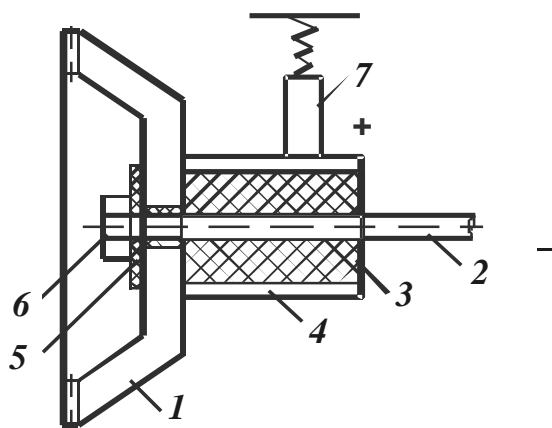


Рисунок 23 – Схема підведення електричного струму до алмазного круга форми 12A2 45° 150×10×3: 1 – алмазний круг; 2 – шпindelь верстата; 3 – електроізоляційна втулка; 4 – бронзове кільце; 5 – текстолітова (електроізоляційна) шайба; 6 – гайка; 7 – щітка

Спочатку протягом 20 хвилин здійснювали електроерозійне правлення алмазовмісного шару алмазного круга та усунення його биття. При цьому позитивний полюс джерела технологічного струму підключали до щітки, яку встановили на алмазному крузі, а негативний полюс – до корпусу задньої бабки шліфувального верстата.

У результаті встановлено, що шліфування правленим алмазним кругом з відключеним джерелом технологічного струму забезпечує високопродуктивне знімання припуску та шорсткість обробленої поверхні на рівні 7 – 8 класів чистоти. Однак, через 30 – 40 хвилин роботи алмазного круга необхідно здійснити його повторне електроерозійне правлення (тобто підвести електричну енергію у зону різання) протягом 1 ... 5 хвилин із розрядним електричним струмом 20 – 40 А. Для забезпечення 9 класу чистоти необхідно після електроерозійного правлення також необхідно здійснити затуплення алмазних зерен круга із застосуванням алмазного олівця типу "Славутич" або алмазного різця. Це дозволяє на поверхні алмазного круга отримати плосковершинні зерна, шліфування якими забезпечує утворення на оброблюваній поверхні деталі незначних мікронерівностей, тобто зменшення шорсткості поверхні. Цим забезпечується ефективність застосування алмазних кругів на металевих зв'язках на операціях попереднього та остаточного шліфування.

Встановлено, що після шліфування (з відключеним джерелом електричного струму) на оброблюваній поверхні відсутні сліди припикань і мікротріщин, однак мають місце окремі мікровідколи ріжучої кромки твердосплав-

ної пластини інструменту, що, безперечно, знижує якість обробки. Основним шляхом їх усунення слід розглядати підвищення ріжучої здатності алмазного круга шляхом здійснення частішого його електроерозійного правлення.

Необхідно зазначити, що під час шліфування з безперервно включеним джерелом технологічного струму і забезпеченні високої ріжучої здатності алмазного круга, мікровідколи на кромці ріжучої твердосплавної пластини інструменту фактично відсутні. Однак даний варіант обробки призводить до підвищеного зношування алмазного круга і, як зазначалося вище, погіршує екологію виробництва.

Таж закономірність спостерігалася і на операції загострення твердосплавного інструменту алмазним кругом на металевій зв'язці 12A2–45° 150×10×3×32 AC6 125/100 4 M1-01. За умови постійно увімкненого джерела електричного струму мікровідколи на ріжучій кромці твердосплавної пластини інструменту фактично були відсутні, а за умови періодичного включення джерела електричного струму під час шліфування вони з'являлися внаслідок затуплення алмазного круга. Більш часті правлення алмазного круга фактично виключали появу мікровідколів.

Таким чином доведено протилежний вплив частоти включення джерела електричного струму на екологічні умови виробництва та якість оброблених поверхонь. Чим частіше алмазний круг піддавався електроерозійному правленню, тим менше ймовірність появи мікровідколів на ріжучій кромці твердосплавної пластини інструменту, але тим гіршими були екологічні умови обробки. Тому під час попереднього шліфування електроерозійне правлення алмазного круга доцільно здійснювати через 30 – 40 хвилин його роботи, а під час остаточного шліфування – частіше.

Очевидно, з точки зору поліпшення екології виробництва на операціях остаточного шліфування доцільно використовувати алмазні круги на більш м'яких зв'язках (органічних та керамічних), які працюють у режимі самозаточування, не вимагають правлення та забезпечують більш високі показники якості обробки порівнянно із алмазними кругами на металевих зв'язках. Тому алмазні круги на металевих зв'язках ефективно використовувати на операціях попереднього шліфування із застосуванням їх періодичного електроерозійного правлення. Отже, на основі проведених експериментальних досліджень обґрунтовано раціональні умови використання алмазних кругів на металевих зв'язках, що працюють у режимі періодичного електроерозійного правлення.

Для практичної реалізації процесу попереднього зовнішнього круглого поздовжнього шліфування алмазними кругами на металевих зв'язках доцільно

використовувати схему багатопрохідного шліфування, що здійснюється зі швидкістю обертання круга 25 – 30 м/с; швидкістю обертання оброблюваної деталі 20 – 60 м/хв; швидкістю поздовжньої подачі 10 – 20 мм/об. із висотою алмазного круга 25 мм; швидкістю поперечної подачі 0,1 мм/хід. Під час круглого урізному шліфування швидкість поперечної подачі необхідно встановлювати у межах, які не перевищують 6 мм/хв.

Для практичної реалізації круглого зовнішнього глибинного шліфування швидкість обертання деталі необхідно встановлювати не більше 0,5 – 5 м/хв; швидкість поздовжньої подачі 0,02 – 0,2 м/хв; глибину шліфування – до 1 мм на прохід. При цьому швидкість обертання деталі необхідно зменшувати шляхом встановлення на верстаті редуктора.

Теоретично та експериментально встановлено, що застосування глибинного шліфування дозволяє збільшити продуктивність обробки до 5 разів та одночасному зменшенні зношування алмазного круга і поліпшенні якості обробленої поверхні (головним чином, завдяки зменшенню шорсткості поверхні).

Під час алмазного електроерозійного шліфування доцільно використовувати алмазні круги діаметром 300 – 400 мм та висотою 20 – 40 мм, зернистістю 100/80 і нижче (з метою зменшення шорсткості поверхні), концентрацією зерен 50 – 100 % на мідно-алюмінієвій (металевій) зв'язці М1-01. Застосування алмазних кругів на мідно-олов'янистих зв'язках М2-01 під час обробки твердих сплавів, високоміцних наплавів і сталей можливе лише в умовах їх безперервного інтенсивного електроерозійного правлення (тобто в умовах електроерозійного шліфування), оскільки ці алмазні круги швидко засалюються і втрачають ріжучу здатність.

Отже, для ефективного здійснення процесу шліфування алмазними кругами на металевій зв'язці М1-01 необхідно використовувати їх періодичне електроерозійне правлення, що забезпечує відновлення різальної здатності алмазного круга. Це покращує екологічні умови виробництва. Під час шліфування алмазними кругами на більш міцній металевій зв'язці М2-01 необхідно використовувати електроерозійне шліфування, яке, за суттю, вимагає здійснення безперервного електроерозійного правлення алмазного круга, оскільки в іншому випадку алмазний круг швидко засалюється і втрачає ріжучу здатність, особливо під час обробки наплавлених матеріалів та сталей. На основі отриманих результатів розроблено практичні рекомендації щодо ефективного здійснення багатопрохідного та глибинного шліфування алмазними кругами, що працюють у режимі електроерозійного шліфування.

2.8. Шляхи підвищення ефективності застосування екологічно безпечних методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках

Основним недоліком методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках є електроерозійне іскріння, яке виникає у зоні обробки та викликає незручності під час роботи для робітника, а також може негативно вплинути на його органи зору. Отже, для того щоб знизити (або усунути) негативний вплив на органи зору робітника виникаючого у зоні обробки електроерозійного іскріння, необхідно суттєво зменшити час електроерозійної дії на алмазний круг, тобто зменшити, за суттю, час електроерозійного правлення алмазного круга.

Слід зазначити, що так гостро проблема усунення процесу електроерозійного іскріння в зоні електроерозійного правлення алмазного круга традиційно не виникала. Однак побажання з боку робітників усунути цей процес або знизити його інтенсивність у зоні правлення, особливо, під час алмазного електроерозійного шліфування, яке може здійснюватися на протязі робочої зміни, все ж мали місце. Із цією метою нами запропоновано нове технічне рішення з поліпшення умов здійснення електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці [28; 33]. Воно полягає у використанні ручного ізольованого електроду (рис. 24). У процесі правлення ізольований Г-подібний електрод притискається до периферії алмазного круга у зоні інтенсивного попадання на нього охолоджуючої рідини. При цьому не спостерігається його відтискання через відсутність биття поверхні алмазного круга. Для здійснення такого процесу правлення достатньо алмазний круг вивести із зони обробки та виключити поздовжню подачу, що є зручним для робітника. Наступний процес правлення алмазного круга необхідно здійснювати з появою шуму в зоні обробки, що є першою ознакою засалювання алмазного круга.

Застосування цього технічного рішення забезпечує швидке очищення поверхні алмазного круга від продуктів обробки (сталевого кольору) і розкриття його алмазовмісного шару. За даними експериментальних досліджень, час електроерозійного правлення складає до 5 – 7 секунд за умови дотримання сили електричного струму 15 – 20 А. При цьому здійснюється якісне розкриття його алмазовмісного шару, ріжучі зерна виступають на значну висоту над рівнем металевої зв'язки алмазного круга, достатню для здійснення висо-

копродуктивної обробки шліфуванням. Стійкість алмазного круга на металевій зв'язці М1-01 після його електроерозійного правлення з використанням ручного ізолюваного електроду багаторазово збільшується порівняно зі стійкістю алмазного круга після звичайного механічного правлення абразивним бруском. Це дозволяє якісно здійснювати процес алмазного шліфування та фактично виключає негативний вплив іскріння (що виникає у зоні електроерозійного правлення алмазного круга) на органи зору робітника, оскільки має місце дуже незначний час електроерозійного правлення.

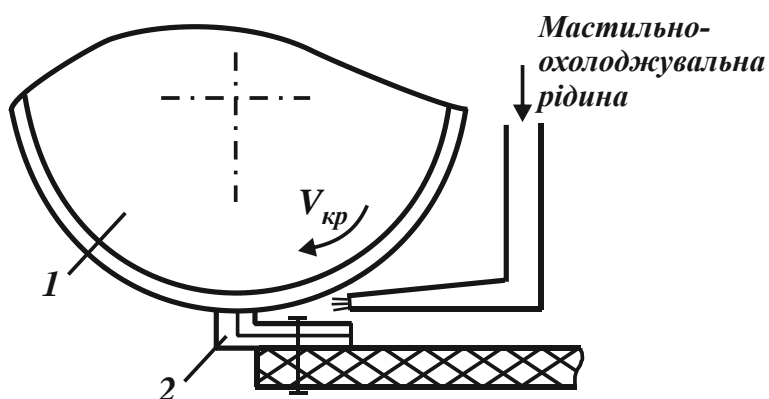


Рисунок 24 – Схема електроерозійного правлення алмазного круга (1) із використанням електроду (2), який може утримувати в руках шліфувальник

Розроблену на основі запропонованого технічного рішення екологічно чисту технологію електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках ефективно використано на операції шліфування блок-матриць для синтезу алмазного порошку. Блок-матриця складається зі сталеві обійми із запресованою до неї твердосплавною камерою, в якій відбувається процес синтезу алмазного порошку. Для забезпечення площинності верхньої частини блок-матриці здійснюється її шліфування алмазним кругом на плоскошліфувальному верстаті моделі ЗГ71. Спільна обробка сталі й твердого сплаву алмазним кругом 1А1 250×20×5 на органічній зв'язці, як показує практика, призводить до інтенсивного зношування алмазного круга і зниження продуктивності обробки. Застосування алмазного круга на керамічній зв'язці дозволяє певною мірою підвищити продуктивність обробки і знизити зношування круга, однак вирішити проблему високопродуктивного шліфування не вдалося.

Проблему вирішено завдяки застосуванню алмазного круга форми 1А1 300×20×5 на металевій зв'язці М1-01 та його періодичному електроерозійному правленню. Для здійснення електроерозійного правлення проведено

модернізацію плоскошліфувального верстата, яка включала електроізоляцію алмазного круга і здійснення підводу до нього електричного струму через графітову щітку. Правлячим електродом спочатку використовували оброблювану деталь. Джерелом технологічного струму застосовували спеціально виготовлений генератор імпульсів.

Однак електроерозійне правлення алмазного круга безпосередньо у процесі шліфування не дозволило досягти очікуваних результатів. Щільний контакт алмазного круга з оброблюваною поверхнею деталі, із однієї сторони, приводив до суттєвого збільшення розрядного струму, а з іншої сторони, викликав інтенсивне засалювання алмазного круга. Алмазний круг практично не піддавався правленню, його робоча поверхня була повністю покрита світло-сірим шаром сталевих стружки. Тому від такої ідеї електроерозійного правлення алмазного круга довелося відмовитися. Замість неї запропоновано ідею здійснення електроерозійного правлення із використанням ручного ізольованого електроду на основі запропонованого технічного рішення (рис. 24), практична реалізація якого показала позитивні результати. Так, новий алмазний круг на металевій зв'язці М1-01, який було встановлено на шліфувальний верстат і який характеризувався значним биттям робочої поверхні, за допомогою ручного електроду був підготовлений до роботи за дуже короткий проміжок часу. Це дозволило фактично вилучити негативний вплив іскріння на органи зору робітника, оскільки відбувався короткочасний процес електроерозійного правлення алмазного круга, що підвищило екологічну безпеку життєдіяльності робітника у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування. Це також відкрило нові можливості ефективного використання екологічно чистої технології електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках, оскільки дозволило ефективно здійснити шліфування твердосплавних блок-матриць в умовах знімання значних припусків.

Отже, застосування розробленої технології електроерозійного правлення із використанням ручного ізольованого електроду дозволяє виготовляти конкурентоздатну промислову продукцію, а також покращує екологічну захищеність робочого місця і виробництва в цілому, підвищує безпеку і працездатність робітника.

Запитання для самостійного контролю

1. Назвіть умови, за яких верстати із числовим програмним управлінням типу "обробний центр" забезпечують безпечні умови праці верстатника.

2. За рахунок яких чинників досягається забезпечення безпеки життєдіяльності людини від застосування сучасних технологій виробництва.

3. Що таке інновації? Назвіть шляхи розвитку інноваційних технологій.

4. Обґрунтуйте сутність та призначення нанотехнологій, їх зв'язок із умовами забезпечення безпеки життєдіяльності людини.

5. Чим відрізняється четверта промислова революція (Індустрія 4,0) від попередніх промислових революцій та яке значення вона має у забезпеченні безпеки життєдіяльності людини у техногенному середовищі.

6. У чому полягає сутність екологічно безпечних для життєдіяльності людини технологій в умовах металообробки.

7. Назвіть небезпечні для здоров'я робітника чинники технології алмазного електрохімічного шліфування.

8. Обґрунтуйте напрями забезпечення безпеки праці робітника під час застосування технології алмазного електрохімічного шліфування.

9. На якому фізичному ефекті засновано технологію алмазного електроерозійного шліфування?

10. Чим з точки зору безпеки життєдіяльності відрізняються технології алмазного електроерозійного та електрохімічного шліфування?

11. Як напруга впливає на продуктивність процесу електроерозійного правлення алмазного круга та на умови праці робітника-шліфувальника?

12. Які чинники безпеки життєдіяльності обмежують ефективність застосування процесу електроерозійного правлення алмазного круга?

13. У чому полягає сутність модернізації шліфувального верстата для здійснення алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці?

14. Як пов'язані умови проведення модернізації шліфувального верстата для здійснення алмазного електроерозійного шліфування з забезпеченням безпеки життєдіяльності робітника-шліфувальника?

15. Як впливає частота включення джерела електричного струму на екологічні умови виробництва та якість оброблених поверхонь деталей машин?

16. За яких умов необхідно використовувати періодичне електроерозійне правлення алмазного круга, що покращує екологічні умови виробництва?

17. Назвіть основний недолік з точки зору екології виробництва, який виникає під час алмазного електроерозійного шліфування, та обґрунтуйте шляхи його усунення.

Література: [2; 5; 6; 14; 16; 18; 20; 21; 23; 25; 28; 29; 31; 33; 39; 42; 43; 47; 50 – 52;]

Розділ 3. Обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій зі створення екологічно безпечних для життєдіяльності людини технологій виробництва

Зараз прогресивний метод алмазного електроерозійного шліфування ефективно застосовують замість алмазного електрохімічного шліфування. Тому важливо обґрунтувати та розробити практичні рекомендації зі створення ефективних екологічно безпечних для життєдіяльності людини на виробничому підприємстві технологій алмазного електроерозійного шліфування виробів, виготовлених із різних важкооброблюваних матеріалів, включаючи шліфування виробів з твердих сплавів та з наплавленими високоміцними матеріалами, розрізання високотвердих порід каменю, нарізання граней на поверхнях виробів із кристалу, огранювання природних алмазів в діаманти, обробку виробів із важкооброблюваних керамік й феритів та ін. У результаті практичного застосування цих технологій з'являється можливість здійснювати екологічно чисту механічну обробку шліфуванням на промислових підприємствах України виробів із матеріалів високої твердості з забезпеченням високих показників якості та продуктивності обробки.

3.1. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечних для життєдіяльності технологій виробництва діамантів із природних алмазів

Актуальною науково-практичною задачею є задача підвищення ефективності технології виробництва діамантів із природних алмазів. Особливо це відноситься до операцій шліфування й огранювання природних алмазів в діаманти [52; 57] (рис. 25, рис. 26). Так, на операції круглого зовнішнього шліфування природних алмазів в діаманти традиційно використовують алмазний круг на металевій зв'язці діаметром 150 мм. Правлення цього алмазного круга традиційно здійснюють електрохімічним методом. Для цього алмазний круг, що обертається з високою швидкістю (до 20 м/с), у процесі шліфування поміщають у ванну з електролітом. Це дозволяє безперервно розчиняти поверхневий шар металевій зв'язки алмазного круга і видаляти верхній ряд затуплених алмазних зерен, що забезпечує високу різальну здатність алмазного круга та підвищення продуктивності й якості обробки. У той же час, у результаті розбризкування електроліту і забруднення їм робочого місця

верстатника у процесі шліфування доводиться значно знижувати швидкість обертання алмазного круга. Це приводить до зниження продуктивності обробки та не дозволяє підвищити ефективність обробки.



Рисунок 25 – Природний алмаз до обробки та після обробки (після огранювання його в діамант)



Рисунок 26 – Процес огранювання природного алмазу в діамант

Однак, найбільш важливим недоліком цього процесу обробки є небезпечна дія електроліту на здоров'я верстатника. Електроліт шкідливо діє на його руки і органи дихання. Причому, на операціях шліфування й огранювання природних алмазів в діаманти на цих підприємствах задіяно багато верстатників, оскільки обробка діамантів здійснюється на багатьох верстатах. Тому на підприємствах, що займаються виробництвом діамантів із природних алмазів, постійно поставали питання заміни цієї небезпечної для здоров'я верстатників технології більш безпечною технологією, яка б не була шкідливою для їх здоров'я. У результаті для практичного використання було впроваджене

но у виробництво ефективну екологічно безпечну технологію електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках [30; 52]. Це дозволило відмінити шкідливе електрохімічне правлення алмазного круга на металевій зв'язці у ванні із електролітом.

Таким чином, впровадження електроерозійного правлення алмазного круга дозволило суттєво поліпшити екологію технологічного процесу шліфування й огранювання природних алмазів в діаманти, виключити шкідливий вплив електроліту на здоров'я верстатника і навколишнє середовище, а також підвищити продуктивність та якість обробки природних алмазів в діаманти.

Крім шкідливого для здоров'я верстатника алмазного електрохімічного шліфування, на ряді технологічних операцій огранювання природних алмазів у діаманти традиційно використовують спеціальні алмазні круги, у яких алмазовмісний шар наносять електрогальванічним методом на диск діаметром 300 мм і товщиною 10 – 15 мм, закріпленим на вертикальній осі. Диск круга виготовляють із спеціального чугуну, а алмазовмісний шар наносять на поверхню диску шириною 60 мм від його краю. Закріплюють алмазний порошок зернистістю 7/5 мкм на поверхності диску складом ряду металів. Ця технологія виготовлення спеціального алмазного круга складна і шкідлива для здоров'я працюючих.

Після електрогальванічного нанесення та закріплення алмазного порошку на чавунному диску, здійснюють укочування алмазовмісного шару із застосуванням алмазних кристалів баласу. При цьому відбувається вдавлення алмазних зерен у поверхню чавунного диску, що забезпечує підвищення міцності алмазовмісного шару. Для покращення умов укочування алмазовмісного шару використовують марку не дуже твердого і в міру пористого чавуну. Після здійснення процесу укочування товщина алмазовмісного шару вимірюється сотими частками міліметра.

Далі виконують динамічне балансування виготовленого спеціального алмазного круга і перевіряють биття його робочої поверхні – воно не повинно перевищувати 0,01 мм.

Працездатність такого круга складає кілька робочих змін, після чого круг переробляють – видаляють залишки алмазовмісного шару з диску і знову електрогальванічним методом наносять на нього алмазний порошок. Очищення поверхні диска від відходів здійснюють у ванні з водою і абразивним порошком КЗ (карбиду кремнію зеленого з дрібною фракцією зерен). У цю ванну вмонтовано горизонтальну вісь, на якій кріпиться металевий диск

діаметром 500 – 600 мм. На диску закріплені бронзові башмаки завтовшки 40 – 50 мм на всій поверхні. Цей диск із віссю є ведучим під час обертання приблизно з частотою обертання 200 – 300 об./хв. Огранювальний диск (для видалення залишкового алмазовмісного шару) встановлюють у цю ванну так, щоб осі були паралельні.

Далі за допомогою гвинта вводять у контакт поверхню бронзових башмаків і поверхню алмазовмісного шару огранювального диска. Від обертання ведучого диска починає обертатися огранювальний диск і це відбувається у абразивному середовищі. У результаті здійснення процесу обробки вільним абразивом видаляються залишки алмазозмісного шару та відбувається зачищення (шаржування) чавунного диска. Притерта поверхня чугунного диска повинна бути дуже чистою і, головне, биття диску повинно знаходитися у необхідних межах – не більше 0,01 мм.

Після очищення поверхні чугунного диска від відходів його передають на гальванічну ділянку. Однак, при цьому виникає проблема екології виробництва у зв'язку із частим електрогальванічним нанесенням алмазного порошку на чугунний диск круга і видаленням із нього залишків алмазовмісного шару.

Як показує практика, гальванічна ділянка є надзвичайно шкідливою для здоров'я працюючих і кошовною, проте обійтися без неї за такої технології виготовлення спеціальних алмазних кругів не можна, оскільки обсяги оновлення огранювальних дисків великі. При цьому часто доводиться змінювати абразивну рідину та утилізувати кубометри рідких відходів. Об'єм однієї ванни значний і становить приблизно 0,5 – 0,6 м³ (всього на ділянці є 3 ванни). Ці значні за об'ємом ванни накопичують багато бруду, його доводиться постійно чистити і відвозити значну масу відходів. Робітники відмовляються працювати в цих екологічно брудних і шкідливих для здоров'я умовах.

Отже, технологія виготовлення алмазного круга електрогальванічним методом є дуже екологічно брудною і небезпечною для здоров'я робітників. Тому постійно поставало актуальне питання заміни цієї технології більш безпечною та сучасною технологією, або заміни алмазних кругів, виготовлених електрогальванічним методом, на інші більш сучасні алмазні круги, які виготовляють за новими інноваційними технологіями. Тобто важливо уникнути цієї екологічно небезпечної для здоров'я працівників технології. У зв'язку із цим, було запропоновано використовувати спеціальні алмазні круги на металевих зв'язках, які виготовлялись промисловістю із застосуванням інноваційної екологічно чистої технології – порошкової металургії. Ця технологія здійснюється в умовах із незначними температурами, оскільки синтетичні

алмази, із яких виготовляють алмазні круги, не витримують температури більше 800 °С. Тому для спікання алмазоносного шару круга потрібно було досягати температуру плавлення металевої зв'язки алмазного круга (на мідній та нікелевій основах), а це в межах 300 – 400 °С, що досягається застосуванням методів порошкової металургії.

Виходячи з цього, для виключення спеціальних алмазних кругів, виготовлених електрогальванічним методом, із технологічного процесу огранювання природних алмазів в діаманти, запропоновано використовувати спеціальні алмазні огранювальні круги на металевих зв'язках (наприклад, зв'язці МЗ-04 з характеристиками 6А2 300×60×4×50), які виготовлені методом порошкової металургії.

Під час обробки огранювальний алмазний круг базується на оправці-осі огранювального верстата та закріплюється механічним способом (рис. 27 [33]). При цьому алмазний круг обертається у площині столу, вісь обертання вертикальна. Для нормального здійснення процесу обробки биття ріжучої поверхні алмазного круга не повинно перевищувати 0,01 мм. Тому огранювальний алмазний круг обов'язково повинен проходити динамічне балансування, оскільки вібрації суттєво впливають на величину биття його ріжучої поверхні (діаметр круга – 300 мм, а частота обертання перевищує 3000 об./хв).

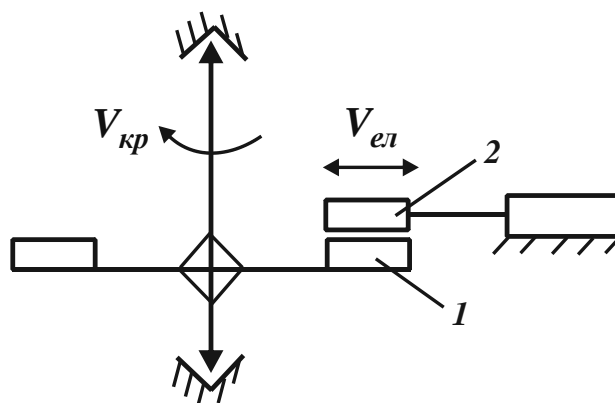


Рисунок 27 – Схема електроерозійного правлення огранювального алмазного круга: 1 – алмазовмісний шар круга; 2 – електрод

Практикою встановлено, що усунути механічним способом збільшене биття огранювального алмазного круга на металевій зв'язці не призводить до позитивних результатів. Незважаючи на те, що відбувається зняття алмазоносного шару, профіль різальної поверхні круга фактично не змінюється (залишається вихідним) і биття не усувається. Тому виконувати огранювання

природних алмазів цим кругом неможливо. У зв'язку із цим було запропоновано ідею усунення биття ріжучої поверхні огранювального алмазного круга з використанням методу електроерозійного правлення. Для цього було виготовлено спеціальне обладнання. Щоб виключити ряд похибок під час електроерозійного правлення огранювального алмазного круга, його обробку здійснювали на огранювальному верстаті, де розміщували всі необхідні елементи правлення.

Важливим моментом даного рішення стало те, що огранювальний алмазний круг піддавався правленню у зібраному вигляді (на оправці-осі). Правлячий електрод був виготовлений із графітового матеріалу і мав пази для потрапляння охолоджувальної рідини у зону вправлення. Електрод здійснював зворотно-поступальні рухи на всю ширину алмазоносного шару круга (рис. 27). Напрямні електрода виготовляли із загартованої сталі та з'єднували між собою за допомогою кульок. Така конструкція виключала вібрації електрода і зменшувала похибки під час вирівнювання ріжучої поверхні алмазного огранювального круга. Зворотно-поступальні рухи електрода здійснювалися від електродвигуна з редуктором за допомогою кривошипно-шатунного механізму. Величину руху електрода регулювали збільшенням або зменшенням штанги шатуна.

Електродвигун із редуктором мав невеликі габарити і легко встановлювався на пристрої. Весь пристрій кріпився на столі верстата. Врізна подача графітового електрода на алмазоносний шар круга здійснювалася за допомогою пари "гвинт-гайка" по штифтових напрямних. Довжина цього переміщення становила 1 ... 4 мм. За допомогою гвинта можна вводити графітовий електрод в контакт із ріжучою поверхнею алмазного огранювального круга.

Процес електроерозійного правлення огранювального алмазного круга протікав в умовах рясного охолодження зони правлення з використанням технічної води. Примусове подання рідини здійснювалося від насосної станції (з використанням водяної помпи від заточувального верстата моделі ЗД642Е). Для збору відпрацьованої рідини під огранювальним алмазним кругом, що обертався, був встановлений спеціальний піддон, звідки вода поверталася у бачок насосної станції. Для вилучення розбризкування рідини під час обертання огранювального алмазного круга використовували захисний кожух. Як джерело технологічного струму електроерозійної правки застосовували спеціальний електроімпульсний генератор.

Електроерозійне правлення огранювальних алмазних кругів зі зернистістю 5 ... 10 мкм має свої особливості, пов'язані, перш за все, із підтримкою

необхідного зазору між електродом та правлячою поверхнею круга. Вирішити це завдання вдалося шляхом використання електрода із графіту і рясної подачі охолоджувальної рідини безпосередньо у зону правлення.

Електроерозійне правлення характеризується перенесенням знятого матеріалу зв'язки алмазного круга на правлячий електрод (на круг подається позитивний заряд, а на електрод – негативний), який в застиглому вигляді накопичується у пазах електроду. Настає такий момент, коли в окремих місцях він перемикає проміжок між електродом і зв'язкою круга. У результаті різко збільшується сила струму правлення і на поверхні круга утворюються борозни (завдяки інтенсивнішому зніманню матеріалу). При подальшому виправленні на різальній поверхні круга утворюються значні нерівності.

Описаний вище випадок відноситься до правлення алмазного круга електродом, виготовленим із металу. Усунути застиглий на електроді матеріал зв'язки алмазного круга складно через невелику величину виступання зерен. Це завдання було успішно вирішено завдяки використанню електроду із графіту. Перенесений на електрод матеріал зв'язки алмазного круга легко відривається від графітового електроду, оскільки температури плавлення графіту та матеріалу зв'язки алмазного круга різні та між ними не відбувається міцного зчеплення.

Таким чином, впровадження у виробництво розробленої технології електроерозійного правлення огранювального алмазного круга слід розглядати важливим чинником в організації виконання технологічних операцій огранювання природних алмазів у діаманти, оскільки це дозволяє відійти від дуже небезпечної технології виготовлення алмазних кругів (огранювальних дисків) електрогальванічним методом. На відміну від алмазних кругів, виготовлених електрогальванічним методом, алмазні круги на металевих зв'язках (наприклад, на зв'язці МЗ-04 з характеристиками 6А2 300×60×5×50 АС6 10/7 4, які виготовлені методом порошкової металургії) з великою товщиною алмазовмісного шару ефективно працюють в умовах електроерозійного шліфування із застосуванням звичайної технічної води, яка не є шкідливою для здоров'я працівника [52]. Тому застосування алмазних кругів на металевих зв'язках, виготовлених методом порошкової металургії, могло б вирішити екологічну проблему огранювання природних алмазів у діаманти. Однак 100-відсоткової концентрації цих алмазних кругів виявилось недостатньо, щоб замінити круги, які виготовлені електрогальванічним методом. Різниця в концентрації указаних кругів була величезна. Тому на операції огранювання природних алмазів в діаманти, як і раніше, використовують спеціальні круги, у яких алмазо-

вмісний шар наноситься на диск круга електрогальванічним методом, що забруднює робоче місце хімічно-активними речовинами і знижує екологічну безпеку виробництва. Спроби збільшити поверхневу концентрацію традиційно виготовленого (спеченого) методом порошкової металургії алмазного круга шляхом введення в зону обробки додаткової маси вільного алмазного порошку до успіху не привели. Якість огранювання природних алмазів залишалася нижче, ніж під час обробки кругами, виготовленими електрогальванічним методом. Отже, питання підвищення поверхневої концентрації традиційно виготовленого (спеченого) методом порошкової металургії алмазного круга залишається актуальним. Із його вирішенням з'явиться можливість виключити екологічно шкідливу технологію електрогальванічного нанесення алмазного порошку на диск круга. Завдяки цьому праця робітників може стати більш ефективною та продуктивною, що обумовлено, перш за все, психологічним спокоєм робітників щодо відсутності у виробництві дуже екологічно брудної та небезпечної для їх здоров'я технології виготовлення алмазних кругів (огранювальних дисків).

3.2. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної для життєдіяльності технології електроерозійного правлення великогабаритних збірних алмазних кругів на металевих зв'язках

У радіо- та телевізійній промисловості широко використовують вироби, виготовлені з марганець-цинкових та барієвих феритів. Однак, як показує практика, технологія їх виготовлення на остаточних операціях механічної обробки (алмазного шліфування) дуже недосконала і характеризується високою трудомісткістю та низькою продуктивністю праці. Операції алмазного шліфування плоских поверхонь виробів із феритів здійснюють на шліфувальних верстатах із обертаючим столом моделі ЗБ756. Для цього застосовують великогабаритні (діаметром 800 мм) торцеві збірні алмазні круги на високоміцній металевій зв'язці М2-01, у яких різальні алмазні елементи (циліндричні вставки діаметром 40 мм) розміщено вздовж краю торцевої поверхні круга (рис. 28).

У процесі складання різальних алмазних елементів на крузі має місце їх значне різновисотне розташування – у межах 1 мм. Для усунення цього значного різновисотного розташування алмазних елементів на крузі застосовують традиційну технологію їх шліфування великогабаритним абразивним кругом –

діаметром 900 мм та висотою 100 мм. Оскільки за твердістю алмаз значно перевершує звичайні абразивні матеріали (електрокорунд, карбід кремнію, карбід бору тощо), із яких виготовляють абразивні круги, то у процесі вирівнювання алмазовмісного шару алмазного круга абразивний круг зношується інтенсивно. Це призводить до утворення абразивного пилу на робочому місці та погіршення екології виробництва. Крім того, процес шліфування трудомісткий, а оброблений таким способом великогабаритний збірний торцевий алмазний круг має низьку працездатність.

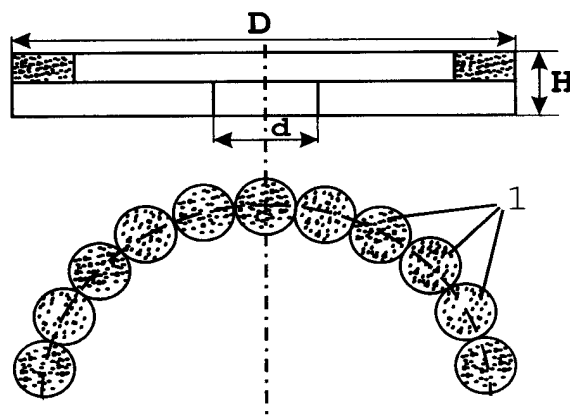


Рисунок 28 – Великогабаритний збірний алмазний круг для торцевого шліфування виробів із феритів: 1 – різальні алмазні елементи

Як показує практика, після здійснення операції вирівнювання алмазовмісного шару у великих збірних алмазних кругах із застосуванням діючої технології абразивного шліфування доводиться совковою лопатою чистити відходи від абразивних кругів – настільки багато їх утворювалося на робочому місці [34]. Тому постійно виникали вимоги до керівництва підприємства замінити цю неефективну технологію більш прогресивною з точки зору, насамперед, поліпшення гігієни праці: усунення утворення шкідливого для здоров'я верстатників абразивного пилу на робочому місці. Одним із можливих варіантів вирішення проблеми міг би бути варіант застосування абразивних кругів більшої твердості. Однак, вартість таких абразивних кругів дуже висока. Крім того, потрібно було забезпечити велику їхню кількість. Тому прийняли рішення застосувати на підприємстві сучасну високоефективну технологію електроерозійного правлення збірних великогабаритних торцевих алмазних кругів на металевих зв'язках.

Ця технологія є екологічно чистою та безпечною для здоров'я верстатників, оскільки не вимагає застосування шкідливих для їх здоров'я електролі-

тів, що має місце під час здійснення електрохімічного правлення алмазних кругів. Замість електролітів використовують звичайну технічну воду, що є важливим чинником забезпечення безпеки життєдіяльності верстатників у даних умовах виробництва.

Під час електроерозійного правлення відбувається ударно-термічна дія на поверхню металевої зв'язки алмазного круга та її ерозійне термічне руйнування (випалювання) а, відповідно, усунення різновисотного розташування різальних алмазних елементів на крузі. При цьому досягається значна розвиненість ріжучого рельєфу алмазного круга та досягається його висока ріжуча здатність, що сприяє підвищенню техніко-економічних показників процесу шліфування виробів із феритів [47; 48].

Завдяки застосуванню розробленої технології електроерозійного правлення та створенню спеціального технологічного оснащення забезпечено профілювання на алмазному крузі збірного конусу. Це має надзвичайно велике значення для ефективного здійснення процесу алмазного шліфування виробів із феритів. Згідно з діючою технологією, забезпечити профілювання алмазного круга із застосуванням звичайного абразивного круга було занадто складно, що приводило до різкого зниження якості та продуктивності обробки виробів із феритів.

Отже, у результаті застосування розробленої технології електроерозійного правлення великогабаритного збірного алмазного круга вдалося багаторазово знизити трудомісткість підготовки його до роботи порівняно із діючою технологією абразивного шліфування. Також вдалося знизити енергоємність процесу алмазного шліфування виробів із феритів та, відповідно, сили і температуру різання та підвищити якість і продуктивність обробки. Це дозволило підвищити відсоток виходу придатних виробів завдяки зменшенню кількості сколів на оброблених виробах та виключенню інших дефектів обробки. Крім того, для здійснення процесу шліфування виробів із феритів було застосовано алмазні круги на більш міцних кобальтових зв'язках. Це призвело до більш суттєвого підвищення якості та продуктивності обробки. Таким чином, застосування прогресивної технології електроерозійного правлення алмазних кругів стало дієвим чинником підвищення рівня культури виробництва та безпеки життєдіяльності верстатників, оскільки технологія є екологічно чистою та придатною із точки зору охорони праці та збереження здоров'я верстатників.

Розроблену технологію електроерозійного правлення збірних великогабаритних алмазних кругів на металевих зв'язках для торцевого шліфування

виробів із марганець-цинкових та барієвих феритів впроваджено у Науково-виробничій фірмі "Феррокерам" (м. Біла Церква, Київська область) – основному виробнику виробів із феритів в Україні. Із використанням цих технологій було переобладнано більше 20 верстатів моделі ЗД765. Вони були укомплектовані необхідною кількістю спеціальних генераторів імпульсного електричного струму та спеціального технологічного оснащення для електроерозійного правлення великогабаритних збірних торцевих алмазних кругів із ріжучими алмазними елементами великої зернистості 315/250 на високоміцних кобальтових зв'язках та металевих зв'язках М2-01. Ця технологія також отримала подальший розвиток на інших підприємствах електронної промисловості, зокрема, під час обробки виробів, виготовлених з різних технічних керамік (керамічних пластин тощо).

3.3. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної для життєдіяльності технології алмазного шліфування керамічних деталей

Технологію електроерозійного правлення алмазних кругів на металевій зв'язці було ефективно використано під час виготовлення керамічних деталей на одному із радіозаводів [34]. Ці керамічні деталі представляли собою різні за габаритами пластини (10×10 мм, 20×20 мм, 20×40 мм товщиною до 1 мм й вище), на які кріпили мікросхеми, тобто керамічні пластини застосовували для монтажу електронних схем. Під час шліфування цих керамічних пластин традиційно використовували алмазні круги на металевій зв'язці М1-01. Обробку пластин у розмір здійснювали на плоскошліфувальному верстаті. Ця обробка характеризувалася високою трудомісткістю, оскільки керамічний матеріал є дуже крихким і отримати товщину в 1 мм складно: пластини тріскалися, відсоток їх виготовлення без тріщин був незначним.

Перед шліфуванням керамічні пластини приклеювали на великі металеві оправки, які потім укладали на магнітну плиту верстата. Для цього використовували клей на основі воску. В процесі нагрівання металевої оправки до температури 70° – 80° віск плавився і на нього укладали керамічні пластини. Після охолодження воску керамічні пластини міцно утримувалися на металевій оправці. Для охолодження оброблюваних пластин у процесі шліфування використовували емульсію або гас. Перевагу віддавали гасу, оскільки він краще впливав на процес шліфування.

Коли деталі шліфували в гасі, то біля верстату утворювався туман із гасу, який буквально "висів" у повітрі. В умовах Карпат, де знаходився радіозавод, це викликало значні труднощі у роботі верстатника. Із-за величезної вологості повітря цей туман із гасу створював дуже важку картину – зовсім не було чим дихати на робочому місці. Звичайно, працювала вентиляція, однак вона допомагала мало. Все це вимагало вдосконалення технології шліфування та покращання умов праці робітників.

Ефективним рішенням стало використання шліфувальних верстатів моделі 3102. Це верстати з двома вертикальними шпинделями та двома алмазними кругами, які дозволяли підвищити продуктивність обробки у декілька разів порівняно із плоскошліфувальними верстатами. Між алмазними кругами встановлювали потрібний розмір – за товщиною керамічної пластини та здійснювали шліфування. Для цього застосовували тарілчасті алмазні круги діаметром 250 мм на металевій зв'язці М1-01. Щоб уникнути електроерозійне правлення алмазних кругів у гасі та ліквідувати цей екологічно брудний етап технологічного процесу було запропоновано їх електроерозійне правлення здійснювати із застосуванням більш екологічно чистого технологічного середовища – емульсії (а в кращому випадку технічної води).

Такий процес більш прийнятний, оскільки використання звичайної води покращило екологію виробництва. При цьому також підвищився відсоток оброблених керамічних пластин без тріщин. Однак це досягалося за умови шліфування гострим алмазним кругом. За умови затуплення алмазного круга розтріскування керамічних пластин різко збільшувалося, а їх розмір не витримувався. Тому алмазний круг необхідно було часто піддавати правленню: 1 – 2 рази за зміну – все залежало від кількості пластин у оброблюваній партії. Основною причиною інтенсивного затуплення алмазних кругів була велика міцність керамічних пластин. Правлення алмазних кругів здійснювали 1 – 2 рази за зміну – все залежало від кількості пластин у оброблюваній партії.

Процес правлення алмазних кругів здійснювали на електроерозійному верстаті з потужним генератором електричних імпульсів, який встановлювали у окремому приміщенні. Електроерозійне правлення алмазного круга здійснювали у гасі (знову ж не відійшли від цього несприятливого гасу), який приводив до гару і запаху горілого. Цей процес за часом тривав довго і був екологічно брудним. Із метою покращення умов праці з точки зору екологічно безпечної роботи та виключення шкідливого впливу гасу на організм верстатника було встановлено сильні витяжні пристрої. Але проблему гігієни праці все ж не було вирішено.

Для здійснення електроерозійного правлення алмазні круги знімали з шліфувального верстата і встановлювали на ерозійний верстат. Нове базування призводило до певних перекосів на крузі, що збільшувало час електроерозійного правлення і вирівнювання робочої поверхні круга (час обчислювався у хвилинах, тобто це достатньо тривалий процес).

Після правлення алмазних кругів необхідно було достатньо точно встановлювати їх на шліфувальний верстат. На це витрачали дуже багато часу, оскільки робота була складною і її міг виконувати лише кваліфікований спеціаліст. У результаті нове базування призводило до перекосів алмазних кругів і вони працювали неповною поверхнею, що знижувало час їхньої роботи. Затуплений алмазний круг також негативно впливав на теплові процеси шліфування та призводив до зниження якості оброблених керамічних пластин і зниження працездатності підшипників шпинделя шліфувального верстата. Тому верстатники, як правило, не здійснювали електроерозійне правлення алмазного круга, а працювали затупленими алмазними кругами. Це приводило до суттєвого зниження якості оброблених керамічних пластин.

Важливим вирішенням цієї проблеми стало здійснення електроерозійного правлення алмазних кругів безпосередньо на шліфувальному верстаті без зняття алмазного круга та подальшого повторного його встановлення на шліфувальний верстат. У результаті було отримано позитивні результати. У процесі електроерозійного виправлення алмазні круги відводили один від одного (на верстаті це легко зробити) і поміщали між ними правлячий електрод. За умови здійснення такої технології електроерозійного правлення биття на поверхні алмазних кругів фактично було відсутнє, чого не досягалося раніше під час здійснення процесу правлення на ерозійному верстаті. Тому після правлення гострі алмазні круги не призводили до значного розтріскування керамічних пластин у процесі шліфування, а час між правленнями алмазних кругів збільшувався.

За такого підходу вирішувалося багато питань: відпадала необхідність використання окремого верстата для ерозійного правлення та робітника, який обслуговував цей верстат; вдалося зменшити кількість слюсарів, які знімали та встановлювали алмазні круги для здійснення електроерозійного правлення; зникла проблема з використанням гасу на шліфувальному та ерозійному верстатах. Ці питання вирішувалися завдяки відсутності биття поверхні алмазного круга та досягнутій його високій гостроті. Це дозволило, по-перше, покращити екологію обробки та уникнути небезпек життєдіяльності верстатників із точки зору їх здоров'я, а, по-друге, суттєво підвищити техніко-економічні

показники обробки керамічних пластин. Крім того, на плоскошліфувальних верстатах алмазні круги на металевій зв'язці М1-01 піддавали правленню абразивними кругами, а це було коштовно. Тому перехід на електроерозійне правлення алмазних кругів був дуже вигідним. Що стосується охорони праці, то відмова від використання гасу на виробництві та в процесі шліфування на ерозійному верстаті дуже віталася.

Таким чином, на конкретних прикладах показано, що впровадження у виробництво безпечної екологічно чистої технології алмазного електроерозійного шліфування дозволяє кардинально покращити умови охорони праці на робочому місці та забезпечити ефективне виготовлення виробів із матеріалів високої твердості з високими показниками якості та продуктивності.

3.4. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної для життєдіяльності технології електроерозійного правлення алмазних переривчастих кругів та великогабаритних сегментних алмазних пил

У виробництві та побутових умовах широко використовують шліфувальні круги з напаюваними алмазовмісними елементами на металевій зв'язці, які встановлюють уздовж зовнішньої поверхні круга з певним інтервалом. За суттю, це так звані переривчасті круги. Їх застосовують під час шліфування виробів з твердих сплавів та з наплавленими високоміцними матеріалами, під час розрізання матеріалів, вишліфування пазів, канавок тощо. Основна проблема їх підготовки до роботи – це видалення значного різновисотного виступання алмазовмісних елементів (висотою до 1 мм), яке виникає у процесі їх напаювання. Традиційно ця різновисотність видалається у процесі шліфування зовнішньої поверхні алмазного круга звичайним абразивним кругом. При цьому алмазний круг обертається зі значною швидкістю (30 – 40 м/с), а абразивний круг – з невеликою швидкістю (до 5 м/с). Однак, як встановлено, процес шліфування у цьому випадку надзвичайно тривалий, особливо під час обробки алмазних кругів на високоміцних (наприклад, кобальтових) зв'язках. Він супроводжується значною витратою абразивних кругів і утворенням шкідливого для здоров'я робітника абразивного пилу, який йому доводиться вдихати протягом усього робочого часу. Це, безсумнівно, викликає значні труднощі під час виконання роботи. Застосування вентиляційних пристроїв також повною мірою проблему забезпечення екології виробництва та робочого місця не вирішує.

Із огляду на сказане, ефективним засобом підвищення екології виробництва у даному випадку слід розглядати застосування методу електроерозійного правлення для усунення різновисотного виступання алмазовмісних елементів на алмазному крузі. Як вже зазначалося, цей метод правлення виключає утворення абразивного пилу й забезпечує високу екологію виробництва, дозволяє суттєво підвищити продуктивність обробки й скоротити час усунення різновисотного виступання алмазовмісних елементів на крузі.

Особливо значний ефект можна досягнути під час підготовки до роботи великогабаритних сегментних алмазних пил діаметром 1000 мм та більше із зернистістю 1000/800, які застосовують під час розрізання високотвердих порід каменю (мрамор, граніт тощо, рис. 29). Для високопродуктивного усунення різновисотного виступання алмазовмісних елементів на алмазній пилі (висотою до 1 мм) застосували генератори імпульсного електричного струму підвищеної потужності [33; 52]. Це дозволило замінити традиційно застосовуване на практиці обладнання для механічної обробки (шліфування абразивним кругом) великогабаритних сегментних алмазних пил. За цією технологією витрачали велику кількість абразивних кругів, які внаслідок інтенсивного зношування перетворювалися в абразивні відходи з утворенням абразивного пилу, шкідливого для здоров'я робітника та нормальної роботи обладнання.

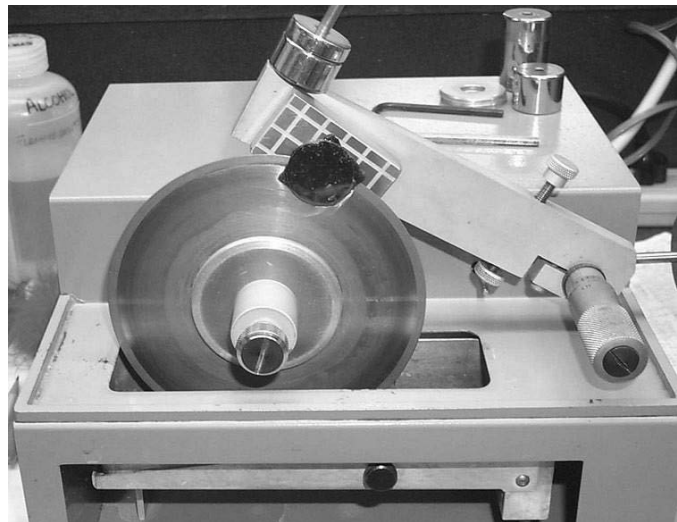


Рисунок 29 – Алмазна пила та процес розрізання каменю

Під час електроерозійного правлення великогабаритних сегментних алмазних пил слід розглядати ефективним застосування гнучкого електроду у вигляді щітки. Це дозволяє здійснювати електроерозійне правлення одно-

часно всіх алмазовмісних елементів, що мають різну висоту виступання на алмазній пилі, оскільки під час застосування жорсткого електроду електроерозійному правленню в початковий період будуть піддаватися лише найбільш виступаючі алмазовмісні елементи алмазних пил. У кінцевому підсумку це сприяє підвищенню продуктивності процесу правлення алмазної пилі й скороченню часу його здійснення. Крім того, застосування гнучкого електроду (завдяки суттєвому підвищенню щільності електричного струму) дозволяє підвищити якість розкриття алмазоносного шару пилі – алмазні зерна значно виступають над рівнем металевої зв'язки, що сприятливо позначається на її ріжучій здатності й дозволяє підвищити продуктивність та якість обробки.

3.5. Практичні рекомендації зі створення екологічно чистої та безпечної для життєдіяльності технології алмазної обробки виробів із хрустала

Кришаль – це скло з високим ступенем прозорості та білизни. Вироби із кришталю прикрашаються гравіюванням, огранюванням та різьбленням.

Для виготовлення виробів із кришталю застосовують методи пресування та видування. Сутність методу пресування полягає у формуванні виробу під тиском, а методу видування – у формуванні необхідної форми виробу шляхом створення робітником (склодувом) через трубку тиску повітря у внутрішній частині гарячого після варіння скла. Як показує практика, отриманий виріб із кришталю після пресування є більш щільним та міцним, однак викликає значні складнощі під час його подальшої обробки.

Слід зазначити, що обробка виробів із кришталю – трудомісткий процес, оскільки скло є дуже міцним матеріалом. Крім того, до складу кришталю входить до 24 % свинцю та його оксидів, які є матеріалами, шкідливими для здоров'я людини.

Забезпечення якості виготовлення виробів із кришталю полягає у високоякісному нарізанні граней на їхніх поверхнях алмазним кругом на верстаках моделі САГ.

Під час нарізання граней на поверхнях виробів із кришталю (ваз, графінів, келихів та ін.) традиційно застосовують конусні алмазні круги форми 14EE1 на високоміцних металевих зв'язках із гострим кутом у вершини, наприклад, на металевій зв'язці М2-01 із розміром зерна алмазного порошку АС6 50 ... 100 мкм (рис. 30, рис. 31).

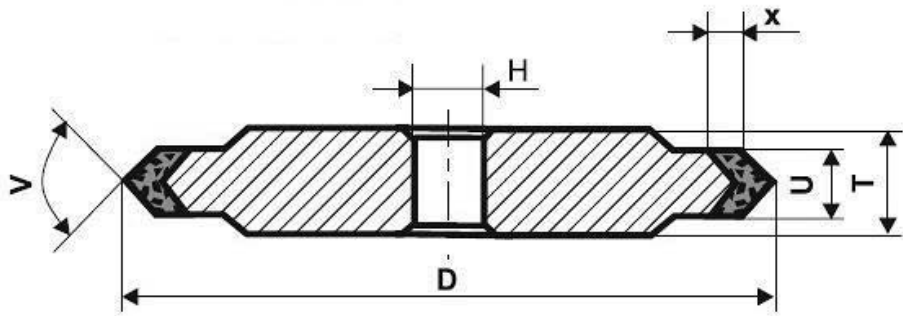


Рисунок 30 – Конусний алмазний круг на металевій зв'язці



Рисунок 31 – Нарізування граней на поверхнях виробу із кристалю

Основний недолік процесу нарізання граней полягає у швидкому зношуванні конусної робочої частини алмазного круга та втраті її ріжучої здатності, геометричної форми та розмірів (рис. 32). Це призводить до збільшення сил різання та, відповідно, фізичних навантажень робітника-різьбяра і його стомлюваності, оскільки обробка виробів із кристалю здійснюється "вручну". Зрештою це викликає зниження продуктивності та якості нарізання граней на виробах із кристалю. Тому проблема забезпечення високої ріжучої здатності алмазного круга на металевій зв'язці у процесі нарізання граней на виробах із кристалю має велике практичне значення та вимагає застосування прогресивних технологій підготовки алмазного круга на металевій зв'язці до роботи.

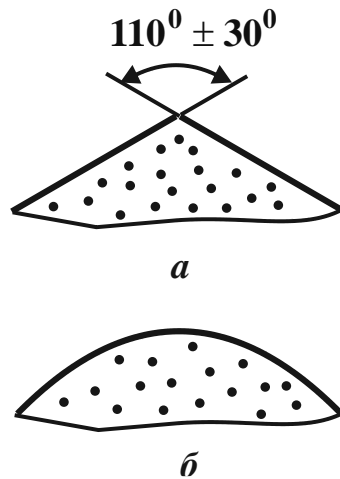


Рисунок 32 – Форма незношеної (а) та зношеної (б) робочої частини алмазного круга

Для ефективного застосування алмазних кругів під час нарізання граней на поверхнях виробів із кристалю їх профілюють на токарному верстаті з метою забезпечення високої гостроти кута у вершини із використанням абразивного бруска, який під час обробки притискають до алмазного круга, що обертається. Процес профілювання алмазного круга займає достатньо великий проміжок часу й супроводжується інтенсивним утворенням абразивного пилю, шкідливого для здоров'я робітника. Очевидно, працювати у цьому випадку надзвичайно складно у зв'язку з екологічно шкідливими умовами.

Слід зазначити, що з технічної точки зору процес профілювання даного алмазного круга за допомогою звичайного абразивного бруска не забезпечує необхідної точності робочої частини алмазного круга й, особливо, кута у його вершини. Замість гострого кута утворюється радіусний кут, що знижує якість нарізання граней (гострих канавок) на поверхнях виробів із кристалю та їх художній вигляд.

Крім того, як показує практика, алмазний круг на металевій зв'язці у процесі обробки періодично затупляється, тому його необхідно піддавати періодичному правленню. Для цього, як і під час первинної підготовки алмазного круга до роботи, його традиційно піддають механічному правленню абразивним бруском, який утримує в руках робітник-різьбяр. Однак здійснюване таким способом правлення алмазного круга на робочому місці не є якісним, оскільки не вдається забезпечити гостру вершину круга та якісно розкрити його алмазовмісний шар (забезпечити значне виступання зерен із металевої зв'язки алмазного круга). Також складно усунути радіальне биття алмазного круга безпосередньо на верстаті. Виходячи із цього, робітнику-різьбяру дово-

диться працювати затупленим алмазним кругом і притискати його до оброблюваного виробу з підвищеним навантаженням, а це, як зазначалося вище, призводить до швидкого стомлювання робітника й зниження продуктивності праці. Шліфування затупленим алмазним кругом також призводить до зниження якості обробки. У результаті втрачається товарний вигляд виробів із кришталю та їх дизайн – порушується малюнок і його яскраве зорове сприйняття.

Отже, основною умовою підвищення ефективності процесу нарізання граней на виробках із кришталю є якісна підготовка алмазного круга форми 14EE1 на металевій зв'язці до роботи та підтримання його високої ріжучої здатності у процесі роботи. Однак існуючі технології механічного правлення алмазного круга цього не забезпечують, що знижує продуктивність та якість обробки, погіршує умови праці робітника у зв'язку зі збільшенням сил різання в умовах ручної обробки тощо.

При цьому найбільш ефективний метод електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках під час виготовлення виробів із кришталю застосування не отримав. Це пов'язано із труднощами організації процесу правлення алмазного круга безпосередньо на робочому місці, які полягають у наступному:

- використовується велика кількість абразивних брусків діаметром 100 мм та висотою 20 мм (приблизно один брусок за зміну на кожне робоче місце);

- у процесі правлення відбувається втрата геометричної форми алмазного круга, що призводить до зниження якості обробки виробів із кришталю. Тому цей круг відновлюють на спеціальному верстаті з використанням абразивних брусків (операція дуже трудомістка з великою витратою абразивних брусків);

- алмазні круги зернистістю 125/100 мають достатньо високу ріжучу здатність після абразивного правлення, однак це призводить до збільшення шорсткості обробленої поверхні, що вимагає її тривалого хімічного полірування і неефективно. Застосування абразивного правлення алмазних кругів зернистістю 63/50 вимагає великої витрати абразивних брусків і не забезпечує достатньої ріжучої здатності алмазного круга. Це знижує продуктивність обробки виробів із кришталю, хоча шорсткість обробки у цьому випадку зменшується. Цей варіант обробки також малоефективний;

- внаслідок низької ріжучої здатності алмазного круга на оброблюваних поверхнях утворюються припікання та тріщини. При подальшому хі-

мічному поліруванні виробів із кристалю кислота проникає в тріщини і руйнує матеріал на достатньо велику глибину. У результаті утворюється так звана "павутина" поверхні, для усунення якої потрібен значний час. Необхідно зазначити, що хімічному поліруванню піддаються всі вироби із кристалю, оскільки нарізані грані поверхні кристалю завжди мають матову поверхню, а кислота знімає порушений поверхневий шар, забезпечуючи прозорість всієї поверхні.

Таким чином, підвищення продуктивності та якості нарізування граней на виробих з кристалю шляхом підвищення ріжучої здатності алмазних кругів на металевих зв'язках шляхом здійснення їх електроерозійного правлення слід розглядати надзвичайно актуальним завданням.

Крім того, під час нарізання граней (гострих канавок) на поверхнях виробів із кристалю знімають велику кількість матеріалу, оскільки глибина цих канавок обчислюється в міліметрах. У результаті утворюється пил, який разом з охолоджувальною рідиною потрапляє у повітря. Робітникам доводиться вдихати усе це. Звичайно, є вентиляція в цеху, проте верстатів багато і виникає проблема забезпечення здоров'я робітників.

Нарізання граней на поверхнях виробів із кристалю відбувається вручну, тобто кожен виріб робітник бере в руки і нарізує на ньому грані відповідно до заданого малюнку. Нарізання граней здійснюється алмазними кругами і для цього робітнику необхідно докласти достатньо великого зусилля для прорізання грані. Тому таку роботу можуть виконувати фізично міцні люди, які здатні на протязі робочої зміни працювати в умовах значних фізичних навантажень та не стомлюватися.

Слід також зазначити, що нарізання граней на виробих із кристалю відбувається з охолодженням технічною водою. Це необхідно для кращого видалення зрізаного матеріалу, якого дуже багато. Вода надходить централізовано на всі верстати. Температура води різна, особливо взимку, оскільки фільтрація води здійснюється за межами цеху. Все це призводить до того, що робітникам доводиться працювати з мокрими руками у холодній воді та з великою наявністю свинцю в повітрі і холодній воді. Тому така робота дуже шкідлива для здоров'я робітників.

Поліпшити технологію обробки виробів із кристалю можна із застосуванням роботів і це на практиці отримало застосування. Проте за продуктивністю роботи програють – людина працює швидше. Також швидше людина оцінює стан амазного круга за гостротою, у результаті якість нарізання граней на виробих із кристалю вище.

До позитивних моментів застосування роботів слід віднести нарізання граней під час нанесення на вироби із кришталю більш складних малюнків. Разом із тим, малюнок на виробі із кришталю не повинен виглядати як креслення – він має бути "живішим" і тут людських рук не замінити. Тому покращення умов роботи хоча б за окремими моментами обробки виробів із кришталю має велике практичне значення, оскільки відкриває нові технологічні можливості виготовлення конкурентоспроможної продукції – виробів із кришталю.

Встановлено, що під час нарізання граней на поверхнях виробів із кришталю алмазним кругом, як і під час шліфування металевих виробів, можливе утворення припікань, мікротріщин та інших температурних дефектів. Це різко знижує якість обробки та вимагає їх усунення на наступних операціях доведення. Для цього традиційно використовують шкідливе для здоров'я робітника хімічне полірування, яке здійснюється із застосуванням кислоти. Тривалість хімічного полірування залежить від глибини порушеного поверхневого шару виробу із кришталю. Тому з метою зниження негативного впливу на робітника застосовуваної кислоти під час хімічного полірування важливо зменшити або навіть вилучити утворення дефектного шару на поверхні виробу із кришталю у процесі нарізання граней алмазним кругом на металевій зв'язці. Для цього необхідно забезпечити його високу ріжучу здатність завдяки застосуванню високоефективного нешкідливого для здоров'я робітника методу електроерозійного правлення.

Підвищення ріжучої здатності алмазного круга у цьому випадку дозволить також зменшити силу різання й навантаження, які випробовує робітник, тримаючи в руках у процесі обробки виріб із кришталю, тобто у процесі нарізання граней вручну. У результаті обробка виробів гострим алмазним кругом буде відбуватися швидше та не буде викликати швидкого втомлення робітника порівняно з обробкою затупеним алмазним кругом, що має місце в діючій технології. Це призведе до підвищення продуктивності праці, а робітник буде здатний протягом зміни виконувати задану або підвищену норму виробітку.

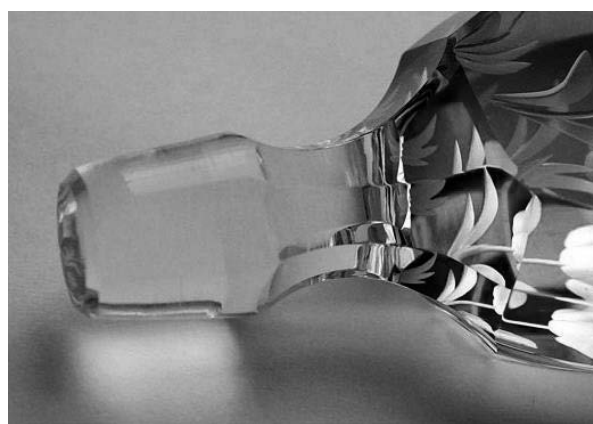
Тому проблема забезпечення високої ріжучої здатності алмазного круга на металевій зв'язці у процесі нарізання граней на виробах із кришталю має велике практичне значення. Виходячи з цього, для поліпшення екології процесу підготовки алмазного круга до роботи, а також підвищення якості виготовлення виробів із кришталю, доцільно замість механічного правлення абразивним бруском використовувати екологічно чисту та безпечну для

життєдіяльності технологію електроерозійного правлення конусних алмазних кругів на високоміцних металевих зв'язках.

Проведені попередні експериментальні дослідження [28] показали, що застосування електроерозійного правлення дозволяє завдяки підвищенню ріжучої здатності конусного алмазного круга на металевій зв'язці суттєво підвищити продуктивність та якість нарізання граней на виробках із кришталю (усунути утворення відколів на оброблюваній поверхні, рис. 33), зменшити значні фізичні навантаження на робітника, які мають місце у процесі "ручного" нарізання граней на виробках із кришталю, а головне – забезпечити екологічно чисті умови виготовлення виробів із кришталю.



а



б

Рисунок 33 – Якість обробки виробів із кришталю після шліфування затупленим (а) та гострим (б) алмазним кругом

Однак, оскільки шліфування виробів із кришталю здійснюється вручну, традиційні схеми електроерозійного правлення алмазного круга є неефективні. Тому необхідно застосувати більш ефективну (принципово нову) схему електроерозійного правлення алмазного круга. Такою схемою слід вважати схему електроерозійного правлення із використанням ручного ізольованого електроду, як це показано на рис. 24. Ця схема забезпечує швидке (всього за 5 – 7 секунд) очищення поверхні алмазного круга від продуктів обробки і розкриття його алмазовмісного шару, усуває радіальне биття алмазного круга та значно підвищує його стійкість порівнянно із стійкістю алмазного круга після традиційного (звичайного) механічного правлення абразивним бруском. Це дозволяє якісно здійснювати нарізання граней на поверхнях виробів із кришталю та покращує умови праці, забезпечує високу культуру й екологію виробництва.

Впровадження методу електроерозійного правлення (підзаправлення) алмазного круга форми 14EE1 на металевій зв'язці M2-01 на підприємстві, що займається виготовленням виробів із кришталю, повністю підтвердило його переваги та ефективність застосування, дозволило вирішити існуючі проблеми. Так, електроерозійне правлення алмазного круга здійснюється періодично робітником-різьбярком кришталю безпосередньо на кожному робочому місці без знімання круга із верстата моделі САГ. Час електроерозійного правлення алмазного круга суттєво зменшився і становить всього 5 – 10 секунд, а періодичність його здійснення становить 15 – 20 хвилин. У процесі електроерозійного правлення використовують простий пристрій (правлячий електрод), який утримує в руках робітник-різьбяр. Пряма утворююча на пластинках електроду у процесі електроерозійного правлення забезпечує усунення завалів на грані алмазного круга. У результаті досягається необхідна геометрія алмазного круга та гострота його вершини.

Таким чином, у результаті застосування електроерозійного правлення забезпечується якісна підготовка алмазного круга до роботи: усуваються нерівності металевій зв'язки та биття круга, виправляється похибка геометричної форми круга та підвищується його ріжуча здатність. У поєднанні із застосуванням алмазних кругів із оптимальними характеристиками це дозволяє суттєво підвищити продуктивність та якість нарізання граней на виробках із кришталю, знизити значні фізичні навантаження на робітника, які мають місце у процесі "ручного" нарізання граней на виробках із кришталю.

Електричні розряди, які надходять доправлячого електроду, збуджуються від малогабаритного електроімпульсного генератора, що може одночасно обслуговувати 10 верстатів. У цьому разі не потрібно здійснювати складну модернізацію верстата САГ шляхом електроізоляції шпинделя верстата, не потрібна висока кваліфікація робітника. Достатньо забезпечити підведення електричного струму від електроімпульсного генератора до верстата.

Таким чином, результатом електроерозійного правлення є якісне розкриття алмазовмісного шару алмазного круга, що повністю відновлює його ріжучу здатність, забезпечує необхідну точність форми його ріжучої частини. Це дозволяє здійснювати якісне високопродуктивне нарізання граней на виробках із кришталю.

Завдяки застосуванню методу електроерозійного правлення ріжуча здатність алмазного круга значно підвищилася, зменшилися навантаження на руки робітника під час нарізання граней на виробках із кришталю, а оброблена поверхня грані отримала якіснішу геометрію [33; 52].

Використання методу електроерозійного правлення алмазного круга дозволило здійснювати його безпосередньо на самому верстаті САГ, не знімаючи алмазний круг із верстата. Це призвело до усунення биття поверхні алмазного круга, внаслідок чого вся його поверхня стала робочою. Збільшився час між правленнями алмазних кругів і це зменшило їх витрати на обробку. Якщо раніше правлення алмазних кругів здійснювали абразивними брусками та абразивними кругами, то за умов використання методу електроерозійного правлення вони виявилися не потрібними, що призвело до економії витрат на обробку виробів із кристалю.

Звичайно, це часткове вирішення проблеми виготовлення виробів із кристалю, але воно значно вплинуло на організацію технології їх обробки на підприємстві. Робітники були дуже задоволені можливістю зниження прикладених зусиль рук у процесі нарізання граней на виробах із кристалю. Наприклад, на пресованих вазах із хрусталя глибокі грані можна було нарізати за один прохід (у робітника вистачало сили у руках для достатнього притискування вази до алмазного круга), чого не можна було досягти алмазним кругом після його абразивного заправлення.

Згідно технології обробки виробів із кристалю, наступною операцією після нарізання граней є хімічне полірування, тобто зняття поверхневого шару кристалю у кислотах. Тут нарізані грані набувають зовсім іншого якісного вигляду. Підготовлений до роботи алмазний круг шляхом застосування методу електроерозійного правлення дозволяє нарізати більш рівну грань. Це позитивно позначається на якості обробки і, відповідно, на конкурентоспроможності виготовлених виробів із кристалю. Однак при цьому виникає проблема екології виробництва, оскільки застосування кислот шкідливо впливає на здоров'я робітника через наявність у концентрованій кислоті екологічно шкідливих для здоров'я робітника речовин.

Важливо зазначити, що процес варіння кристалю є цілодобовим і його не можна зупиняти на підприємстві. Тому шкідливі складові шихти кристалю із вмістом свинцю (у вигляді порошоків з дуже великими обсягами) розносяться робітниками по всьому підприємству. Робітники підприємства ходять та топчуть ці шкідливі матеріали взуттям і заносять їх додому. У результаті свинець присутній як на підприємстві, так і в домашніх умовах працівників, що часто призводить до їх професійних захворювань. Особливо це відноситься до великих підприємств, які займаються виготовленням виробів із кристалю. Як встановлено, серед працівників таких підприємств багато хворих. На менших підприємствах, які також займаються виготовленням виробів із

кришталю, це теж має місце, однак у значно менших розмірах. Тому, можливо, організацію виготовлення виробів із кришталю більш ефективно запроваджувати на малих підприємствах, що дозволить вирішити складні проблеми культури й екології виробництва, здоров'я робітників та в цілому безпеки життєдіяльності робітників підприємств.

Таким чином, розроблені практичні рекомендації створення екологічно чистої технології електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці для нарізання граней на поверхнях виробів із кришталю відкривають нові технологічні можливості високоякісної та високопродуктивної обробки. Це також дозволяє виключити (або зменшити) шкідливу дію на здоров'я робітника продуктів обробки, що містять шкідливі складові шихти кришталю із вмістом свинцю, та забезпечує високу екологію виробництва.

Розроблену технологію електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці впроваджено на низці підприємств, що виготовляють вироби із кришталю. Її визнано високоефективною. Під цю технологію переобладнано більше 100 робочих місць. Верстати укомплектовано достатньою кількістю малогабаритних генераторів імпульсного електричного струму та ручних електродів для здійснення електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці, як це показано на рис. 24.

Розроблену технологію електроерозійного правлення ефективно використовувати замість традиційно застосовуваних технологій механічного правлення звичайним абразивним бруском алмазного круга на металевій зв'язці форми 1A1, яким традиційно здійснюється процес круглого зовнішнього шліфування виробів із кришталю. На основі розробленої технології електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці створено та впроваджено у виробництво ефективні технології електроерозійної обробки спеціальних профільних алмазних кругів, які застосовують під час виготовлення фацету на листовому склі, у дзеркальному виробництві тощо.

За допомогою цих технологій вирішено проблему електроерозійного правлення алмазних кругів форми 1A1, які застосовують під час шліфування оптичних виробів, зокрема, під час шліфування лінз для виготовлення окулярів. У цьому випадку забезпечується якісне правлення алмазних кругів (у тому числі габаритних) на металевих зв'язках M2-01 із використанням простих правлячих пристроїв. Підвищення ріжучої здатності алмазних кругів дозволило покращити якість оброблюваних поверхонь, зменшити утворення відколів тощо. Технологію впроваджено на підприємстві "Зір" (м. Харків) та інших підприємствах.

3.6. Теоретичне обґрунтування можливостей технології обробки виробів із кристалю алмазними кругами після їх електроерозійного правлення

Для оцінювання можливостей технології обробки виробів із кристалю алмазними кругами після їх електроерозійного правлення визначено умови підвищення продуктивності шліфування на основі аналітичної залежності, наведеної у роботі [1]:

$$Q = \frac{2 \cdot P_y \cdot V_{кр} \cdot (1 - \eta)}{\pi \cdot HV}, \quad (25)$$

де P_y – сила притискання оброблюваного виробу до алмазного круга, Н;

$V_{кр}$ – швидкість круга, м/с;

HV – твердість (за Віккерсом) хрусталя, що обробляється, Н/м²;

η – безрозмірний параметр, що визначає ступінь затуплення алмазного круга, 0 ... 1 ($\eta \rightarrow 0$ – для гострого круга, $\eta \rightarrow 1$ – для затупленого круга).

Як видно, підвищити продуктивність обробки Q можна збільшенням параметрів P_y і $V_{кр}$ та зменшенням безрозмірного параметра $\eta \rightarrow 0$. Можливості збільшення параметрів P_y та $V_{кр}$ обмежено характеристиками верстата та вимогами щодо якості обробки. Безрозмірний параметр η може змінюватися у межах 0 ... 1. Отже, найбільший ефект досягається шляхом зменшення безрозмірного параметра η . Із фізичної точки зору безрозмірний параметр η дорівнює відношенню величини лінійного зношування зерна x до максимальної товщини зрізу H , відраховуючи її від вершини вихідного незношеного зерна (рис. 34). Тоді $\eta = x / H$, відповідно [1]:

$$H = \sqrt[3]{\frac{900 \cdot \bar{X}^3 \cdot P_y}{m \cdot F \cdot HV}}, \quad (26)$$

де \bar{X} – зернистість круга, м;

m – об'ємна концентрація зерен круга;

F – площа контакту круга з оброблюваною деталлю, м².

Із урахуванням залежності (26) безрозмірний параметр η виразиться:

$$\eta = x \cdot \sqrt[3]{\frac{m \cdot F \cdot HV}{900 \cdot \bar{X}^3 \cdot P_y}}. \quad (27)$$

Зменшити параметр η можна зменшенням величини лінійного зношу-

вання зерна x , концентрації круга m , твердості оброблюваного матеріалу HV та збільшенням зернистості круга \bar{X} та тиску P_y / F . Найбільше впливає на безрозмірний параметр η величина x . Отже, необхідно у процесі шліфування підтримувати високу гостроту алмазного круга x [21].

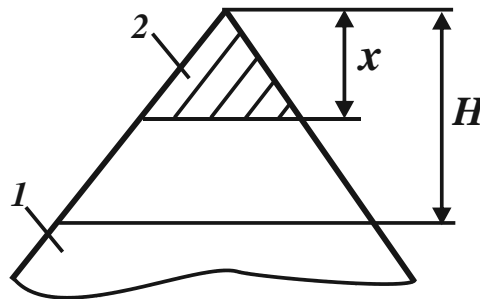


Рисунок 34 – Розрахункова схема параметрів шліфування:

1 – ріжуче зерно; 2 – зношена частина зерна

Із урахуванням залежності (27) залежність (25) набуде вигляду:

$$Q = \frac{2 \cdot P_y \cdot V_{кр}}{\pi \cdot HV} \cdot \left(1 - x \cdot \sqrt[3]{\frac{m \cdot F \cdot HV}{900 \cdot \bar{X}^3 \cdot P_y}} \right). \quad (28)$$

Зі збільшенням сили P_y продуктивність обробки Q збільшується більш як за лінійним законом. Однак цьому перешкоджає збільшення величини x , що приводить до зниження продуктивності обробки Q . Збільшення величини x обумовлено збільшенням сили P_{y1} , що діє на зерно круга [1]:

$$P_{y1} = 0,5 \cdot \pi^3 \sqrt[3]{HV \cdot \left(\frac{900 \cdot \bar{X}^3 \cdot P_y}{m \cdot F} \right)^2}. \quad (29)$$

Отже, домогтися пропорційного збільшення продуктивності обробки Q зі збільшенням P_y можна зменшенням чи стабілізацією в часі величини x . Для цього необхідно забезпечити періодичне випадіння зі зв'язки круга затуплених алмазних зерен, тобто забезпечити режим рівномірного у часі зношування алмазного круга (режим самозаточування алмазного круга).

Для того щоб зерно, що затупилося, випало зі зв'язки алмазного круга, необхідно прикласти до нього силу P_{y1} , рівну силі, що утримує зерно у зв'язці. Відповідно до залежності (29), сила P_{y1} тим більша, чим більше параметри HV , \bar{X} , P_y і менше m , F . Для заданих значень m , \bar{X} , HV , досягти гранич-

не значення P_{y_1} можна зміною відношення P_{y_1} / F . Для відносно маломіцних зв'язок значення P_{y_1} і P_y / F – невеликі. Тому самозаточування алмазного круга відбуватиметься за низькими силовою та тепловою напруженостями процесу шліфування.

Збільшення твердості зв'язки алмазного круга збільшує граничне значення P_{y_1} . Величини сили P_y може бути недостатньо для досягнення граничного значення P_{y_1} . Тоді, виходячи із залежності (29), необхідно збільшити зернистість алмазного круга \bar{X} та зменшити його об'ємну концентрацію m . Ефект обробки тим більше, чим більше зернистість алмазного круга \bar{X} , яка входить у залежність (29) з максимальним показником ступеня. Цим можна пояснити ефективність зменшення зернистості у алмазних кругах на відносно "м'яких" зв'язках. Режим самозаточування алмазного круга вимагає також виконання умови рівності швидкостей зношування зерен та зв'язки алмазного круга. Ця умова передбачає поділ сили P_y умовно на дві складові.

Перша складова повинна витратитися на вдавлювання зерен в оброблюваний матеріал, друга – на притискання оброблюваного матеріалу та мікростружок до зв'язки круга та її зношування зі швидкістю зношування зерен. Для відносно "м'яких" зв'язок друга складова сили P_y невелика. Для твердих зв'язок вона суттєво вище і не може бути досягнута на практиці. У результаті алмазний круг працюватиме у режимі затуплення, оскільки швидкість зношування зерен буде більшою за швидкість зношування зв'язки алмазного круга. Забезпечити режим самозаточування алмазного круга можна зменшенням швидкості зношування зерен. Для цього слід застосовувати більш міцні абразивні або алмазні зерна, збільшувати зернистість та концентрацію алмазного круга.

Таким чином показано, що з точки зору виконання умови рівності сили різання P_{y_1} , що діє на зерно, та сили утримання зерна у зв'язці, необхідно збільшити зернистість алмазного круга \bar{X} та зменшити об'ємну концентрацію зерен круга m . Із точки зору виконання умови рівності швидкостей зношування зерен та зв'язки необхідно збільшувати зернистість \bar{X} і об'ємну концентрацію зерен алмазного круга m .

Зважаючи на те, що на практиці під час високопродуктивної обробки важко виконати другу умову, необхідно прагнути до збільшення параметрів \bar{X} і m , тобто застосовувати алмазні круги на міцній металевій зв'язці типу M2-01 зернистістю 100/80 і більше та концентрацією 100 %. Саме цією обста-

виною можна пояснити те, що під час огранювання природних алмазів у діаманти застосовують алмазні круги на металевій зв'язці з високою концентрацією (200 % і більше), оскільки у цьому випадку фактично відсутній контакт оброблюваного матеріалу зі зв'язкою та її зношування, що не забезпечує режим самозаточування алмазного круга. Для зменшення швидкості зношування зерен і виконання умови рівності швидкостей зношування зерен і зв'язки у цьому випадку у зону обробки часто вводять вільний абразив, що еквівалентно підвищенню концентрації зерен у крузі до 400 %. Звичайно, виготовити алмазні круги із такою високою концентрацією зерен методами порошкової металургії неможливо.

Найважливішою умовою виконання рівності швидкостей зношування зерен та зв'язки алмазнокруга є правильний вибір типу зв'язки. У даний час створено велику кількість різних за складом зв'язок, у тому числі металевих, які забезпечують режим самогострення алмазного круга. Це досягається, в основному, завдяки зниженню твердості зв'язки, що супроводжується зниженням міцності утримання зерен та терміну роботи алмазного круга. Однак при цьому збільшуються ріжуча здатність круга та продуктивність обробки Q внаслідок зменшення параметрів \bar{X} і η , згідно залежностей (25) і (28).

Зменшення зернистості алмазного круга \bar{X} приводить до зниження ресурсу роботи зерен у крузі. Тому з погляду зменшення собівартості обробки існує оптимальне значення \bar{X} , яке має забезпечуватися оптимальним поєднанням твердості зв'язки, зернистості та концентрації зерен у алмазному крузі. Якщо дві вищевказані умови самозаточування алмазного круга не виконуються, то круг працюватиме в режимі затуплення і його необхідно періодично піддавати правленню. Для цього ефективно використовувати метод електроерозійного правлення, заснований на термічному руйнуванні металеві зв'язки алмазного круга від дії електричних розрядів.

Важливо зробити розрахунок та аналіз шорсткості поверхні під час обробки кришталю. Параметр шорсткості обробки R_{max} під час шліфування алмазним кругом з однаковими за розміром зернами визначається [1]:

$$R_{max} = (1 - \eta) \cdot \bar{X} \cdot \sqrt[3]{\frac{900 \cdot P_y}{m \cdot HV}}. \quad (30)$$

Як видно, чим більше зернистість круга \bar{X} , сила P_y і менше безрозмірний параметр η , твердість матеріалу HV , концентрація круга m , тим більше параметр шорсткості обробки R_{max} . Найбільше впливають на R_{max} парамет-

ри \bar{X} і η , тобто ефективно управляти шорсткістю обробки завдяки зміни характеристик алмазного круга.

Алмазні круги виготовляють із певними діапазонами зернистості. Врахувати розкид геометричних розмірів зерен у залежності для визначення R_{max} можна шляхом зменшення "умовної" концентрації круга, помноживши параметр m на два коефіцієнти $K_1 = \frac{R_{max}}{\Delta}$ і K_2 , де Δ – діапазон розкиду розміру зерен.

Перший коефіцієнт K_1 визначає те, що шар шорсткості обробленої поверхні формується найбільш виступаючими зі зв'язки зернами, вершини яких віддалені від вершини максимально виступаючого зерна на відстань, не більше параметра R_{max} .

Другий коефіцієнт K_2 дорівнює відношенню кількості зерен, що мають найбільші розміри, до кількості зерен, що мають найменші розміри. Як показує практика, великих зерен завжди менше, ніж дрібних. Тому коефіцієнт K_2 завжди менше одиниці.

Із урахуванням прийнятих припущень залежність (30) перетворюється до вигляду:

$$R_{max} = 4 \sqrt[4]{(1-\eta)^3 \cdot \bar{X}^3 \cdot \frac{225 \cdot P_y \cdot \Delta}{m \cdot K_2}} \quad (31)$$

або

$$R_{max} = 4 \sqrt[4]{\bar{R}_{max}^3} \cdot 4 \sqrt[4]{\frac{\Delta}{K_2}}, \quad (32)$$

де \bar{R}_{max} – параметр шорсткості поверхні, що визначається залежністю (30).

Із залежності випливає, що $R_{max} > \bar{R}_{max}$, оскільки $K_1 < 1$. Наприклад, для зернистості 100/80 параметр $\Delta = 20$ мкм. Із урахуванням $K_2 = 0,3$ множник

$$4 \sqrt[4]{\frac{\Delta}{K_2}} = 4 \sqrt[4]{\frac{20}{0,3}} \approx 3.$$

Таким чином, показано, що наявність діапазону розкиду зернистості Δ приводить до збільшення параметру шорсткості поверхні R_{max} приблизно в 3 рази. Зі зменшенням коефіцієнта K_2 нижче 0,3 (що цілком можливо) параметр шорсткості поверхні R_{max} збільшиться у більшу кількість разів. Отже, алмазні круги необхідно виготовляти з мінімально можливим діапазоном розкиду зернистостей Δ , зменшуючи його до нуля [31].

Необхідно зазначити, що при неякісному просіюванні алмазних зерен коефіцієнт K_2 може бути значно зменшений. Достатньо в масу зерен потрапити кільком великим зернам, щоб зменшити коефіцієнт K_2 до значень 0,1 або 0,01. Параметр шорсткості поверхні R_{max} при цьому збільшиться у 10 і більше разів. Поліпшити шорсткість поверхні у цьому разі під час шліфування складно. Необхідно вводити нові технологічні операції, наприклад, під час обробки виробів із кристалю – операцію хімічного полірування та здійснювати значне знімання матеріалу для усунення шару шорсткості поверхні. Однак при цьому, як зазначено у п. 3.5 роботи, застосування кислот шкідливо впливає на здоров'я робітника через наявність у концентрованій кислоті екологічно шкідливих для здоров'я робітника речовин.

Суттєвими чинниками, що впливають на параметр шорсткості поверхні R_{max} , є наявність нерівностей (виступаючих ділянок) на алмазному крузі та биття круга. Наявність нерівностей призводить до значного виступання окремих зерен по відношенню до основної маси зерен, що еквівалентно розглянутому вище випадку, пов'язаному із існуванням діапазону зернистості Δ . У результаті на обробленій поверхні утворюються глибокі окремі риски-подряпини, які суттєво погіршують шорсткість обробки та не усуваються шліфуванням, а усуваються, наприклад, у процесі електрохімічного полірування виробів із кристалю з високою трудомісткістю та погіршенням екологічних умов праці. Як показує практика, наявність нерівностей на алмазному крузі характерно для міцних металевих зв'язок. Чим міцніше металева зв'язка, тим складніше досягти однорідності рівномірності робочої поверхні алмазного круга.

Застосування методів механічного правлення не дозволяє усунути нерівномірність поверхні алмазного круга на металевій зв'язці М2-01 у зв'язку з копіюванням поверхні круга. Тому ефективно застосовувати метод безконтактного електроерозійного правлення алмазного круга, що усуває як нерівності металевої зв'язки, так і биття алмазного круга, яке викликає хвилястість на обробленій поверхні.

Запитання для самостійного контролю

1. У чому полягають методичні підходи до обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій із створення екологічно безпечних для життєдіяльності людини технологій виробництва?

2. Наведіть аналіз сучасних інноваційних технологій огранювання природних алмазів в діаманти та вкажіть їх недоліки з точки зору забезпечення безпеки життєдіяльності людини в умовах виробництва.

3. У чому проявляється недосконалість застосування технології виготовлення спеціальних алмазних кругів електрогальванічним методом під час огранювання природних алмазів в діаманти?

4. Порівняйте технології виготовлення алмазних кругів на металевих зв'язках методами порошкової металургії та електрогальваніки з точки зору вирішення екологічної проблеми виробництва.

5. Вкажіть недоліки традиційних технологій (абразивного шліфування) підготовки до роботи великогабаритних збірних алмазних кругів на металевих зв'язках з точки зору забезпечення безпеки життєдіяльності людини в умовах виробництва.

6. Чому під час електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках неефективно застосовувати гас?

7. Назвіть екологічні проблеми, які виникають під час алмазної обробки керамічних деталей.

8. Назвіть екологічні проблеми, які виникають під час правлення великогабаритних сегментних алмазних пил на металевих зв'язках із застосуванням традиційного методу абразивного шліфування.

9. Наведіть аналіз традиційних та інноваційних екологічно безпечних технологій виготовлення виробів із хрустала.

10. Назвіть умови забезпечення високоякісного та екологічно безпечного виготовлення виробів із кришталю.

11. У чому полягають екологічно шкідливі умови алмазної обробки виробів із хрустала?

12. Назвіть екологічні недоліки технології хімічного полірування виробів із хрустала.

13. Чому організацію виготовлення виробів із кришталю більш ефективно запроваджувати на малих підприємствах?

14. Як впливає свинець, який застосовують під час виготовлення виробів із хрустала, на здоров'я людини?

15. Обґрунтуйте можливості технології обробки виробів із кришталю алмазними кругами після їх електроерозійного правлення з точки зору екології виробництва.

Література: [1; 21; 28; 30; 31; 33; 34; 47; 48; 52; 57]

Розділ 4. Обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій зі створення екологічно безпечних технологій алмазного електроерозійного шліфування

4.1. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної технології алмазного електроерозійного шліфування високоміцних покриттів

Процес алмазного електроерозійного шліфування на практиці традиційно здійснюється за умов малопродуктивного багатопрохідного шліфування. Однак, все зростаючі вимоги до якості та продуктивності обробки, необхідність концентрації операцій алмазного шліфування під час знімання значних припусків (до 2 мм і більше) вимагають застосування більш ефективних процесів, до яких, насамперед, відносять високопродуктивне глибинне алмазне шліфування. Проте, інтенсивне засалювання алмазного круга на металевій зв'язці в умовах глибинного шліфування важкооброблюваних матеріалів не дозволяє повною мірою використовувати на практиці цей прогресивний процес шліфування. Тому важливо оцінити технологічні можливості глибинного алмазного електроерозійного шліфування на прикладі обробки високоміцних покриттів, коли має місце надзвичайно інтенсивне засалювання алмазного круга на металевій зв'язці [27 – 29].

Досліджуваними зразками прийняті кільця з високоміцного порошкового матеріалу покриття ПГ-10Н-01 твердістю HRC 60 ... 62 із розмірами $D_{дет} = 55$ мм, $l_{дет} = 8$ мм. Шліфування здійснювали алмазними кругами на металевій зв'язці М2-01 із маркою алмазу АС6, зернистістю 125/100 ... 250/200, концентрацією 100 % та 150 %.

Ефективність шліфування матеріалу оцінювали за питомою продуктивністю обробки, для чого встановлювали залежність питомої продуктивності обробки Q_{num} від глибини шліфування t для різних значень імпульсного електричного струму I_{cp} . У результаті проведених експериментальних досліджень, поданих на рис. 35,а, встановлено, що питома продуктивність обробки зі збільшенням глибини шліфування спочатку збільшується, потім, після досягнення певної глибини шліфування, починає зменшуватися, що практично призводить до припинення процесу шліфування.

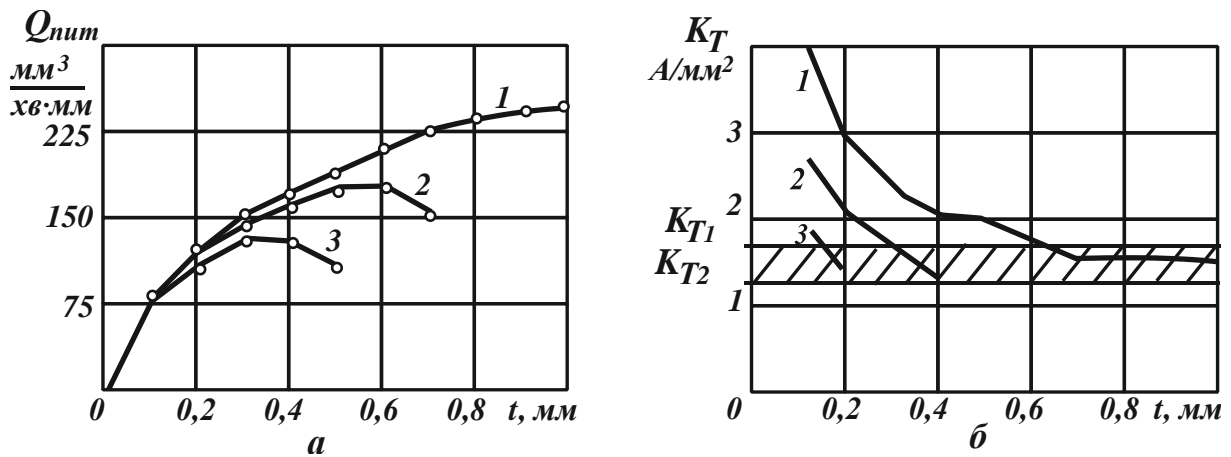


Рисунок 35 – Залежності питомої продуктивності обробки Q_{num} (а) та концентрації електричного струму K_T (б) від глибини шліфування t :
 1 – $I_{cp} = 75$ А; 2 – $I_{cp} = 48$ А; 3 – $I_{cp} = 34$ А; оброблюваний матеріал – покриття ПГ-10Н-01; алмазний круг – АС6 250/200 4 М2-01

Така закономірність пов'язана з тим, що за даним значенням сили електричного струму I_{cp} та зі збільшенням глибини шліфування t до цілком конкретного значення, енергії електроерозійної дії на алмазний круг цілком достатньо для його своєчасного очищення від продуктів обробки і підтримання високої ріжучої здатності. Після перевищення глибиною шліфування граничного значення енергії електроерозійної дії на алмазний круг виявляється недостатньо для його своєчасного очищення від продуктів обробки та оголення різальних алмазних зерен із металевої зв'язки. Ріжуча здатність алмазного круга у таких умовах не встигає відновлюватися, наслідком чого є збільшення сили різання та деформації елементів технологічної системи, зменшення питомої продуктивності обробки Q_{num} . Таким чином, для даної величини сили електричного струму I_{cp} існує цілком конкретна глибина шліфування, за досягнення якої питома продуктивність обробки набуває максимального значення. Здійснення процесу шліфування у цих умовах найбільш ефективно.

Як впливає із наведених експериментальних графіків, така закономірність зміни питомої продуктивності обробки Q_{num} від глибини шліфування t спостерігається для всіх значень сили електричного струму I_{cp} . Причому, зі збільшенням значення I_{cp} максимуми питомої продуктивності обробки Q_{num} збільшуються та зміщуються у зону більших значень глибини шліфування. Цим показано, що для реалізації умов високопродуктивного алмазного шліфування силу електричного струму необхідно збільшувати.

Проведені експериментальні дослідження з визначення питомої продуктивності обробки Q_{num} для різних значень сили електричного струму, що підводиться у зону шліфування, показали на необхідність встановлення зв'язку між глибиною шліфування, площею контакту алмазного круга з оброблюваною деталлю і силою електричного струму. Параметром, що характеризує такий зв'язок, може бути концентрація (щільність) електричного струму на площі контакту алмазного круга з оброблюваною деталлю. Для умов глибокого круглого зовнішнього алмазного шліфування позначимо цей параметр через K_T (А/мм²):

$$K_T = \frac{I_{cp}}{S_k}, \quad (33)$$

де I_{cp} – сила електричного струму, А;

S_k – площа контакту алмазного круга з оброблюваною деталлю, м².

Параметр K_T визначається залежністю:

$$K_T = \frac{I_{cp}}{l_{det} \cdot \sqrt{\frac{t \cdot D_{кр} \cdot D_{det}}{(D_{кр} + D_{det})}}}, \quad (34)$$

де l_{det} – довжина деталі (дорівнює ширині шліфування), м;

D_{det} , $D_{кр}$ – відповідно, діаметри деталі та круга, м.

Наведені на рис. 35,б графіки зміни параметра K_T від глибини шліфування t для різних значень сили електричного струму I_{cp} (у даному випадку $I_{cp} = 75\text{А}, 48\text{А}, 34\text{А}$), показують на спадаючий характер зміни параметра K_T від глибини шліфування t . Чим більше I_{cp} , тим більше параметр K_T .

Для оцінювання значень параметра K_T у точках максимуму питомої продуктивності обробки Q_{num} слід скористатися експериментальними даними, наведеними на рис. 35,а. Для цього на графіках (рис. 35) встановимо значення глибини шліфування t та параметра K_T , що відповідають максимумам питомої продуктивності обробки Q_{num} для різних значень I_{cp} . Виходячи із рис. 35,б, встановлено значення K_T , що відповідають максимальним значенням питомої продуктивності обробки Q_{num} , змінюються у межах $K_T = 1,3 \dots 1,5$ А/мм². Отже, значення параметра K_T для різних значень I_{cp} відрізняються незначно, межу зміни оптимальних значень K_T на рис. 35,б заштриховано.

Таким чином розрахунково-експериментальним шляхом показано, що максимума питомої продуктивності обробки Q_{num} відповідають приблизно однаковому значенню щільності імпульсного струму K_T . Виходячи із цього, зазначений параметр K_T слід розглядати основним узагальнюючим параметром, що характеризує процес алмазного електроерозійного шліфування.

Підтримання постійним параметра K_T під час шліфування дозволить здійснювати своєчасне очищення алмазного круга від продуктів обробки та постійно підтримувати на алмазному крузі розвинений ріжучий рельєф.

Для визначення оптимальної величини сили електричного струму I_{cp} (для даних значень K_T та глибини шліфування t , яку рекомендують приймати в умовах глибинного шліфування рівною величині припуску, що знімається), необхідно скористатися залежністю (34), представляючи її у вигляді:

$$I_{cp} = K_T \cdot l_{dem} \cdot \sqrt{\frac{t \cdot D_{кр} \cdot D_{dem}}{D_{кр} + D_{dem}}}. \quad (35)$$

Після підстановки у залежність (35) відомих значень параметрів K_T , t , а також l_{dem} , D_{dem} , $D_{кр}$ можна визначити оптимальне значення сили електричного струму I_{cp} . Підтримання цього значення у процесі шліфування дозволить, по-перше, забезпечити високу ріжучу здатність алмазного круга, по-друге, реалізувати максимум питомої продуктивності обробки Q_{num} для заданої глибини шліфування t .

Встановимо характер впливу параметра K_T на технологічні параметри шліфування на прикладі зміни відносної витрати алмазу q . Для цього встановимо експериментальну залежність q від глибини шліфування t за умови $I_{cp} = const$ та встановимо таку саму залежність за умови $K_T = const$. У цьому випадку одночасно зі зміною глибини шліфування за залежністю (35) слід змінювати силу електричного струму I_{cp} .

Результати досліджень подано на рис. 36, звідки випливає, що зі збільшенням глибини шліфування t за умови $I_{cp} = const$ відносна витрата алмазу q зменшується. За умови досягнення глибини шліфування $t=0,1 \dots 0,4$ мм має місце достатньо висока витрата алмазу, що, в першу чергу, пов'язано з інтенсивною електроерозійною дією на робочу поверхню алмазного круга. Концентрація імпульсного струму K_T у цьому випадку перевищує оптимальне значення, що змінюється у межах $K_{T1} \dots K_{T2}$ (рис. 35,б).

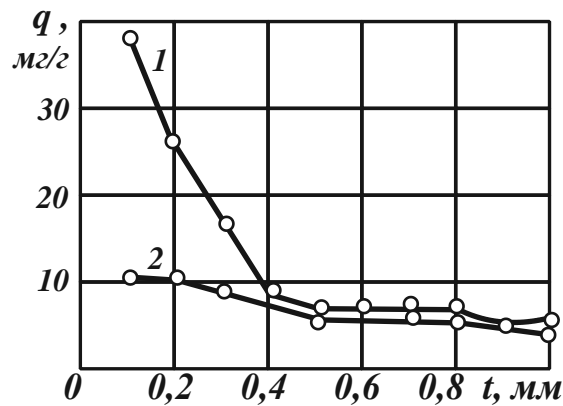


Рисунок 36 – Залежність відносної витрати алмазу q від глибини шліфування t :

1 – $I_{cp} = 68$ А; 2 – $i_T = 1,4$ А/мм²; оброблюваний матеріал – покриття ПГ-10Н-01; алмазний круг – АС6 250/200 4 М2-01; $V_{кр} = 28$ м/с

Таким чином показано, що підтримання під час шліфування постійного значення параметра K_T суттєво змінює характер залежності відносної витрати алмазу q від глибини шліфування t . Ця залежність набуває вигляду фактично прямої лінії, тобто відносна витрата алмазу зі збільшенням глибини шліфування залишається постійною.

Крім того, значення q у другому випадку менше, ніж у першому. Встановлений характер такої залежності пов'язаний із тим, що для кожного значення глибини шліфування t встановлюється цілком конкретне значення сили електричного струму I_{cp} , яке забезпечує однакову інтенсивність електроерозійної дії на робочу поверхню алмазного круга у широкому діапазоні зміни глибини шліфування t .

Таким чином, експериментально показано принципові відмінності запропонованого підходу управління процесом електроерозійного правлення алмазного круга, що передбачає підтримання під час шліфування постійної величини I_{cp} , від існуючого підходу, що передбачає підтримання під час шліфування оптимального значення I_{cp} .

Виходячи із наведеного аналізу, можна зробити такі висновки.

Недотримання умови $K_T = const$, як показують експериментальні дослідження, призводить до збільшення у 2 – 5 разів відносної витрати алмазу (у разі перевищення силою електричного струму I_{cp} оптимального значення) або до значного зменшення питомої продуктивності обробки та подальшого припинення процесу шліфування із-за інтенсивного засалювання робочої по-

верхні алмазного круга (у разі, коли сила електричного струму I_{cp} менше оптимального значення).

Так, встановлено, що сила електричного струму $I_{cp} = 48$ А забезпечує повне усунення засалювання алмазного круга та дотримання приблизної рівності швидкостей електроерозійного руйнування металеві зв'язки та лінійного зношування зерен алмазного круга під час шліфування з питомою продуктивністю обробки $Q_{num} = 1400$ мм³/хв ($V_{дет} = 0,4$ м/хв, $t = 0,5$ мм).

Зі збільшенням глибини шліфування t спостерігається інтенсивне засалювання алмазного круга. Здійснення процесу шліфування в цих умовах стає недоцільним.

Зі зменшенням глибини шліфування, починаючи зі значення $t = 0,35$ мм, навпаки, забезпечується повне усунення засалювання алмазного круга, однак має місце надзвичайно високий рівень зношування алмазного круга, який з подальшим зменшенням глибини шліфування t різко збільшується.

Експериментально встановлено залежності питомої продуктивності обробки Q_{num} та ефективної потужності шліфування N_{ef} від глибини шліфування t за умов $K_T = const$ та $a_{z,max} = const$, де $a_{z,max}$ – максимальна товщина зрізу (рис. 37, рис. 38).

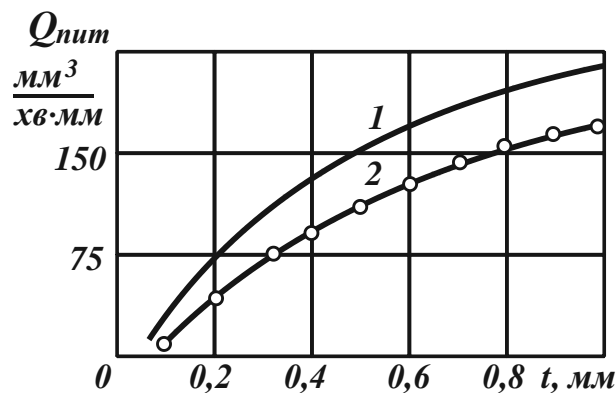


Рисунок 37 – Залежність питомої продуктивності обробки Q_{num} від глибини шліфування t : 1 – розрахункова залежність; 2 – експериментальна залежність; $a_{z,max} = 15$ мкм; $V_{кр} = 28$ мкм

Розрахунок питомої продуктивності обробки $Q_{num} = V_{дет} \cdot t$ здійснили із застосуванням аналітичної залежності для визначення швидкості деталі $V_{дет}$, яку наведено у роботі [52]:

$$V_{дет} = \frac{a_{z,max}^3 \cdot K \cdot V_{кр}}{16,7 \cdot 10^2 \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{D_{дет}} + \frac{1}{D_{кр}} \right)}}, \quad (36)$$

де K – об'ємна концентрація зерен алмазного круга;
 \bar{X} – зернистість алмазного круга, м.

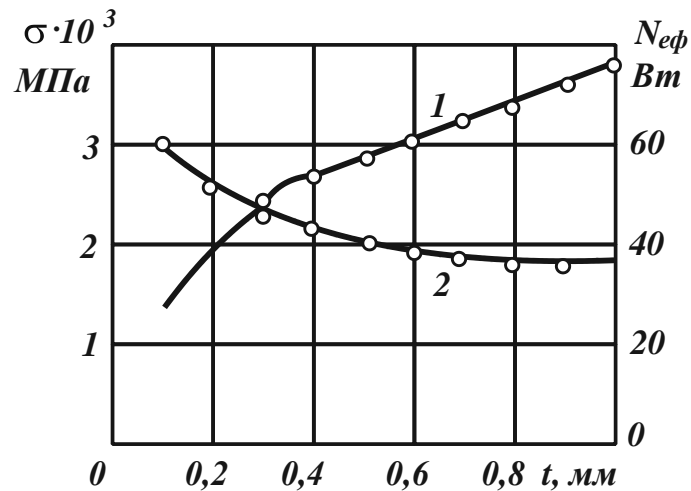


Рисунок 38 – Залежності ефективного потужності шліфування N_{ef} (1) і умовного напруження різання σ (2) від глибини шліфування t :

$$a_{z,max} = 15 \text{ мкм}; V_{кр} = 28 \text{ м/с}$$

Як видно, завдяки підтриманню високої різальної здатності алмазного круга під час шліфування питома продуктивність обробки Q_{num} приблизно дорівнює розрахунковому значенню питомої продуктивності обробки, а ефективна потужність шліфування N_{ef} змінюється приблизно за законом питомої продуктивності обробки, що забезпечує сталість умовного напруження різання (енергоємності шліфування) $\sigma = N_{ef} / Q_{num}$ (рис. 38).

Цим показано, що у широких межах зміни глибини шліфування t умовне напруження різання σ залишається майже постійним. Отже, виходячи із залежності (33), температура шліфування θ також має бути майже постійною під час глибинного та багатопрхідного шліфування. Це відкриває значні перспективи застосування високопродуктивного глибинного алмазного електроерозійного шліфування деталей із висококоміцними покриттями.

Оптимальні характеристики імпульсного електричного струму повинні приймати такі значення: частота слідування електричних імпульсів $f = 1\text{--}3$ кГц,

шпаруватість імпульсів $q_i=1,9 - 2,5$. Для практичної реалізації цих значень імпульсного електричного струму слід використовувати високочастотний імпульсний генератор ШГІ-80×2-88 М із характеристиками $I_{ном} = 80$ А; $f = 1 - 88$ кГц; $q_i = 1,1 - 8,1$; $B_c = 5$.

У роботі проведено оцінювання щільності електричного струму i , яка визначається залежністю (13), у точках максимуму питомої продуктивності обробки θ (рис. 35,а). Встановлено, що за умов $I_{cp} = 34$ А; $I_{cp} = 48$ А та $I_{cp} = 75$ А, відповідно, маємо $i = 0,6 \cdot 10^5$ А/мм²; $i = 0,6 \cdot 10^5$ А/мм² та $i = 0,7 \cdot 10^5$ А/мм².

Цим показано, що існує граничне значення параметра i , за умови досягнення якого незалежно від механічних параметрів шліфування реалізується максимум продуктивності обробки, обумовлений виключенням засалювання алмазного круга та підтримкою його високої ріжучої здатності протягом усього періоду шліфування.

Виходячи з цього, розрахунок оптимальних електричних параметрів алмазного електроерозійного глибинного шліфування можна виконати на основі встановленого значення $i = 0,6 \cdot 10^5$ А/мм² за запропонованою у п. 2.4 методикою.

На основі виконаних експериментальних досліджень встановлено існування граничної площі контакту S_k круга із деталлю, за досягнення якої ефективно вводити до зони різання додаткову енергію у формі електричних розрядів. Показано, що реалізація зовнішнього круглого глибинного алмазного шліфування деталей із високоміцними покриттями стає можливою завдяки обробці відносно "вузької" поверхні фаски клапана, рівній $l_{dem} = 6 - 8$ мм, оскільки збільшення ширини шліфування пов'язане зі збільшенням величини імпульсного електричного струму, що переважає значення $I_{cp} = 80$ А, та негативним впливом електроерозійних процесів на якість обробленої поверхні.

У табл. 1 наведено оптимальні умови здійснення круглого зовнішнього глибинного алмазного шліфування фаски клапана (із нанесеним на її поверхню зносостійким покриттям ПГ-10Н-01) за умови безперервного електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці М2-01, які забезпечують максимально можливу продуктивність обробки без засалювання алмазного круга, значно покращують екологію робочого місця робітника-шліфувальника та забезпечують вимоги з охорони праці й безпеки життєдіяльності [29].

Таблиця 1 – Оптимальні умови алмазного шліфування фаски клапана

Характеристика алмазного круга		1A1 500×25×305×6 AC15 200/160 M2-01 4
Оброблюваний матеріал: покриття ПГ-10Н-01	V_{det} , м/хв	0,5
	$V_{кр}$, м/с	28
	$V_{вр}$, мм/хв	0,5
	t , мм	0,8
Параметри імпульсного електричного струму	сила струму I_{cp} , А	67 ... 70
	частота f , кГц	3
	кількість силових блоків B_c , шт.	5
	шпаруватість, q_i	1,1 ... 4,3
Питома продуктивність обробки	Q , мм ³ /(хв·мм)	170
Кількість оброблених клапанів алмазним кругом до його повного зношування	$n_{кл}$, тис. шт.	75
Шорсткість обробленої поверхні	R_a , мкм	0,8 ... 1,0
Ефективна потужність шліфування	N_{ef} , Вт	70 ... 90

4.2. Технічне забезпечення алмазного електроерозійного глибинного шліфування

У даний час розроблено безліч електричних схем генераторів імпульсного електричного струму для різних видів електроерозійної дії, промисловістю серійно випускаються генератори типу ШГІ, ДКІ, ІТТ. Найбільш універсальними джерелами імпульсного високочастотного електричного струму для алмазного електроерозійного шліфування є генератори типу ШГІ [5; 6].

У табл. 2 наведено характеристики різних джерел технологічного струму.

Таблиця 2 – Джерела технологічного струму

Позначення джерела	Сила електричного струму I_{cp} , А	Частота f , кГц	Шпаруватість q_i	Силові блоки B_c
ШГІ-40-440М	40	1 – 440	1,1 – 8,1	3
ШГІ-80×2-88М	80	1 – 88	1,1 – 8,1	6
ІТТ-35	35	$50 \cdot 10^{-3}$	4 – 20	1

Важливим регульованим параметром процесу електроерозійної дії на ріжучу поверхню алмазного круга є енергія одиничних іскрових розрядів, що визначається залежністю:

$$W = I_{cp} \cdot U_{cp} \cdot \tau_i, \quad (37)$$

де I_{cp} , U_{cp} – середні значення сили електричного струму (А) та напруги (В) у міжелектродному проміжку;

τ_i – час дії одиничного електричного імпульсу, с.

Час τ_i визначається залежністю:

$$\tau_i = \frac{1}{f \cdot q_i}, \quad (38)$$

де f – частота слідування електричних імпульсів, Гц.

Слід виразити енергію електричних розрядів через параметри f і q_i :

$$W = \frac{I_{cp} \cdot U_{cp}}{f \cdot q_i}. \quad (39)$$

Залежність (39) встановлює прямий зв'язок енергії електричного розряду з характеристиками розрядного струму. Збільшення параметрів f і q_i призводить до зменшення енергоємності електричного розряду, однак ці параметри мають певні межі оптимальних значень, використання яких дозволяє оптимізувати процес алмазного електроерозійного шліфування.

Виходячи із табл. 2, існує розкид значень f і q_i для різних джерел технологічного струму. Частота проходження електричних імпульсів ІТТ-35 має постійне і найменше значення, що дорівнює 50 Гц, порівняно з іншими генераторами, у яких $f > 1000$ Гц.

На противагу частоті, шпаруватість електричних імпульсів джерела технологічного струму ІТТ-35 більше, інакше кажучи, концентрація енергії в часі для цього джерела технологічного струму в декілька разів вище, ніж для

джерела технологічного струму ШГІ. Проте, розглядаючи процес алмазного електроерозійного шліфування, слід зазначити, що частота обертання алмазного круга на металевій зв'язці змінюється у межах 40 – 50 Гц. Тому у разі застосування джерела технологічного струму ІТТ-35 має місце збіг частот проходження електричних імпульсів і обертання алмазного круга, внаслідок чого лише невелика площа його ріжучої поверхні піддається ерозійній дії електричного струму.

Поєднання змінної концентрації енергії в часі з малою частотою проходження електричних імпульсів викликає посилену ерозійну дію лише у декількох частинах різальної частини алмазного круга, що порушує стабільність процесу шліфування. Отже, доцільніше використовувати джерело технологічного струму ІТТ-35 у разі виведення радіального биття алмазного круга з невеликою швидкістю обертання, що значно відрізняється від частоти обертання алмазного круга 50 Гц.

Широкодіапазонні генератори імпульсів мають великий набір значень частоти і шпаруватості, а, отже, можуть бути набагато ефективніше використані під час алмазного електроерозійного шліфування. Важливим вихідним параметром джерела технологічного струму є середнє значення електричного струму I_{cp} , що виробляється. У генератора ШГІ-80Х2-88М воно вдвічі більше, ніж у генератора ШДІ 40-440. Крім того, важливою особливістю, що вигідно відрізняє ШГІ 80×2-88М від інших генераторів, є наявність у нього п'яти силових блоків у кожному з двох контурів. Збільшуючи число включених блоків, утворюється можливість збільшення сили струму розрядних імпульсів до $I_{cp}=80$ А. У зв'язку з цим, надзвичайно важливо знати такий характер залежності під час глибинного алмазного шліфування.

Схема глибинного алмазного шліфування характеризується великою площею контакту круга з оброблюваною поверхнею. Тому для нормального здійснення процесу шліфування необхідно створити необхідну концентрацію електричного струму на поверхні алмазного круга. Правильно встановлена концентрація електричного струму дозволить очистити поверхню алмазного круга від засалювання та обмежити надмірну витрату алмазів від інтенсивної ерозійної дії електричного струму. Так, на рис. 39 наведено графіки залежностей параметрів імпульсного електричного струму q_i та B_c від сили електричного струму I , згідно з якими зі збільшенням кількості включених силових блоків B_c збільшується сила електричного струму I , а збільшення параметра B_c , навпаки, зменшує її.

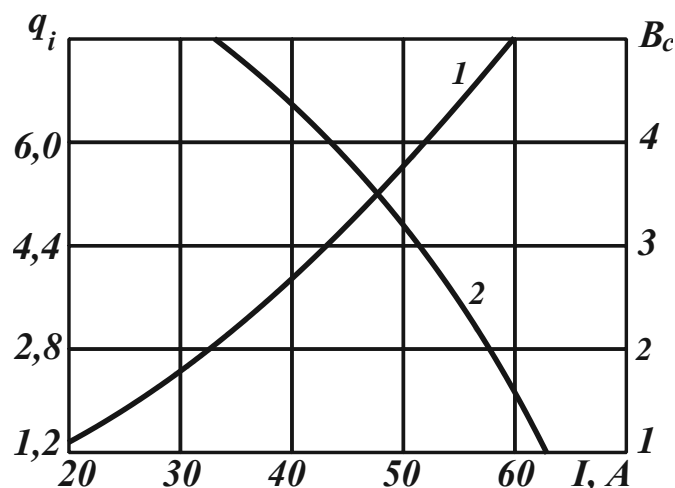


Рисунок 39 – Залежності кількості силових блоків B_c (1) та шпаруватості q_i (2) від сили електричного струму I :

$$1 - f = 8 \text{ кГц}; q_i = 1,6; \quad 2 - f = 8 \text{ кГц}; B_c = 4$$

Частота слідування електричних імпульсів f при цьому не впливає на вихідні значення сили електричного струму I . Таким чином, маючи сучасні потужні джерела технологічного струму можна встановити функціональні зв'язки між електричними параметрами і вихідними (технологічними) параметрами обробки.

У результаті проведених експериментальних досліджень та широкого впровадження технологій електроерозійного алмазного (у тому числі глибинного) шліфування важкооброблюваних матеріалів у виробництво, встановлено необхідність створення спеціального генератора імпульсного електричного струму з конкретними діапазонами зміни електричних параметрів. Важливо також значно зменшити вагу та габарити генератора порівняно із аналогами, забезпечити його роботу у режимі короткого замикання, оскільки процес шліфування (особливо глибинного шліфування) характеризується значною площею контакту алмазного круга з оброблюваною деталлю.

У відомих схемах алмазного електроерозійного шліфування важкооброблюваних матеріалів переважно використовують спеціальні джерела технологічного струму ІТТ-35 і ІТТ-40. Суттєвим недоліком таких джерел є невідповідність значень частоти і шпаруватості імпульсного електричного струму, що формується, необхідним значенням. Так, частота зміни електричного струму у ІТТ-35 дорівнює 25 Гц.

Якщо порівнювати її з частотою обертання алмазного круга, що дорівнює 40 – 50 Гц, то, очевидно, буде відсутня електроерозійна дія на всю

різальну поверхню алмазного круга. Це призведе до засалювання алмазного круга та втрати його ріжучих властивостей. Шпаруватість імпульсного електричного струму у ІТТ значно більше (9 – 20), ніж у спеціально розробленого джерела технологічного струму (1 – 4), тобто значно більше концентрація енергії імпульсу у часі, а це приводить до інтенсивного електроерозійного руйнування ріжучої поверхні алмазного круга тільки в окремих місцях, що порушує стабільність процесу шліфування.

Указані та цілий ряд інших недоліків усунуто у спеціально розробленому генераторі імпульсного електричного струму [33]. Нова електрична схема дозволила формувати високочастотний розрядний імпульсний електричний струм із характеристиками, встановленими за розрахунковими залежностями, наведеними у п. 2.4 і п. 2.5. Частота слідування електричних імпульсів знаходиться у діапазоні (8 – 44 кГц) і змінюється дискретно за трьома значеннями: 8 кГц, 22 кГц, 44 кГц.

Реалізація на практиці цих частот дозволяє забезпечити якісну електроерозійну дію розрядного електричного струму на всій ріжучій поверхні алмазного круга, а також здійснювати жорстку і чистову дію на алмазний круг. Жорстка дія необхідна в умовах виведення значного радіального биття, що особливо важливо під час застосування великогабаритних алмазних кругів. Чистовий, м'якший режим роботи генератора імпульсного електричного струму, необхідний для остаточної підготовки алмазного круга до роботи. Реалізовані значення шпаруватості електричного струму дозволяють зменшити витрату алмазовмісного шару алмазного круга у процесі електроерозійного правлення, іншими словами, усувають "випалювання" металевої зв'язки та алмазів, що спостерігається під час використання джерел технологічного струму типу ІТТ.

У розробленому генераторі імпульсного електричного струму застосовано нові радіо- та електронні деталі з високою надійністю роботи, що дозволяє гарантувати його тривалу експлуатацію без ремонту.

Значне зменшення габаритів генератора дозволило раціональніше організувати робоче місце шліфувальника і, тим самим, поліпшити умови його праці. Зменшення споживаної потужності генератора дозволяє економити електроенергію.

Основні технічні характеристики генератора імпульсного електричного струму представлено у табл. 3.

Генератор формує прямокутні силові імпульси електричного струму наступним чином: мережева напруга (220 В, 50 Гц) знижується силовим транс-

форматором до величини 50 В і випрямляється з наступним згладжуванням. Випрямлена напруга подається на силові блоки.

Таблиця 3 – Технічні характеристики розробленого генератора імпульсного електричного струму

Найменування показників	Значення показників
1. Напруга мережі живлення, В	220 \pm 10 %
2. Частота мережі живлення, Гц	50 \pm 10 %
3. Номінальний середній електричний струм, А	25 \pm 3
4. Фіксовані частоти, кГц	22, 44, 66, \pm 10 %
5. Допустимі відхилення частот, %	1,2; 2
6. Шпаруватість імпульсного електричного струму	1,1; 5
7. Режим роботи	тривалий
8. Охолодження	повітряне, примусове
9. Споживана потужність, кВт	1,1 \mp 10 %
10. Маса, кг, не більше	30

Під час подачі на силові блоки імпульсів від генератора відбувається їх замикання і переривання електричного струму, що протікає через них. Це дозволяє формувати імпульсну напругу заданої частоти на електроерозійні навантаження (тобто між алмазним кругом і оброблюваною деталлю). Із метою регулювання електричного струму навантаження передбачено включення різної кількості силових блоків (від 1 до 4). Захист силових блоків здійснюється плавкими запобіжниками.

Важливою перевагою розробленого генератора імпульсного електричного струму є захищеність всіх елементів електронної схеми від впливу вологи, оскільки процес шліфування матеріалів пов'язаний з утворенням туману із охолоджувальної рідини, а він, своєю чергою, у примусовому порядку разом з повітрям для охолодження потрапляє всередину корпусу генератора. Спроби розмістити генератор на великій відстані від шліфувального верстата показали на значні втрати розрядного струму в підвідних проводах.

Реалізація процесу алмазного електроерозійного шліфування деталей із важкооброблюваних матеріалів нерозривно пов'язана із модернізацією шліфувального верстата. Слід зазначити, що модернізацію можна здійснювати

на всіх верстатах, що серійно випускаються. Найбільш відповідальним і складним вузлом, із позиції конструкторського забезпечення, є підведення технологічного електричного струму до алмазного круга та електроізоляція шпindelного вузла від алмазного круга. У даний час розроблено безліч варіантів конструкцій, проте, всі вони призначені для використання алмазних кругів малих діаметрів та не завжди прийнятні для використання алмазних кругів 300 ... 500 мм і більше. Найбільш надійною та багаторазово перевіреною конструкцією є електроізоляція посадкового місця планшайби алмазного круга від шпindelного валу. Схему конструкції такого модернізованого вузла подано на рис. 22.

Для встановлення ізоляційного матеріалу на конусній поверхні планшайби необхідно її розточити на глибину 4 ... 5 мм. Під час розточування слід строго дотримуватися базування від посадкових місць алмазного круга, інакше буде спостерігатися дисбаланс під час обертання вузла у зборі.

Остаточне розточування посадкового місця планшайби, знову ж таки, здійснюється за умови строгого базування від місця посадки алмазного круга і доводиться шляхом вимірів безпосередньо шпindelного валу. Строге виконання зазначених рекомендацій дозволить уникнути додаткового радіального биття алмазного круга та не вимагатиме проведення додаткового балансування шліфувального вузла. Для забезпечення підведення технологічного електричного струму від генератора імпульсів до алмазного круга слід скористатися схемою, наведеною на рис. 22.

Численні експериментальні дослідження показали на важливість якісного очищення всіх поверхонь, що сполучаються у ланцюгу технологічного струму, від абразивного пилю і бруду. Оскільки поява додаткового опору значно впливає на величину розрядного струму в ланцюзі, то різко знижується ефективність електроерозійної дії на робочу поверхню алмазного круга. Ефективним захистом місця контакту графітної щітки і обертового фланця струмопідведення на планшайбі від розбризкування охолоджуючої рідини можуть бути захисні щітки. Їх конструктивне виконання може бути різним, виходячи із конструкції вузла струмопідведення.

Слід звернути увагу на якісне виготовлення деталей, що забезпечують контакт між графітною щіткою і обертовим фланцем. Наявність биття на зазначеному фланці під час обертання з великою швидкістю, що дорівнює швидкості обертання алмазного круга, створює розрив у ланцюгу технологічного струму, оскільки існує певна інерційність у русі (притисканні) щітки. Це, своєю чергою, призводить до ерозійних процесів на фланці та погіршення

умов проходження розрядного електричного струму в ланцюгу. Другим елементом ланцюга технологічного електричного струму єправлячий пристрій, який забезпечує надійне та якісне очищення ріжучої поверхні алмазного круга на металевій зв'язці від продуктів обробки, а також розкриття алмазовмісного шару круга.

Схему конструкціїправлячого пристрою подано на рис. 40. Як показує практика застосування алмазного електроерозійного шліфування, під час обробки використовувати більш складні конструкціїправлячих пристроїв у виробничих умовах неефективно із-за відносно низької культури їх обслуговування із боку робітника. За цієї причини розроблено спеціальні конструкціїправлячих пристроїв за умови забезпечення їх високої надійності та довговічності, а також простоти конструкції.

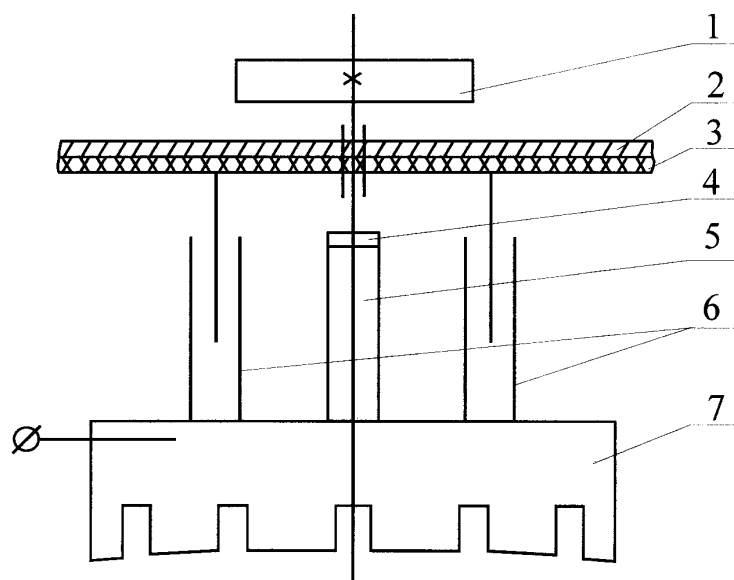


Рисунок 40 – Схемаправлячого пристрою алмазного круга:

- 1 – ізоляційна ручка; 2 – текстолітова пластина; 3 – гумова прокладка;
4 – гайка; 5 – ходовий гвинт; 6 – напрямні; 7 – катод

Тіло катода виконане із міді. Необхідною умовою забезпечення більш значної електроерозійної дії на алмазний круг з боку катода є наявність пазів на його робочій поверхні. Тому пази слід нарізувати вздовж твірної частини алмазного круга для створення високої концентрації розрядного електричного струму на кромках паза, що забезпечить роботу, в ерозійному відношенні, всієї поверхні катода. Величину площі робочої поверхніправлячого пристрою необхідно встановлювати, виходячи з потужності застосовуваного генератора імпульсного електричного струму.

У міру стирання катода необхідно регулювати зазор із робочою поверхнею алмазного круга за допомогою спеціального гвинта у процесі роботи.

Тіло катода має бути ізольоване від корпусу верстата, для чого слід застосовувати текстолітові ізолятори. Необхідно також звернути увагу на щільне прилягання ізоляційних пластин до кожуха алмазного круга на верстаті, що дозволить запобігти викиданню охолоджуючої рідини назовні та не створить перешкод шліфувальнику.

4.3. Технологічні можливості глибинного алмазного електроерозійного шліфування високоміцних покриттів

Експериментальні дослідження здійснювали на спеціально створеній установці на базі універсального круглошліфувального верстата моделі 3К12, що реалізує глибинне алмазне електроерозійне шліфування (рис. 41). Приводи рухів модернізованого круглошліфувального верстата дозволили розширити діапазони зміни значень параметрів режиму шліфування: $V_{кр}$, $V_{дет}$, $S_{позд}$. Установку оснащено спеціальним генератором імпульсного електричного струму та здійснено підведення електричного струму до зони шліфування.

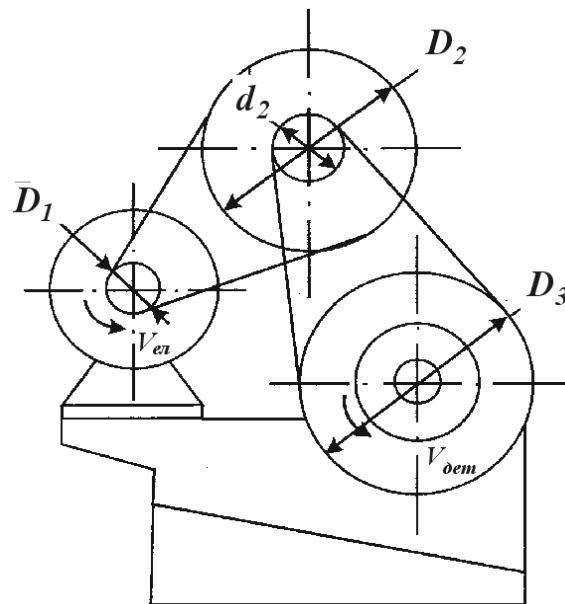


Рисунок 41 – Схема формування обертового руху оброблюваної деталі на верстаті

Для оцінювання ефективності глибинного алмазного електроерозійного шліфування, а також перевірення достовірності отриманих теоретичних ре-

зультатів експериментально досліджували продуктивність обробки, шорсткість оброблених поверхонь, відносну витрату алмазу та потужність шліфування. Зразками для випробування використали спеціальні кільця з високоміцного порошкового матеріалу покриття ПГ-10Н-01. Твердість покриття складає $HRC\ 60 \dots 62$, геометричні розміри оброблюваної деталі: $D_{dem} = 55$ мм, $l_{dem} = 8$ мм. Для обробки зразків застосовували алмазні круги прямого профілю 1A1 300×40×127×5 на металевій зв'язці М2-01 із різними характеристиками зернистості та концентрації алмазних зерен [29].

Обробку здійснювали за схемою глибинного шліфування, яка дозволяє видалити весь припуск оброблюваного матеріалу покриття за один оберт деталі. Параметри режиму шліфування розраховали, виходячи з умов сталості максимальної товщини зрізу $a_{z,max}$, оскільки цей параметр, визначає інтенсивність зношування алмазного круга та відносну витрату алмазів $q_{відн}$.

Для встановлення зв'язку між параметрами V_{dem} та t за умови $a_{z,max} = const$ скористалися залежністю (36). Методика проведення експериментальних досліджень полягає у наступному.

Для забезпечення конкретних значень параметрів $a_{z,max}$, K , \bar{X} , $V_{кр}$, t , $D_{кр}$, D_{dem} (що характеризують алмазний круг, оброблювана деталь і режим різання) на верстаті встановлювали швидкість деталі V_{dem} , яка визначається залежністю (36). За умови зміни глибини шліфування t або іншого параметра, що входить у залежність (36), проводили перерахунок швидкості деталі V_{dem} і нове отримане значення V_{dem} встановлювали на верстаті. Такий підхід дозволив чітко фіксувати у процесі шліфування максимальну товщину зрізу $a_{z,max}$ і встановити порівняні з точки зору максимального використання властивостей міцності робочої поверхні алмазного круга результати за продуктивністю обробки:

$$Q = \frac{K \cdot V_{кр} \cdot l_{dem} \cdot \sqrt{t} \cdot a_{z,max}^3}{16,7 \cdot 10^2 \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{\left(\frac{1}{D_{dem}} + \frac{1}{D_{кр}}\right)}}. \quad (40)$$

Розрахункові та експериментальні значення питомої продуктивності обробки Q_{num} залежно від глибини шліфування t подано на рис. 42.

Слід зазначити, що на графіках представлено питому продуктивність обробки, що припадає на одиницю (міліметр) висоти алмазного круга. Аналіз графіків показує, що характер зміни розрахункових значень Q_{num} аналогіч-

ний експериментальним даним та в обох випадках спостерігається підвищення питомої продуктивності обробки Q_{num} зі збільшенням глибини шліфування t за умови $a_{z,max} = const$. Зі збільшенням максимальної товщини зрізу $a_{z,max}$ експериментальні та розрахункові значення питомої продуктивності обробки Q_{num} значно збільшуються, що указує на достовірність отриманих результатів розрахунків.

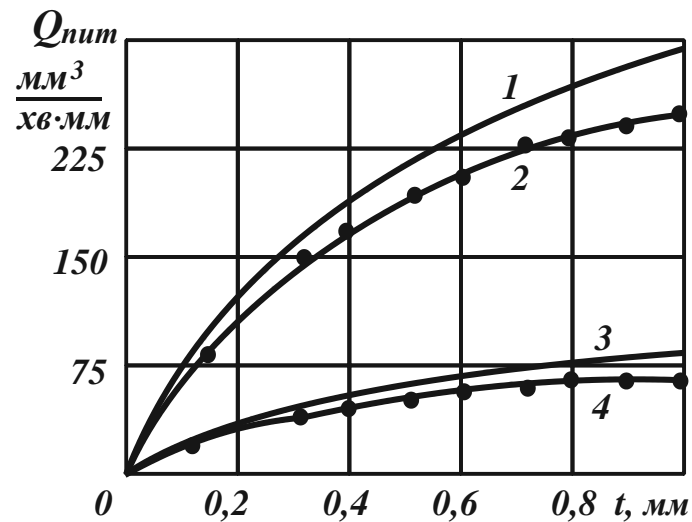


Рисунок 42 – Залежність питомої продуктивності обробки Q_{num} від глибини шліфування t : 1, 2 – $a_{z,max} = 15$ мкм; 3, 4 – $a_{z,max} = 10$ мкм; оброблюваний матеріал – ПГ-10Н-01; $\bar{X} = 250 \cdot 10^{-6}$ м; $K = 100$; $l_{det} = 8$ мм; $V_{кр} = 28$ м/с; 1, 3 – розрахункові залежності; 2, 4 – експериментальні залежності

Проте, розрахункові значення питомої продуктивності обробки Q_{num} дещо більші за експериментальних, що пояснюється, в першу чергу, недостатньою жорсткістю технологічної системи під час шліфування.

Розбіжність розрахункових та експериментальних значень питомої продуктивності обробки Q_{num} , як впливає із наведених графіків, не перевищує 10 ... 15 %. Це цілком прийнятно для практичного використання отриманих розрахункових залежностей (39) та (40).

На рис. 43 наведено експериментальні графіки зміни ефективної потужності шліфування N_{ef} та відносної витрати алмазів q від глибини шліфування t . Як видно, схема алмазного глибинного шліфування високоміцних покриттів характеризується підвищеними енерговитратами, особливо спосте-

рігається підвищення ефективної потужності шліфування N_{ef} на шпindelьному валу зі збільшенням глибини шліфування t .

Однак, у разі обробки вузьких поверхонь, що має місце під час шліфування фаски клапана, не відзначається значного збільшення ефективної потужності шліфування N_{ef} . Так, під час шліфування покриття із $l_{dem} = 8$ мм зі зміною глибини шліфування у межах $t = 0,1 \dots 1,0$ мм ефективна максимальна потужність шліфування збільшилася лише у 3 рази і склала $N_{ef,max} = 76$ Вт. Відносно низькі значення N_{ef} вказують на те, що під час шліфування утворюються менші температури різання, ніж під час традиційного глибинного алмазного шліфування, а отже, знижується імовірність появи на оброблених поверхнях дефектів обробки, обумовлених тепловими явищами.

Важливу роль у забезпеченні низької ефективної потужності шліфування N_{ef} відіграє якісне очищення різальної поверхні алмазного круга від стружок, що утворюються, шляхом застосування алмазного електроерозійного шліфування, яке значно підвищує ефективність обробки.

Важливі результати отримано під час експериментального дослідження відносної витрати алмазу q . Як впливає з рис. 43, зі збільшенням глибини шліфування t за умови підтримання постійного значення параметра $a_{z,max}$, що досягається зміною швидкості деталі V_{dem} , відносна витрата алмазу q зменшується.

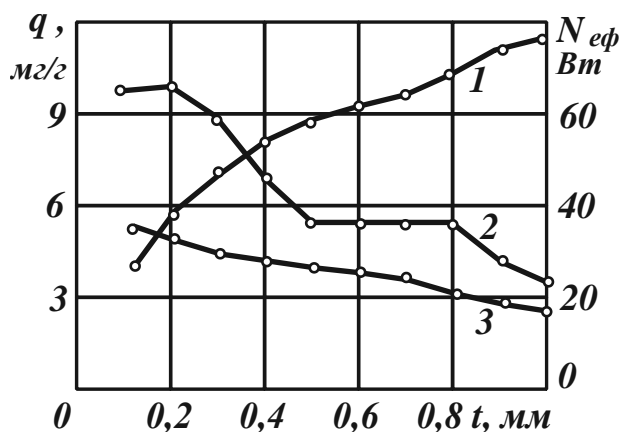


Рисунок 43 – Залежності ефективної потужності шліфування N_{ef} (1)

та відносної витрати алмазу q (2, 3) від глибини шліфування t :

1, 2 – $a_{z,max} = 15$ мкм; 3 – $a_{z,max} = 10$ мкм; оброблюваний матеріал – ПГ – 10 Н – 01; $\bar{X} = 250 \cdot 10^{-6}$ м; $K = 100$; $V_{кр} = 28$ м/с

При цьому зменшення q відбувається приблизно за залежністю $t^{-0,5}$. Із урахуванням збільшення продуктивності обробки за залежністю $t^{0,5}$, це вказує на фактичну незмінність лінійного зношування алмазного круга зі збільшенням глибини шліфування t за умови $a_{z,max} = const$.

Цим підтверджується те, що в умовах високопродуктивного глибинного алмазного шліфування максимальна товщина зрізу $a_{z,max}$ визначає інтенсивність зношування алмазного круга й, відповідно, його граничні (з точки зору міцності алмазних зерен та металевої зв'язки) ріжучі можливості. Доведено, що чим більше параметр $a_{z,max}$, тим більше відносна витрата алмазу q . Зменшення величини q зі збільшенням глибини шліфування t за умови $a_{z,max} = const$ указує на переваги схеми глибинного шліфування. Причому встановлено, що чим більше значення глибини шліфування t , тим значніше зменшення відносної витрати алмазу q і тим вище ефективність глибинного алмазного шліфування. Крім того, значення q , що досягаються під час глибинного алмазного шліфування, економічно прийнятні.

Таким чином, експериментально підтверджено можливість у декілька разів збільшити продуктивність обробки високоміцних покриттів (досягти значення $9500 \text{ мм}^3/\text{хв}$) за економічно допустимого рівня відносної витрати алмазу $q = 5 \text{ мг/г}$ в умовах алмазного глибинного шліфування.

Необхідно зазначити, що в умовах звичайного багатопрхідного алмазного шліфування, як правило, має місце збільшення відносної витрати алмазу q зі збільшенням глибини шліфування t .

В умовах глибинного алмазного шліфування спостерігається протилежна закономірність, що обумовлено, більш за все, відмінностями у механізмі зношування алмазного круга. Так, виходячи із наведених у роботі аналітичних залежностей, максимальна товщина зрізу $a_{z,max}$ під час багатопрхідного шліфування завжди більше, ніж під час глибинного шліфування внаслідок несприятливого відношення параметрів режиму шліфування V_{dem} і t . Збільшення параметра $a_{z,max}$, своєю чергою, призводить до збільшення навантажень, які діють на зерна і, отже, збільшення інтенсивності зношування алмазного круга. Причому, чим більше глибина шліфування t , тим більше параметр $a_{z,max}$ і, відповідно, відносна витрата алмазу q за умови інтенсивного руйнування алмазних зерен та їх випадіння зі зв'язки алмазного круга від надмірних навантажень.

В умовах глибокого алмазного шліфування, коли максимальна товщина зрізу $a_{z,max}$, незалежно від характеру зміни швидкості деталі та глибини шліфування, залишається незмінною та не перевищує граничного значення, у механізмі зношування алмазного круга переважає зношування зерен без їх передчасного руйнування і випадіння із металевої зв'язки алмазного круга. При цьому доведено, що інтенсивність лінійного зношування алмазного круга за умови $a_{z,max} = const$ залишається постійною. Тоді збільшення продуктивності обробки за залежністю $t^{0,5}$ призводить до зменшення відносної витрати алмазу q за залежністю $t^{-0,5}$.

Цим доведено відмінності у механізмі зношування алмазного круга під час звичайного алмазного шліфування й глибокого шліфування та обґрунтовано причини зменшення відносної витрати алмазу q зі збільшенням глибини шліфування t за умови $a_{z,max} = const$.

У роботі значну увагу приділено експериментальним дослідженням шорсткості обробленої поверхні під час алмазного глибокого шліфування.

На рис. 44 представлено експериментальні дані щодо зміни параметра шорсткості обробленої поверхні R_a зі збільшенням глибини шліфування t за умови $a_{z,max} = const$.

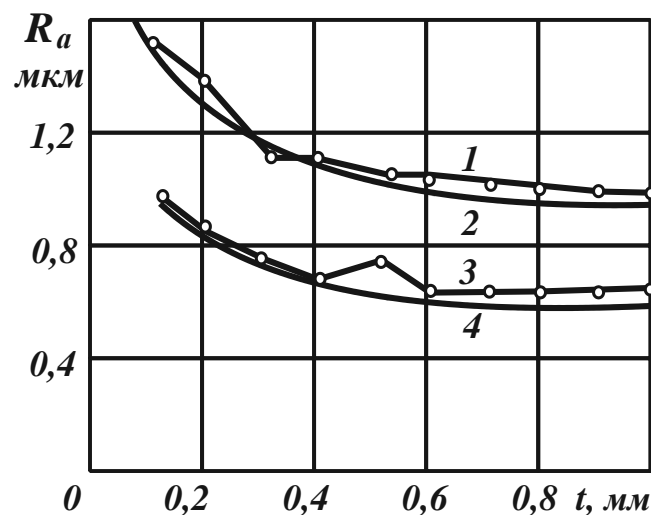


Рисунок 44 – Залежність параметра шорсткості обробленої поверхні R_a від глибини шліфування t : 1, 2 – $a_{z,max} = 15$ мкм; 3, 4 – $a_{z,max} = 10$ мкм; оброблюваний матеріал – ПГ-10Н-01; $\bar{X} = 250 \cdot 10^{-6}$ м; $K = 100$; $V_{кр} = 28$ м/с;

1, 3 – експериментальні залежності;
2, 4 – розрахункові залежності

Для порівняння наведено розрахункові графіки зміни параметра R_a залежно від глибини шліфування t за умови $a_{z,max} = const$. Розрахунок параметра R_a здійснили за залежністю [52]:

$$R_a = 5 \sqrt[5]{\frac{a_{z,max}^6}{17,1 \cdot 10^3 \cdot t}}. \quad (41)$$

При цьому швидкість деталі V_{dem} для кожного конкретного значення глибини шліфування t встановлювали за залежністю [52]:

$$V_{dem} = \frac{a_{z,max}^3 \cdot K \cdot V_{кр}}{16,7 \cdot 10^2 \cdot \bar{X}^3 \cdot \sqrt{t \cdot \left(\frac{1}{D_{dem}} + \frac{1}{D_{кр}} \right)}}. \quad (42)$$

Як впливає з наведених графіків, у всіх випадках зі збільшенням глибини шліфування t , за умови $a_{z,max} = const$, параметр шорсткості обробленої поверхні R_a зменшується. Це свідчить, що з переходом від багатопрхідного до глибинного шліфування з'являється можливість підвищення якості оброблених поверхонь.

Значно впливає на параметр шорсткості обробленої поверхні R_a максимальна товщина зрізу $a_{z,max}$. Із її збільшенням параметр шорсткості обробленої поверхні R_a збільшується більш ніж за лінійною залежністю. Причому таку закономірність встановлено як теоретично, так і експериментально.

Заслугує уваги те, що розрахункові та експериментальні дані мають високий ступінь збіжності. Розбіжність у цьому разі, виходячи із наведених на рис. 44 графіків, не перевищують 10 %.

Як впливає з рис. 45, глибинне алмазне шліфування високоміцних покриттів дозволяє підвищити продуктивність обробки та одночасно зменшити параметр шорсткості обробленої поверхні R_a . Слід зазначити, ці закономірності встановлено вперше, оскільки традиційно не аналізували умови обробки, особливо, під час глибинного шліфування, за умови $a_{z,max} = const$, тоді як виконання цієї умови по-новому розкриває можливості процесу шліфування та дозволяє обґрунтувати нові ефекти обробки.

Виходячи із наведених на рис. 45 графіків, значно впливає (більш ніж за лінійною залежністю) на питому продуктивність обробки Q_{num} параметр $a_{z,max}$. Із його збільшенням спостерігається значне збільшення питомої продуктивності обробки Q_{num} , що експериментально підтверджено.

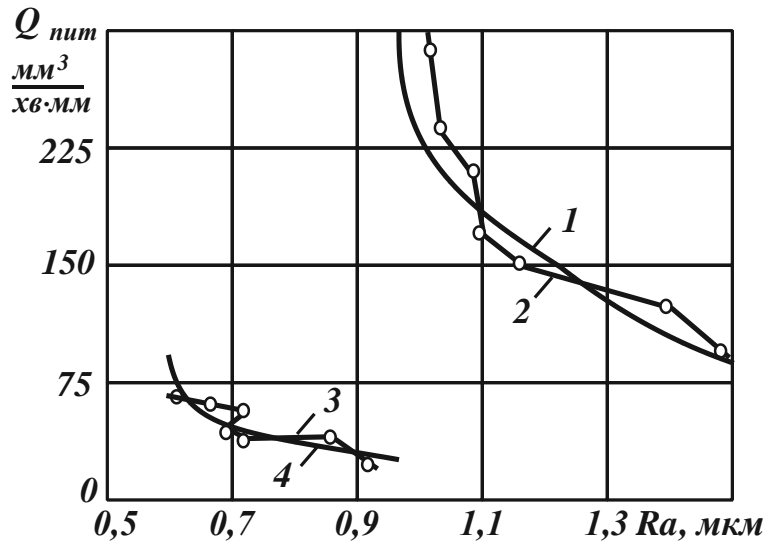


Рисунок 45 – Залежність питомої продуктивності обробки Q_{num} від параметра шорсткості обробленої поверхні R_a : 1, 2 – $a_{z,max}=15$ мкм; 3, 4 – $a_{z,max}=10$ мкм; оброблюваний матеріал – ПГ-10Н-01; $\bar{X} = 250 \cdot 10^{-6}$ м; $K = 100$; $l_{дет} = 8$ мм; $V_{кр} = 28$ м/с;
1, 4 – розрахункові залежності;
2, 3 – експериментальні залежності

Крім того, зі збільшенням максимальної товщини зрізу $a_{z,max}$ збільшуються значення параметра шорсткості обробленої поверхні R_a , які можна реалізувати в цих умовах, оскільки залежність питомої продуктивності обробки Q_{num} від параметра R_a набуває вигляду асимптотичної кривої, що наближається до конкретного значення R_a . У даному випадку за умови $a_{z,max} = 10$ мкм залежність асимптотично наближається до прямої $R_a = 0,5$ мкм, а за умови $a_{z,max} = 15$ мкм – до прямої $R_a = 0,9$ мкм.

Для експериментального оцінювання впливу характеристик алмазного круга на параметр шорсткості обробленої поверхні R_a слід скористатися залежністю [52]:

$$V_{дет} = \frac{K \cdot V_{кр}}{13,1 \cdot \bar{X}^3} \cdot \sqrt{\frac{R_a^5}{\left(\frac{1}{D_{дет}} + \frac{1}{D_{кр}}\right)}}. \quad (43)$$

До цієї залежності, поряд із параметрами режиму шліфування, входять характеристики алмазного круга – зернистість \bar{X} і концентрація K . Під час

дослідження оброблюваності зразків з високоміцним покриттям ПГ-10Н-01 використовували алмазні круги із різними значеннями \bar{X} і K .

На рис. 46 подано розрахункові та експериментально встановлені залежності параметра шорсткості обробленої поверхні R_a від зернистості \bar{X} та концентрації K алмазів.

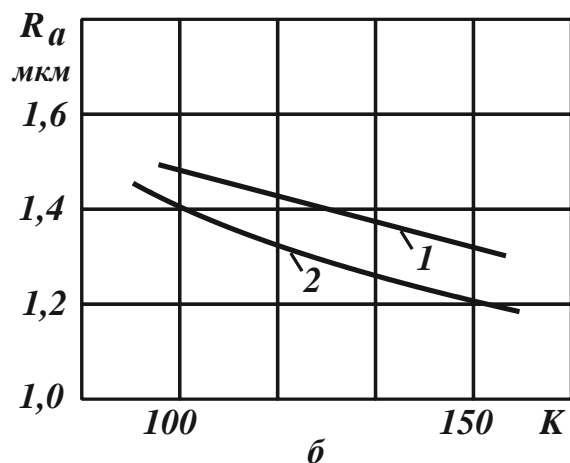
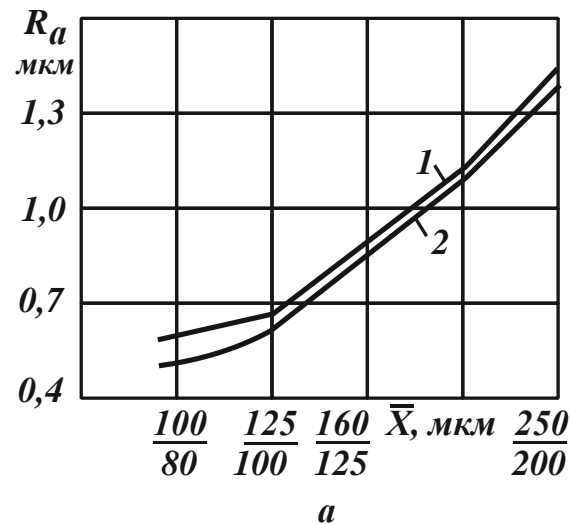


Рисунок 46 – Залежності параметра шорсткості обробленої поверхні R_a від зернистості \bar{X} (а) та об'ємної концентрації зерен алмазного круга K (б):

1 – експериментальні залежності; 2 – розрахункові залежності;

$$\bar{X} = 250 \cdot 10^{-6} \text{ м}; K = 100; V_{дет} = 0,6 \text{ м/хв}; V_{кр} = 28 \text{ м/с};$$

оброблюваний матеріал – ПГ-10Н-01

Як видно, збільшення зернистості \bar{X} призводить до збільшення параметра шорсткості обробленої поверхні R_a , оскільки збільшується розмір ріжучих зерен, а отже, і рисок-подряпин, які залишаються на оброблюваній поверхні деталі від роботи ріжучих зерен.

Також слід зазначити, що розрахункові значення параметра R_a дещо менше експериментальних значень. Пояснюється це наявністю безлічі гострих мікрокренок на поверхні ріжучих зерен, які створюють розвинену за формою риску-подряпину на оброблюваній поверхні деталі.

Введення у зону різання додаткової енергії забезпечує високий ступінь очищення різальної поверхні алмазного круга від стружок, що утворюються, і усуває налипання матеріалу на ріжучі зерна. Це забезпечує високу розвиненість ріжучого рельєфу алмазного круга і, тим самим, позитивно впливає на вихідні показники шліфування (що під час моделювання форми зерен у розрахунках не враховуються). Разом з тим, проведені експериментальні дослідження показують, що розбіжність розрахункових та експериментальних значень не перевищує 15 %. Отже, можливість використання залежності (43) для прогнозування шорсткості обробленої поверхні зі зміною параметра R_a експериментально підтверджено.

На противагу зернистості алмазного круга, збільшення концентрації алмазного круга K сприяє зменшенню параметра шорсткості оброблюваної поверхні R_a . Однак, значного зменшення параметра R_a зі збільшенням концентрації алмазного круга K не спостерігається.

На рис. 46,б подано графіки залежності параметра R_a від K , які отримано у результаті теоретичних та експериментальних досліджень. Отримані експериментальні дані підтверджують теоретично встановлену залежність параметра шорсткості обробленої поверхні R_a від концентрації алмазного круга K .

Під час оцінювання ефективності процесу шліфування важливо знати характер зміни відносної витрати алмазу q від параметра шорсткості обробленої поверхні R_a , яка визначає економічну ефективність застосування процесу шліфування.

У зв'язку з цим, на рис. 47 подано залежності відносної витрати алмазу q від параметра R_a , які отримано під час шліфування високоміцного покриття ПГ-10Н-01.

Як видно, зі збільшенням параметра R_a спостерігається збільшення відносної витрати алмазу q , проте інтенсивність збільшення не скрізь однакова. Існують зони зміни параметрів режимів шліфування, в яких відносна витрата алмазу q змінюється дуже незначно, незважаючи на суттєву зміну параметра R_a . Використання таких зон дозволяє отримати різну шорсткість

обробленої поверхні матеріалу за умови стабілізації у часі найменшої відносної витрати алмазу q .

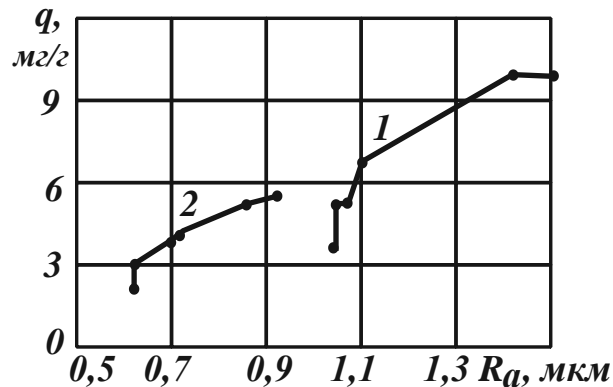


Рисунок 47 – Залежність відносної витрати алмазу q від параметра шорсткості оброблюваної поверхні R_a :

1, 2 – $a_{z.max} = 15$ мкм; 3, 4 – $a_{z.max} = 10$ мкм; $\bar{X} = 250 \cdot 10^{-6}$ м; $K = 100$;
оброблюваний матеріал – ПГ- 10Н-01

Також існують зони, в яких фактично відсутній зв'язок між параметрами q і R_a . Це свідчить про те, що відносна витрата алмазу q може змінюватися в значних межах фактично без зміни параметра R_a . Такі зони мають надзвичайно важливе практичне значення.

Наведені на рис. 47 експериментальні графіки ще раз підтверджують ефективність проведення оптимізації параметрів процесу шліфування за умови $a_{z.max} = const$. Це дозволяє принципово, по-новому, встановлювати технологічні можливості глибокого алмазного шліфування та нові нетрадиційні відношення параметрів режимів шліфування, що забезпечують значне підвищення ефективності обробки.

Таким чином, виконані експериментальні дослідження дозволили, по-перше, встановити значення вихідних технологічних параметрів глибокого алмазного електроерозійного шліфування, по-друге, підтвердити правильність розробленої математичної моделі шліфування та отриманих теоретичних результатів. У результаті проведених експериментальних досліджень показано також, що найбільш ефективним є застосування під час глибокого алмазного шліфування високоміцних покриттів алмазних кругів на металевих зв'язках М2-01, М1-01, М3-06, М1-10 із зернистістю 160/125 ... 250/200 та 100 % концентрацією в умовах їх безперервного електроерозійного правлення [1].

4.4. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної технології глибинного алмазного електроерозійного шліфування деталей двигуна внутрішнього згорання

Відновлення зношених деталей з використанням високотвердих покриттів дозволяє в 2 рази і більше підвищити термін роботи двигуна внутрішнього згорання (ДВЗ). Разом з тим, як зазначалося в п. 4.1, проблема шліфування покриттів твердістю HRC > 60 обмежує їх застосування для відновлення зношених деталей ДВЗ, що вимагає створення ефективних технологій шліфування.

Виходячи із цього, науково обґрунтовано можливість високопродуктивної обробки покриттів твердістю HRC > 60 на основі використання технології глибинного алмазного електроерозійного шліфування. Це відкриває широкі перспективи ефективної обробки деталей ДВЗ з покриттями: клапанів газорозподілу, колінчастих валів, кулачкових валів газорозподілу та ін.

Проте реалізацію на практиці нових технологій обмежено низкою труднощів технологічного характеру. Наприклад, неможливість жорсткого кріплення на верстаті клапана газорозподілу під час шліфування відновленої покриттям його фаски (рис. 48) призводить до суттєвого збільшення пружних переміщень у технологічній системі, що знижує продуктивність та точність обробки. У результаті дана операція шліфування стає найбільш трудомісткою у технологічному процесі обробки деталей ДВЗ.

Для визначення умов підвищення ефективності круглого зовнішнього урізного шліфування фаски клапана (рис. 48) з урахуванням пружних переміщень, виникаючих у технологічній системі, проведемо аналіз розрахункової залежності для визначення поточної продуктивності обробки за умови, що початкове пружне переміщення $y_0 = 0$ [29; 52]:

$$Q_{nom} = Q_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{c \cdot \lambda \cdot \tau}{\pi \cdot D_{dem} \cdot l_{dem}}} \right). \quad (44)$$

де Q_0 – номінальна продуктивність обробки, м³/с;

c – жорсткість технологічної системи, Н/м;

$\lambda = Q_{nom} / P_y$ – питома інтенсивність знімання матеріалу, м³/(с·Н);

P_y – радіальна складова сили різання, Н.

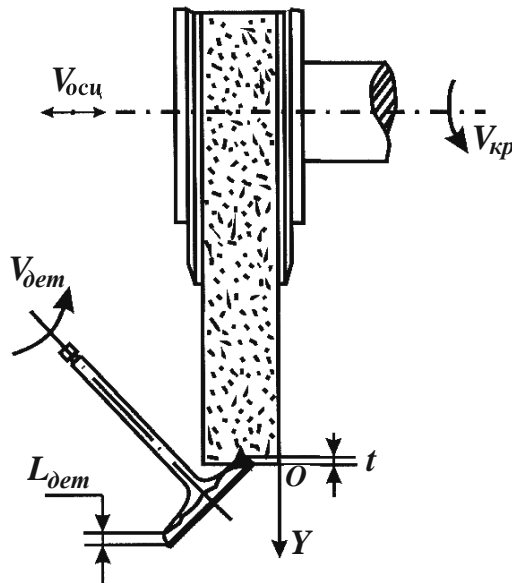


Рисунок 48 – Розрахункова схема круглого зовнішнього урізного шліфування фаски клапана

Як видно, залежно від величини другої складової поточна продуктивність обробки Q_{nom} може змінюватися у широких межах: від нуля до номінальної продуктивності обробки Q_0 . Тому вибір оптимальних умов обробки слід здійснювати за умови наближення другої складової до нуля, тобто за умови

$$\frac{c \cdot \lambda \cdot \tau}{e^{\pi \cdot D_{дет} \cdot l_{дет}}} \rightarrow 0. \quad (45)$$

Для виконання цієї умови необхідно показник ступеня даного виразу спрямувати до нескінченності (із урахуванням $\tau = n \cdot \pi \cdot D_{дет} / V_{дет}$, де n – поточна кількість обертів деталі):

$$\frac{c \cdot \lambda \cdot n}{V_{дет} \cdot l_{дет}} \rightarrow \infty. \quad (46)$$

Тоді залежність (44) прийме вигляд:

$$Q_{nom} = Q_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{c \cdot \lambda \cdot n}{V_{дет} \cdot l_{дет}}} \right). \quad (47)$$

Існують два варіанти реалізації умови (46). Перший варіант полягає у збільшенні до нескінченності параметрів, що знаходяться у чисельнику умови (46). Другий варіант полягає у зменшенні до нуля параметрів, що знаходяться у знаменнику умови (46). Із урахуванням того, що параметри c і λ , які зна-

ходяться у чисельнику, можуть змінюватися у заданих межах і не можуть набувати нескінченних значень, найбільш прийнятним варіантом реалізації умови (46) є збільшення параметра n до нескінченності. У цьому випадку весь припуск, що знімається, необхідно розподілити на нескінченну кількість ділянок і глибину шліфування підпорядкувати умові $t \rightarrow 0$. Тоді друга складова залежності (46) зменшиться і вплив пружних переміщень, виникаючих у технологічній системі, на поточну продуктивність обробки Q_{nom} стане незначним. Однак, згідно залежності (47), при цьому відбудеться зменшення першої складової $Q_0 = V_{дет} \cdot t \cdot l_{дет}$, що призведе до зменшення поточної продуктивності обробки Q_{nom} .

На перший погляд, домогтися компенсації зменшення номінальної продуктивності обробки Q_0 можна значним збільшенням швидкості деталі $V_{дет}$, але цей параметр одночасно входить у знаменник умови (46) і його збільшення призведе до порушення умови (46), тобто до зменшення поточної продуктивності обробки Q_{nom} . Ці результати аналізу показано графічно на рис. 49.

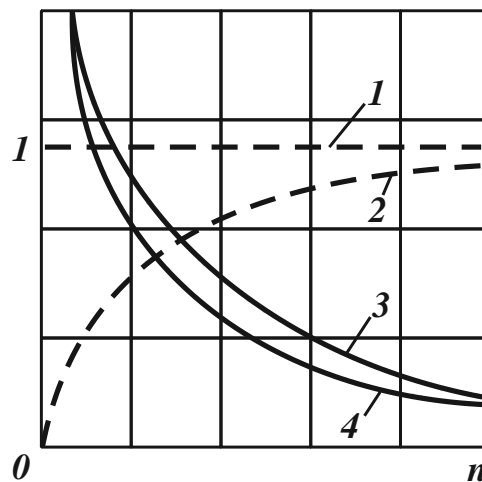


Рисунок 49 – Залежності номінальної (відносної, що дорівнює одиниці) продуктивності обробки Q_0 (1), поточної продуктивності обробки Q_{nom} (4),

функції $1 - \exp\left(-\frac{c \cdot \lambda \cdot n}{V_{дет} \cdot l_{дет}}\right)$ (2), глибини шліфування t (3)

від кількості обертів деталі n

Таким чином, теоретично показано, що застосування схеми багатопрохідного шліфування за даних умов процесу обробки малоефективно. Процес шліфування у цьому випадку характеризується невеликою поточною продук-

тивністю обробки Q_{nom} , оскільки для досягнення необхідного натягу в технологічній системі у разі обробки нерівномірних поверхонь деталей із низькою жорсткістю їх кріплення на верстаті необхідно витратити значний технологічний час.

Найбільш прийнятним варіантом реалізації умови (46) слід розглядати суттєве зменшення швидкості деталі $V_{дет}$, а з метою компенсації зменшення номінальної продуктивності обробки Q_0 внаслідок зменшення швидкості деталі $V_{дет}$ – збільшення глибини шліфування t до величини припуску Π , що знімається. Тоді знімання всього припуску можна здійснити за один оберт деталі й параметр n прийме значення, що дорівнює одиниці.

Для поглибленого аналізу такого механізму інтенсифікації процесу шліфування необхідно звернутися до рис. 50, на якому подано графіки зміни поточної продуктивності обробки Q_{nom} залежно від швидкості деталі $V_{дет}$.

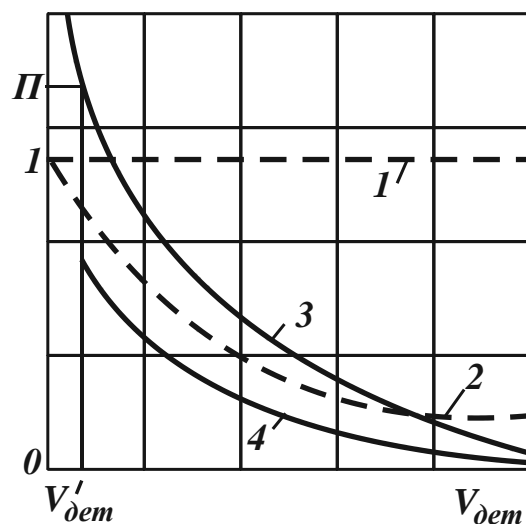


Рисунок 50 – Залежності номінальної (відносної, що дорівнює одиниці) продуктивності обробки Q_0 (1), поточної продуктивності обробки Q_{nom} (4),

функції $1 - \exp\left(-\frac{c \cdot \lambda \cdot n}{V_{дет} \cdot l_{дет}}\right)$ (2), глибини шліфування t (3)

від швидкості деталі $V_{дет}$ під час глибинного шліфування

Як видно, зі зменшенням швидкості деталі $V_{дет}$ вираз, що знаходиться у дужках залежності (47), збільшується і наближається до одиниці, що призводить до збільшення поточної продуктивності обробки $Q_{nom} \rightarrow Q_0$. У свою чергу, зменшення швидкості деталі $V_{дет}$ до значення $V'_{дет}$ призводить до

збільшення глибини шліфування t до величини припуску Π , що знімається, і, тим самим, дозволяє компенсувати зменшення номінальної продуктивності обробки Q_0 . Таким чином доведено перевагу застосування для обробки високоміцних покриттів із нерівномірним шаром припуску, що знімається, схеми глибинного шліфування.

Для більш повного аналізу умови (46) та залежності (47) необхідно питому інтенсивність знімання матеріалу $\lambda = Q_{nom} / P_y$ виразити із урахуванням відомої залежності для визначення радіальної складової сили різання [52]:

$$P_y = \frac{\sigma \cdot Q_{nom}}{K_{ш} \cdot V_{кр}}, \quad (48)$$

де $K_{ш} = P_z / P_y$ – коефіцієнт шліфування;

P_z – тангенціальна складова сили різання, Н.

Тоді

$$\lambda = \frac{K_{ш} \cdot V_{кр}}{\sigma}. \quad (49)$$

Відповідно, умова (46) та залежність (47) приймуть вигляд:

$$\frac{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot n}{\sigma \cdot V_{дем} \cdot l_{дем}} \rightarrow \infty; \quad (50)$$

$$Q_{nom} = Q_0 \cdot \left(1 - e^{-\frac{K_{ш} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot n}{\sigma \cdot V_{дем} \cdot l_{дем}}} \right). \quad (51)$$

Зі зменшенням умовного напруження різання σ та збільшенням швидкості круга $V_{кр}$ можна більш просто виконати умову (50) та досягти збільшення поточної продуктивності обробки $Q_{nom} \rightarrow Q_0$ згідно залежності (51).

Виходячи з отриманих теоретичних рішень, автоматизований цикл урізного глибинного шліфування повинен включати: урізання круга у нерухому деталі на повну глибину різання та знімання припуску за один оберт деталі.

Такий автоматизований цикл урізного шліфування відрізняється від автоматизованих циклів, які застосовуються у сучасних круглошліфувальних верстатах МШ-197В. На верстатах даного типу, що серійно випускаються, можна реалізувати два автоматизовані цикли урізного шліфування.

Перший автоматизований цикл урізного шліфування визначається прискореним підведенням круга до оброблюваної поверхні (ділянка ОА, крива 2, рис. 51) і урізанням його з постійною подачею у деталі (ділянка АЕ). Після

досягнення необхідного натягу у технологічній системі відбувається обробка поверхні до необхідного розміру. Задану чистоту обробки (шорсткість поверхні) досягають виходжуванням за певний час.

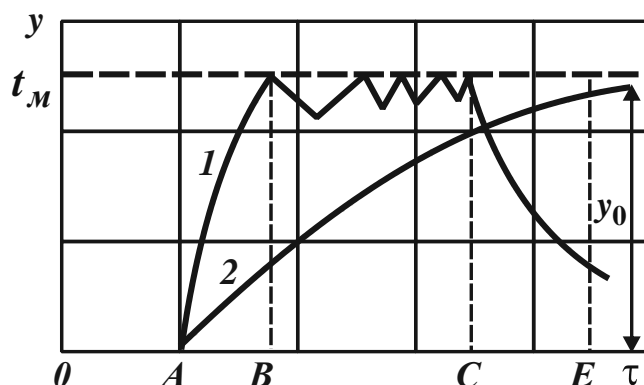


Рисунок 51 – Автоматизований цикл урізного шліфування, що реалізується на круглошліфувальному верстаті: 1 – прискорене урізання круга у деталь; 2 – урізання із постійною поперечною подачею; t_m – подача на глибину, мм/хв; y_0 – натяг у технологічній системі на етапі процесу шліфування, що встановився з часом обробки, м; τ – час, с

Другий автоматизований цикл урізного шліфування визначається прискореним підведенням круга до оброблюваної поверхні (ділянка ОА, крива 1), а потім прискореним урізанням його у деталь (ділянка АЕ). На етапі ВС відбувається чорнова обробка з урізною подачею, яка у 4 ... 5 разів менше, ніж під час прискореного урізання. Необхідну чистоту поверхні обробки досягають виходжуванням.

Відмінною особливістю другого автоматизованого циклу від першого є значно менша витрата часу на досягнення необхідного натягу у технологічній системі. Це досягається на етапі прискореного урізання, що сприяє підвищенню ефективності обробки.

Зіставляючи запропонований автоматизований цикл глибинного шліфування, і два автоматизовані цикли урізного шліфування, що використовують у виробництві, слід віддати перевагу першому, оскільки у ньому, по-перше, реалізується більш високопродуктивне глибинне шліфування, по-друге, відсутня необхідність контролю створюваного натягу в технологічній системі з метою врівноваження сил різання на етапі урізання та чорнового шліфування, що дуже складно здійснити з точки зору правильності вибору співвідношення подач на етапах урізання та чорнового шліфування. Особливо це важливо під

час здійснення алмазного шліфування, коли процес самозагострення алмазного круга відсутній, і алмазний круг дуже швидко засалюється.

Запропонований автоматизований цикл урізного глибинного шліфування не вимагає розроблення складних систем стеження і його нескладно реалізувати на існуючих круглошліфувальних верстатах.

Для практичного застосування алмазного електроерозійного шліфування відновленої фаски клапана високоміцним покриттям ПГ-10Н-01 на верстаті МШ-197В проведено відповідну модернізацію вузлів та комплектування верстата генератором імпульсного електричного струму. Електроізоляція алмазного круга від шпindelного вузла та підведення технологічного струму здійснено аналогічно варіанту, описаному в п. 2.6. На верстаті встановлено великогабаритний алмазний круг на металевій зв'язці із характеристиками 1А1 500×25×305 6 АС6 200/160 100 М2-01. Цей алмазний круг, як правило, має значне радіальне биття, яке не дозволяє ефективно здійснювати процес шліфування і, отже, його необхідно видалити.

Встановлено, що радіальне биття нового алмазного круга діаметром 500 мм досягає 0,6 ... 0,7 мм, а це достатньо великий об'єм алмазовмісного шару, який слід видалити. Із цією метою верстат обладнаний спеціальним пристроєм для видалення радіального биття, що працює за методом електроерозійного правлення алмазних кругів на металевій зв'язці, тобто за методом видалення матеріалу з позитивно зарядженого електрода, яким є алмазний круг на струмопровідній металевій зв'язці (рис. 52). Численні експериментальні дослідження показали, що досягнення радіального биття цього алмазного круга у межах 0,01 мм забезпечує його стійку роботу під час шліфування.

Основним елементом конструкції пристрою є катод, виготовлений із міді. За допомогою ходового гвинта та напрямних встановлюють необхідний зазор між тілом катода і ріжучою поверхнею алмазного круга, який має важливе значення під час електроерозійного видалення металеві зв'язки.

Слід зазначити, що катодний пристрій ізольовано від корпусу верстата за допомогою текстолітової пластини і до нього підключено негативний полюс генератора електричних імпульсів. Для забезпечення процесу електроерозійної дії на металеву зв'язку алмазного круга у зазор між ріжучою поверхнею круга і катодом спеціальним трубопроводом підводиться мастильно-охолоджувальна рідина. У разі припинення процесу електроерозійного правлення алмазного круга на трубопроводі є кран, що дозволяє перекрити подачу мастильно-охолоджувальної рідини. Прямолінійність утворюючої профілю ріжучої частини алмазного круга під час електроерозійного правлення дося-

гається осцилюючим осьовим рухом шпинделя із алмазним кругом. Із урахуванням максимального осьового ходу шпинделя для забезпечення надійності прямолінійності профілю алмазного круга обрано оптимальну ширину катода. Під час осьового ходу алмазного круга довжиною 16 мм ширина катода має бути 20 мм.

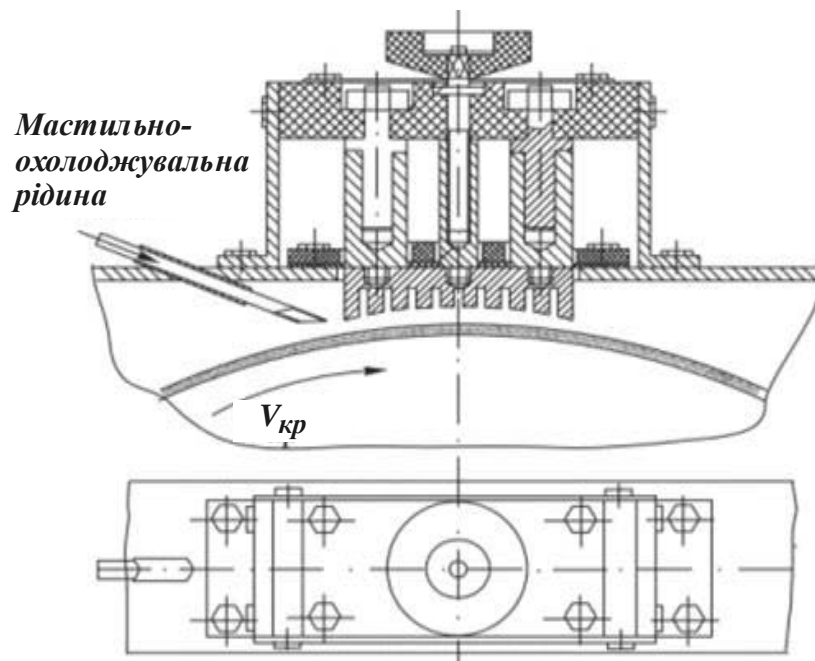


Рисунок 52 – Пристрій для електроерозійного правлення алмазних кругів на металевій зв'язці

Для здійснення електроерозійного правлення алмазних кругів на металевій зв'язці ефективно використовувати генератор імпульсного електричного струму ШГІ 80×2.

Важливе значення у процесі електроерозійного усунення радіального биття алмазного круга має правильний вибір параметрів імпульсного електричного струму.

У п. 2.4 і п. 2.5 роботи детально розглянуто характер впливу розрядного електричного струму на струмопровідну зв'язку алмазного круга та, зокрема, металеву зв'язку М2-01. Тому скористаємося цими результатами.

Як відомо, процес шліфування матеріалу з одночасним проходженням розрядного струму через деталь та алмазний круг характеризується малою площею їхнього спільного контакту і, отже, електроерозійний процес відбувається недостатньо інтенсивно. Встановлена в процесі досліджень оптимальна концентрація електричного струму $K_T = 1,4 \text{ А/мм}^2$ для металевої зв'язки

M2-01 забезпечує надійне очищення алмазного круга від стружок, та сприяє видаленню верхніх шарів металевої зв'язки та оголенню нових ріжучих зерен.

У разі виведення радіального биття алмазного круга необхідно за короткий час видалити великий об'єм металевої зв'язки. Для цього пропонується нове рішення, яке полягає у значному збільшенні інтенсивності електроерозійної дії на робочу поверхню алмазного круга, що досягається збільшенням робочої частини катода. Із метою посилення електроерозійного процесу поверхню катода виконано у вигляді пазів, що чергуються.

Розроблений генератор імпульсного електричного струму може забезпечити $I_{cp} = 80$ А, чого цілком достатньо для створення високої концентрації електричного струму на поверхні катода. У даному випадку слід вважати концентрацію електричного струму змінною величиною, оскільки з лінійним видаленням шару металевої зв'язки алмазного круга площа його контакту з катодом збільшується і параметр K_T дещо зменшується, однак, зі збільшенням площі електроерозійної дії кількість видаленої металевої зв'язки алмазного круга у часі збільшується.

Процес електроерозійної дії на металеву зв'язку алмазного круга слід розділити на два етапи: на першому етапі – чорнова обробка з видаленням великої кількості металевої зв'язки та усуненням радіального биття робочої поверхні алмазного круга; на другому етапі – чистова обробка різальної поверхні та безпосередня підготовка алмазного круга для здійснення процесу шліфування.

Під час чорнкової електроерозійної дії концентрація технологічного струму повинна бути максимальною, що досягається включенням всіх п'яти силових блоків генератора, а також зменшенням параметрів частоти і шпаруватості імпульсного електричного струму. Оптимальними значеннями цих параметрів слід розглядати $f = 1 \dots 3$ кГц; $q_i = 1,2, \dots, 1,4$; $I_{cp} = 80$ А.

Закінчення чорнкової операції визначається візуально за наявністю слідів ерозійного процесу на всій робочій поверхні алмазного круга. Під час чистового правлення необхідно змінити електричний режим роботи генератора імпульсного електричного струму шляхом збільшення параметрів частоти і шпаруватості імпульсного електричного струму до значень $f = 8 \dots 22$ кГц; $q_i = 2,7 \dots 3,0$. Це дозволить забезпечити більш рівномірну дію розрядного струму на ріжучу поверхню алмазного круга. Контроль підготовленості алмазного круга до роботи оцінюється шляхом огляду всієї його робочої поверхні – поверхня повинна бути рівномірно розкрита електроерозійною дією і радіальне биття алмазного круга не повинно перевищувати 0,01 мм.

Після припинення процесу правлення тіло катода за допомогою ходового гвинта відводиться від поверхні алмазного круга і тим самим оберігається від передчасного зношування. Контрольні виміри лінійного зношування катода показують, що він, як правило, незначний і, отже, може бути використаний тривалий час. Для заміни його після зношування не потрібно великих зусиль. Конструкція пристрою передбачає цю операцію.

Важливим моментом на етапі модернізації верстата для глибинного алмазного електроерозійного шліфування відновленої фаски клапана є необхідність забезпечити незначну швидкість деталі $V_{det} = 0,4 \dots 0,6$ м/хв. Складність забезпечення такої незначної швидкості деталі полягає у тому, що затискач тіла клапана здійснюється автоматично за допомогою гідроприводу і це накладає додаткові умови його конструктивного виконання. Найбільш прийнятним варіантом вирішення цього питання є використання спеціального редуктора з електродвигуном потужністю 1,1 кВт в одному корпусі. Передатне число редуктора повинно бути $i_{ред} = 300$. У разі використання такого двигуна з редуктором відпадає необхідність щось змінювати у кінематичній схемі приводу обертання деталі.

Аналіз оптимальної схеми шліфування також показав, що важливим резервом збільшення продуктивності обробки покриття фаски клапана є підвищення жорсткості кріплення тіла деталі у приводі її обертання. На верстаті МШ-197В, що серійно випускається, для затиску деталі використовують цанговий затискач із входом стержня клапана в цангу до упору на глибину 18 мм. Збільшити глибину заходу стержня клапана в цанговий патрон неможливо із-за спеціального пристрою автоматичної зміни клапанів під час завантаження.

Базування деталі відбувається за робочою циліндричною частиною стержня клапана на спеціальному люнеті. Опорні частини люнета виготовлені зі штучного антифрикційного матеріалу та розташовані під кутом 90° . Під дією радіальної складової сили різання P_y відбувається відтискання оброблюваної поверхні покриття фаски від алмазного круга, яке залежить від деформації опорної поверхні люнета та вигину тіла стержня клапана. Таким чином, після усунення двох зазначених чинників під час базування деталі, можна підвищити жорсткість технологічної системи.

Найбільш прийнятним рішенням заміни пластмасових упорів є встановлення радіальних підшипників необхідного типорозміру (рис. 53). Вигин тіла стержня клапана можна значно зменшити шляхом встановлення з боку опуклості стержня упору з радіальним підшипником однакового типорозміру з

першим. У зв'язку з тим, що у процесі шліфування використовують охолоджувальну рідину і підшипники будуть знаходитися у зоні її дії, робочу частину підшипників необхідно закрити.

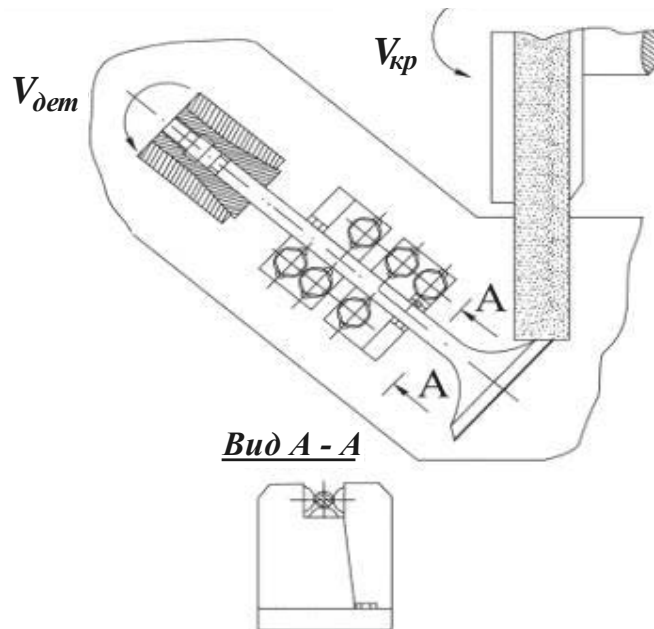


Рисунок 53 – Пристрій, що забезпечує збільшення жорсткості кріплення клапана у приводі обертання верстата

Проведені дослідження жорсткості описаного вище кріплення клапана у приводі обертання верстата під час статичного навантаження силою P_y показали на її збільшення на 20 ... 25 %, що дозволило підвищити продуктивність обробки відновлених клапанів.

Автоматизація процесу обробки відновленої фаски клапана на модифікованому верстаті МШ-197В є невід'ємною умовою реалізації нового технологічного процесу.

У пропонованому технологічному процесі глибинного алмазного шліфування етап форсованого підведення алмазного круга до торкання з поверхнею оброблюваної деталі слід залишити без зміни, оскільки цей етап не відрізняється від аналогічного етапу шліфування абразивним кругом.

На етапі урізання алмазного круга в оброблювану деталь спостерігається інтенсивне засалювання його робочої поверхні продуктами обробки. Тому цей чинник є визначальним під час вибору значень урізної подачі та імпульсного електричного струму. Найбільш доцільно у цьому випадку етап урізання алмазного круга здійснювати у нерухому деталь ($V_{det} = 0$). Причому, урізання

слід здійснювати на глибину припуску Π , що знімається. Після досягнення різальною поверхнею алмазного круга позначки величини припуску можна за один оберт деталі зняти частину матеріалу покриття.

Під час урізання алмазного круга в оброблювану деталь має місце значне збільшення площі контакту круга з оброблюваною поверхнею, а отже зменшення концентрації розрядного струму на ріжучій поверхні алмазного круга, що приводить до її засалювання зрізаною стружкою. Зменшення максимальної товщини зрізу $a_{z.max}$, що приходить на окреме ріжуче зерно алмазного круга, на етапі урізання зменшує силову напруженість процесу різання, а це дозволяє уникнути можливості засалювання алмазного круга. Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що оптимальне значення параметра $a_{z.max}$ дорівнює $a_{z.max} = 12$ мкм. Такий підхід дозволив реалізувати однакові значення параметрів розрядного електричного струму під час урізання на величину припуску, що знімається, та під час подальшого знімання решти матеріалу покриття шліфуванням.

Встановлено характер зміни швидкості урізання алмазного круга в оброблювану деталь за умови підтримання постійним параметра $a_{z.max} = 12$ мкм. Доведено, що прийнятна швидкість урізання під час обробки міцного покриття ПГ-10Н-01 знаходиться у межах $V_{уриз} = 0,4 \dots 0,5$ мм/хв.

Необхідно зазначити, що здійснення етапу урізання алмазного круга у нерухому оброблювану деталь ($V_{дем} = 0$) передбачає деякі зміни в електричній схемі верстата, проте вони не складні та не вимагають додаткових конструктивних пристроїв. Після урізання алмазного круга на величину припуску, що знімається, включається механізм обертання деталі й відбувається шліфування решти відновленої поверхні фаски клапана. Параметри технологічного струму при цьому залишаються незмінними і дорівнюють: $f = 3$ кГц; $q_i = 1,1 \dots 1,3$; $B_c = 5$; $I_{cp} = 67 \dots 70$ А.

Встановлено, що процес глибинного алмазного електроерозійного шліфування забезпечує шорсткість обробленої поверхні $R_a \leq 1$ мкм. Однак, для нормального перебігу цього процесу та досягнення необхідних показників шорсткості та точності обробленої поверхні необхідно підтримувати відповідний режим обробки. Статистичний аналіз оброблених клапанів показав, що глибина шліфування повинна коливатися у межах $t = 0,6 \dots 0,8$ мм.

У разі реалізації максимальної товщини зрізів $a_{z.max} = 15$ мкм та необхідності досягнення шорсткості обробленої поверхні $R_a \leq 1$ мкм швидкість

деталі повинна приймати значення $V_{дет} = 0,6$ м/хв. Це дозволяє досягти стійкої обробки відновленої фаски клапана в автоматизованому циклі.

На рис. 54 наведено алгоритм розрахунку максимально можливої продуктивності та оптимальних умов обробки, за яким визначено максимально можливу продуктивність та оптимальні параметри режиму шліфування.

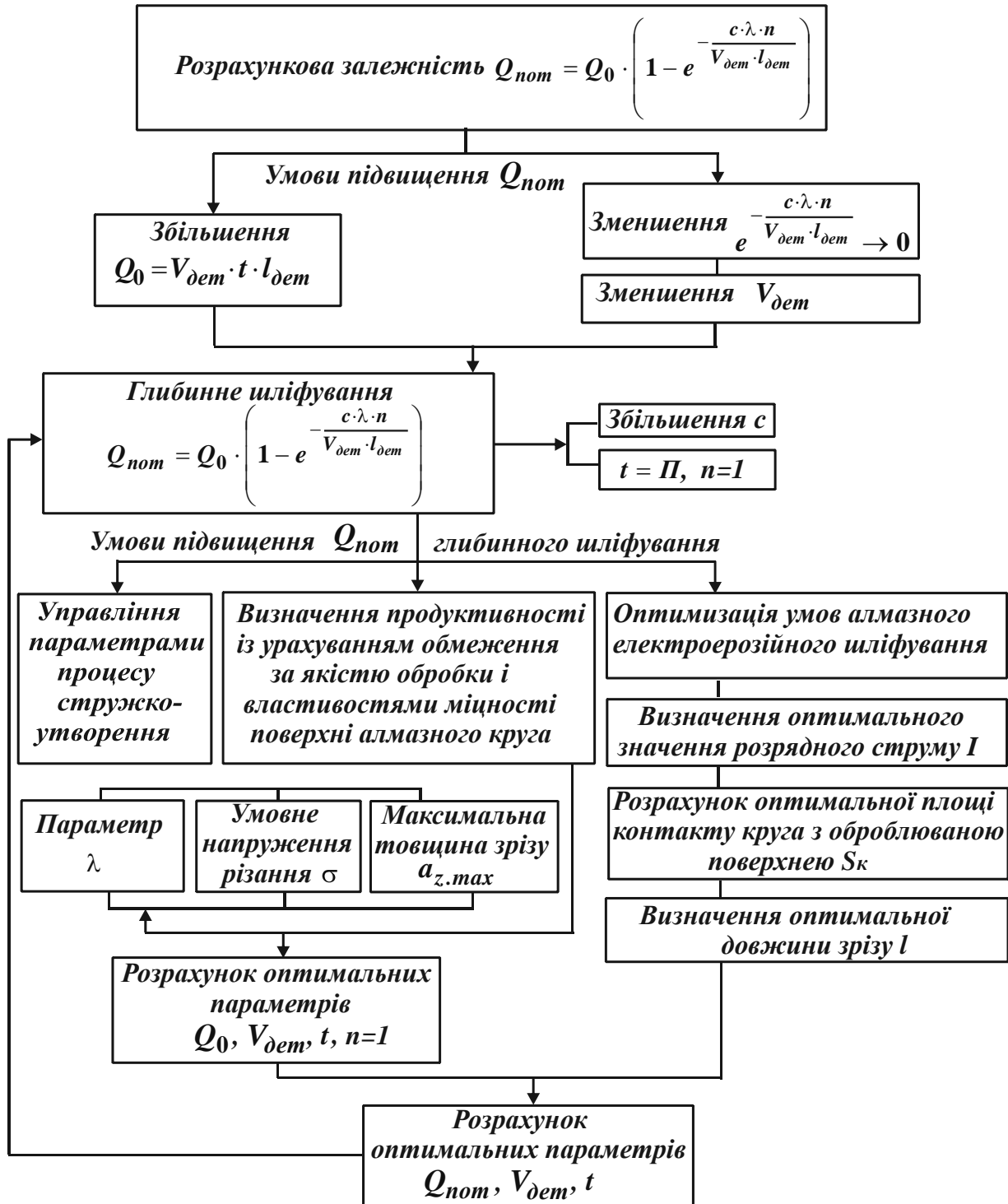


Рисунок 54 – Алгоритм розрахунку максимально можливої продуктивності та оптимальних умов обробки

Електроерозійне правлення алмазного круга на металевій зв'язці забезпечує постійне підтримання його високої ріжучої здатності, чим досягається повне знімання матеріалу з деталі із необхідною чистотою обробки. Проте, значна нерівномірність нанесеного покриття на фаску клапана негативно позначається на точності обробки. Радіальне биття обробленої поверхні знаходиться у межах 0,012 ... 0,014 мм, що виходить за межі допустимих значень 0,008 ... 0,01 мм. Перевищення допустимих значень радіального биття поверхні фаски клапана указує на недостатню жорсткість тіла клапана та його відтискання під час шліфування у результаті значної нерівномірності нанесеного високоміцного покриття. Вирішити це питання вдалося зменшенням швидкості деталі до рівня $V_{det} = 0,5$ м/хв.

Для вирішення проблеми комплектування модернізованих верстатів МШ-197В джерелами технологічного струму розроблено спеціальні конструкції малогабаритних генераторів імпульсного електричного струму та організовано їхнє виробництво у необхідній кількості. Так, у НВО "Ремдеталь" розроблено та виготовлено автомат для нанесення високоміцних порошкових покриттів на фаску клапанів, який впроваджено на ряді підприємств Агропрому. Спільно з НВО "Ремдеталь" проведено роботу з узгодження технічної документації на проектування та постановку на виробництво спеціального обладнання для обробки деталей двигунів внутрішнього згоряння (ДВЗ) із високоміцними покриттями з використанням розробленої технології алмазного шліфування. Дану технологію алмазного шліфування також впроваджено на низці підприємств на операціях шліфування клапанів та кулачкових валів газорозподілу.

4.5. Ефективність застосування екологічно безпечної технології алмазного електроерозійного шліфування бурових інструментів із високоміцними покриттями

Під час шліфування твердосплавних бурових інструментів знайшли широке застосування алмазні круги на металевих зв'язках. Завдяки зниженню силової та теплової напруженостей процесу шліфування, збільшенню стійкості алмазного круга вирішено проблему підвищення якості обробки та зниження витрати бурових інструментів із високоміцними покриттями [52].

Разом з тим, шліфування бурових інструментів із нанесеними на їх робочі поверхні зносостійкими покриттями (реліту та ін.) традиційно здійсню-

вій зв'язці М2-01. Тому для виготовлення великогабаритного алмазного круга діаметром 500 мм та шириною 50 мм було розроблено та створено спеціальну технологію та технологічне оснащення (необхідні прес-форми тощо).

Застосування цього алмазного круга дозволило отримати позитивні результати. Деяке самозагострювання алмазного круга на металевій зв'язці М1-01 у поєднанні з безперервною електроерозійною дією на його робочу поверхню визначили можливість якісного очищення і правлення алмазного круга під час шліфування і підтримання високої ріжучої здатності протягом зміни (обробки приблизно 100 шарошок).

Перехід на повну алмазну обробку завдяки зниженню силової та теплової напруженостей процесу шліфування дозволив суттєво підвищити якість та точність оброблених поверхонь (виключити відколи, мікротріщини та припікання), покращити екологію виробництва шляхом виключення утворення абразивного пилу.

Слід зазначити, що за діючою технологією абразивного шліфування протягом робочої зміни у зв'язку з інтенсивним зношуванням витрачалося до шести абразивних кругів діаметром 600 мм. Це супроводжувалося виділенням абразивного пилу та погіршенням умов роботи шліфувальника.

Розрахунки показали, що витрати на придбання алмазного та абразивних кругів приблизно однакові. Отже, за продуктивністю та собівартістю обробки запропонований процес алмазного шліфування співмірний з діючим процесом абразивного шліфування. Ефект процесу алмазного шліфування досягається завдяки підвищенню якості та точності обробки, поліпшення екології виробництва та умов праці, виключенню трудомістких операцій із частотою заміни абразивних кругів у зв'язку з їх повним зношенням (до шести разів за робочу зміну).

Необхідно зазначити, що діюча технологія заснована на застосуванні схеми урізного багатопрохідного шліфування з поздовжньою осциляцією круга. Швидкість деталі становить до 60 м/хв. Спроби шліфування алмазним кругом за цією схемою призвели до негативних результатів і, насамперед, із-за обробки переривчастої поверхні деталі (шарошки). У зв'язку з високою швидкістю деталі це визначає ударний характер взаємодії та значні динамічні навантаження, що призводять до інтенсивного зношування алмазного круга. Для абразивного круга такий режим шліфування є ефективним, оскільки забезпечує безперервне його правлення та підтримку високої ріжучої здатності.

Власне, цим пояснюється інтенсивне зношування абразивних кругів та їх часта заміна протягом робочої зміни. Оброблювана деталь (шарошка) у

цьому разі виконує функцію правлячого елемента. Отже, обробку алмазними кругами переривчастих поверхонь економічно недоцільно здійснювати за схемою багатопрохідного шліфування з відносно великою швидкістю деталі, ефективно використовувати схему глибинного шліфування з невеликою швидкістю деталі.

Порівняно з алмазним шліфуванням бурових інструментів з нанесеними високоміцними покриттями, шліфування бурових твердосплавних інструментів можна здійснювати з більш високою продуктивністю, оскільки алмазний круг меншою мірою піддається засалюванню і характеризується підвищеною ріжучою здатністю. Це дозволило застосувати у виробництві технологію алмазного шліфування твердосплавних бурових інструментів кругами на більш міцній металевій зв'язці М2-01, що забезпечило зниження інтенсивності його зношування порівняно з алмазним кругом на металевій зв'язці М1-01.

Досягнутий рівень продуктивності глибинного алмазного шліфування бурових інструментів із релітовими покриттями вище за продуктивність алмазного шліфування деталей з покриттями металургійного призначення [43]. Мабуть, це обумовлено менш жорсткими вимогами щодо рівня продуктивності обробки у зв'язку із заміною абразивного шліфування алмазним шліфуванням у металургії, а також тим, що у даному випадку використано більш продуктивну схему глибинного шліфування (з глибиною шліфування, рівною 0,9 мм).

4.6. Ефективність застосування екологічно безпечної технології алмазного електроерозійного шліфування твердосплавних і швидкорізальних інструментів

Відомі технології алмазного електроерозійного шліфування різальних інструментів здійснюються із застосуванням алмазних кругів діаметром не більше 300 мм. Це, як правило, не дозволяє досягти рівня продуктивності обробки, досягнутого під час звичайного абразивного шліфування на операціях попередньої обробки та вирішити проблему переходу на повну алмазну обробку з метою підвищення якості оброблюваних поверхонь. У зв'язку з цим запропоновано здійснювати кругле зовнішнє попереднє (знімання припуску до 2-х мм на сторону) твердосплавних і швидкорізальних інструментів із застосуванням великогабаритних алмазних кругів форми 1А1 і діаметром 500 мм на металевій зв'язці М2-01. Ці алмазні круги характеризуються великою робо-

чою поверхнею, що у поєднанні з безперервним електроерозійним правленням забезпечує збільшення їх стійкості, продуктивності та якості обробки.

Підвищення різальної здатності алмазного круга дозволяє знизити сили і температуру різання та інтенсифікувати режим шліфування шляхом застосування збільшених глибин різання (перехід до глибинного шліфування).

Дану технологію алмазного шліфування впроваджено на низці промислових підприємств у інструментальному виробництві на операціях круглого зовнішнього шліфування твердосплавних і швидкорізальних багатолезових інструментів (фрез, зенкерів, протяжок, свердел та ін.). У результаті вирішено проблему підвищення якості та точності обробки за умови забезпечення високого рівня продуктивності та економічно обґрунтованої витрати алмазу.

Для цього застосовано схему поздовжнього шліфування з дольової поздовжньою подачею, що дорівнює 0,5, глибиною шліфування 0,1 ... 0,2 мм і швидкістю обертання оброблюваного інструменту – до 5 м/хв. Вибір оптимальної дольової поздовжньої подачі $S_d = 0,5$ пов'язаний із забезпеченням якісного очищення алмазного круга від продуктів обробки, оскільки створено умови ефективного періодичного електроерозійного правлення "непрацюючої" половини ширини алмазного круга під час шліфування. Це дозволило забезпечити високу ріжучу здатність алмазного круга на протязі всього часу обробки, особливо, на операції шліфування довгих швидкорізальних протяжок. У цьому випадку у зв'язку з недостатньо високою ріжучою здатністю абразивного круга діаметром 600 мм та виникаючими пружними переміщеннями у технологічній системі не досягали необхідної точності обробки (у межах 0,01 мм). Застосування нової технології, завдяки підвищенню гостроти алмазного круга, дозволило гарантовано забезпечити точність обробки у межах 0,01 мм, виключити припикання та інші температурні дефекти обробки.

Також впроваджено у виробництво розроблену технологію круглого зовнішнього торцевого шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці М2-01 задньої поверхні великогабаритних твердосплавних свердел із відносно невеликою швидкістю їх обертання (до 5 м/хв) та підвищеною глибиною шліфування (до 0,15 мм). Реалізація цієї схеми глибинного шліфування алмазним кругом на зв'язці М2-01 стала можливою завдяки організації ефективного електроерозійного правлення алмазного круга, у результаті чого вирішено проблему підвищення якості обробки, що мала місце під час абразивного шліфування. Таким чином, із технологічного процесу шліфування виключено застосування малоефективних абразивних кругів. Це дозволило значно підвищити якість та продуктивність обробки.

Розроблену технологію круглого зовнішнього і плоского алмазного електроерозійного шліфування та загострення різальних твердосплавних і швидкорізальних інструментів впроваджено на багатьох підприємствах, у тому числі на промислових підприємствах міста Харкова: ДП "Харківський машинобудівний завод "ФЕД", ПАТ "Світло шахтаря", ВАТ "Завод "Потенціал", ПАТ "Харківській електроапаратний завод", ВАТ "Харківський завод Гідропривід", ПТ "Холодмаш" та ін.

На цих підприємствах абразивну обробку всієї номенклатури твердосплавних і швидкорізальних різальних інструментів, що виготовляли, здійснювали із застосуванням звичайних абразивних кругів, а також алмазного електрохімічного шліфування. Відносно низька продуктивність електрохімічного шліфування та шкідливість роботи з електролітами визначили необхідність використання технології алмазного електроерозійного шліфування з підвищеними глибинами різання. Завдяки можливості збільшення продуктивності обробки вирішено проблему переходу на повну алмазну обробку на всіх операціях шліфування: круглого, внутрішнього, плоского шліфування та загострення ріжучих інструментів. Для цього шліфувальні верстати було переобладнано під алмазне електроерозійне шліфування, укомплектовано малогабаритними спеціальними генераторами імпульсного електричного струму, які реалізують оптимальний електричний режим обробки. У результаті впровадження розроблених технологій алмазного електроерозійного шліфування знижено втрати від браку оброблених ріжучих інструментів на операціях шліфування, покращено умови праці та екологію виробництва, забезпечено безпеку життєдіяльності робітників підприємства.

Схему круглого зовнішнього глибинного поздовжнього шліфування використано для створення технології алмазного шліфування кілець із високоміцних (неметалевих) силіційованих графітів для виготовлення торцевих ущільнень насосних агрегатів. Електроерозійне правлення алмазного круга на металевій зв'язці здійснювали поза зоною шліфування за допомогою спеціального правлячого пристрою. Впровадження розробленої технології алмазного шліфування кілець із високоміцних (неметалевих) силіційованих графітів на Бердянському заводі "Південгідромаш" дозволило у 2 ... 5 разів збільшити продуктивність обробки та у 2 ... 3 рази зменшити витрату алмазу, забезпечити знімання всього припуску (до 2-х мм і більше на сторону) за один поздовжній хід столу верстата з високою якістю обробки. Це також дозволило покращити умови праці робітників та підвищити культуру й екологію виробництва на підприємстві.

4.7. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечних технологій алмазного електроерозійного шліфування ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту

Ущільнювальні металеві кільця, які є найбільш відповідальними деталями машин, набули широкого застосування в машинобудуванні. Для герметизації обертових валів гідрозахистів заглибних електродвигунів (використовуваних в електробоурильній техніці) у ВАТ "Завод "Потенціал", м. Харків, розроблено ефективні конструкції торцевих ущільнень, що технічними характеристиками перевершують зарубіжні аналоги (рис. 55, рис. 56 [53]).

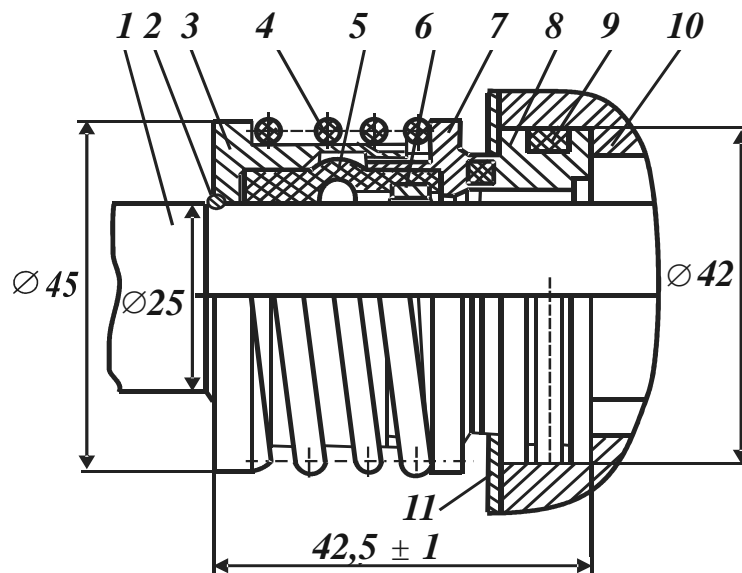


Рисунок 55 – Ущільнення 1P25: 1 – вал протектора; 2 – запірне кільце; 3 – упор (обтискне кільце); 4 – пружина; 5 – сильфон; 6 – розпірне кільце; 7 – обертове кільце; 8 – не обертове кільце; 9 – кільце ущільнювальне; 10 – корпус протектора; 11 – кільце



Рисунок 56 – Деталі торцевого ущільнення

Ефект досягнуто завдяки застосуванню як пари тертя двох спряжуваних кілець, робочі (тертьові) поверхні яких виконані з композиції твердого сплаву "Реліт" і мідної зв'язки – методом спікання у вакуумній печі. Твердий сплав "Реліт" – це зерна литого карбиду вольфраму розміром 0,18 – 0,28 мм. Він призначений для виготовлення деталей, що працюють в умовах інтенсивного абразивного зношування. Перед спіканням у вакуумній печі зерна твердого сплаву "Реліт" і мідний порошок у пропорції 9 : 1 засипають у кільцеву канавку прямокутного перерізу, виконану на торці кільця з нержавіючої сталі, потім запресовують із питомим тиском 3 – 4 т/см².

Організація масового виробництва торцевих ущільнень виявилася досить складною проблемою у зв'язку з труднощами механічної обробки торцевих поверхонь кілець, що складаються, по суті, з композиції трьох матеріалів: твердого сплаву "Реліт", міді та нержавіючої сталі (тобто композиційного матеріалу на основі реліту). Проблема зумовлена, по-перше, необхідністю зняття достатньо великого припуску (до 2-х мм) важкооброблюваного композиційного матеріалу на основі реліту, що має підвищену твердість. По-друге, необхідністю його прецизійної обробки: параметр шорсткості обробленої поверхні – 0,1 мкм, неплосцинність обробки – менш ніж 0,9 мкм. По-третє, специфікою технології обробки торцевих поверхонь деталей типу "кільце" і відсутністю науково обґрунтованих умов їхньої ефективної обробки.

Застосування традиційної технології абразивної обробки, що включає операції попереднього й остаточного абразивного плоского шліфування й подальшого притирання абразивним (алмазним) порошком, виявилось малоефективним у зв'язку з відносно низькою продуктивністю й високою собівартістю обробки. Як відомо, набагато більшими можливостями володіє технологія алмазно-абразивної обробки, що включає операції алмазного шліфування й подальшого алмазного притирання. Особливо ефективною є технологія алмазного електроерозійного шліфування. Тому важливо провести експериментальні дослідження параметрів алмазного електроерозійного шліфування та для порівняння – абразивного шліфування торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту.

Попереднє шліфування кілець здійснювали на плоскошліфувальному верстаті. Оброблювані кільця в кількості 60 штук кріпилися у спеціальному пристосуванні на столі верстата. Експериментально встановлено, що під час шліфування абразивним кругом у зв'язку з його інтенсивним зношуванням фактична глибина шліфування утримувалася менше від номінальної глибини шліфування (установлюваної за лімбом верстата) (рис. 57).

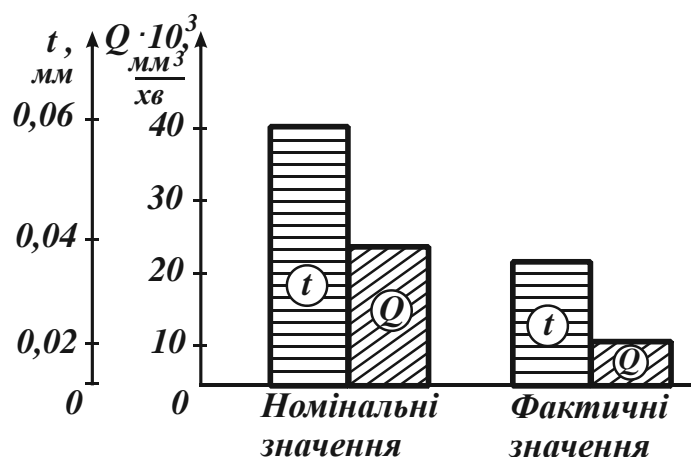


Рисунок 57 – Номінальні та фактичні значення глибини шліфування t і продуктивності обробки Q : $V_{дет} = 20$ м/хв.; $S_{нон} = 20$ мм/хід; $V_{кр} = 34$ м/с

Під час електроерозійного шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці 1A1 400×25×6×203 AC6 200/160 M1-01 4 на тих самих режимах різання фактична та номінальна глибини шліфування фактично рівні. Для здійснення процесу алмазного електроерозійного шліфування плоскошліфувальний верстат був модернізований (зроблено електроізоляцію шпиндельного вузла, здійснено струмопідвід до алмазного круга) та укомплектований спеціальним джерелом технологічного струму (рис. 58).

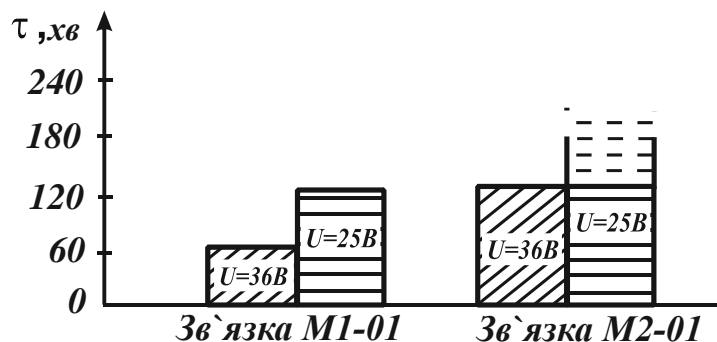


Рисунок 58 – Тривалість електроерозійного правлення алмазних кругів 1A1 400×25 на металевих зв'язках M1-01 і M2-01

Щоб оцінити економічну ефективність від застосування алмазного круга на металевій зв'язці M1-01, було досліджено собівартість обробки за двома статтями витрат: заробітною платою робітника й вартістю витрачених абразивних та алмазних кругів. Установлено, що вже при відношенні часу обробки до повного зношування абразивного й алмазного кругів, що дорівнює 1,52, значен-

ня собівартості обробки для двох варіантів однакові. Зі збільшенням цього відношення до 10, що мало місце під час глибинного шліфування, собівартість алмазного шліфування до 3-х разів менше собівартості абразивного шліфування. Цим науково обґрунтовано умови ефективного застосування алмазних кругів замість звичайних абразивних кругів на операції чорнового плоского шліфування. Оптимальний час роботи T_{opt} алмазного круга до його повного зношування, за яким собівартості C абразивного та алмазного шліфування рівні, визначається залежністю:

$$T_{opt} = \frac{Ц}{\frac{C}{n \cdot t_0} - S \cdot Z \cdot k}, \quad (52)$$

де $Ц$ – ціна алмазного круга, грн;

n – кількість оброблюваних деталей;

t_0 – основний час шліфування, година;

S – тарифна ставка робітника, грн/година;

k – коефіцієнт, що враховує нарахування на заробітну плату робітника;

Z – відношення допоміжного часу до основного часу шліфування.

Досліджували схеми багатопрохідного й глибинного плоского алмазного електроерозійного шліфування. Із погляду продуктивності обробки Q та питомої витрати алмазу q кращі результати отримано під час глибинного алмазного електроерозійного шліфування ($Q = 12$ тис. $\text{мм}^3/\text{хв}$; $q < 5$ мг/г) (рис. 59, рис. 60).

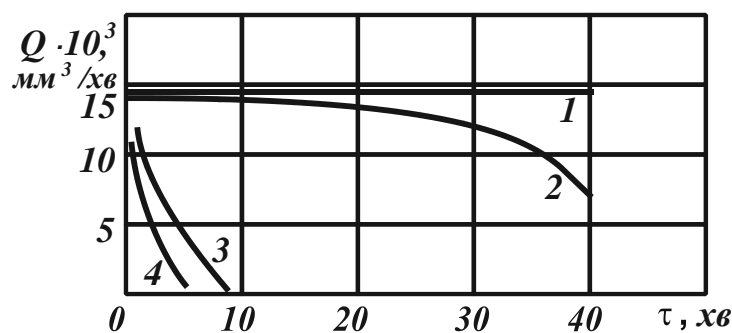


Рисунок 59 – Залежності продуктивності обробки Q від часу шліфування τ :

алмазні круги 1A1 400×25×6×203 AC6 200/160 4; $t = 0,05$ мм;

$V_{det} = 15$ м/хв; $S_{non} = 20$ мм/хід; $V_{кр} = 30$ м/с;

1; 2 – металева зв'язка M1-01 (1 – зі струмом; 2 – без струму);

3; 4 – металева зв'язка M2-01 (3 – зі струмом; 4 – без струму)

Параметр шорсткості обробки R_a при цьому приймав достатньо великі значення (1,0 – 1,5 мкм), які характерні для попередньої (чорнової) обробки.

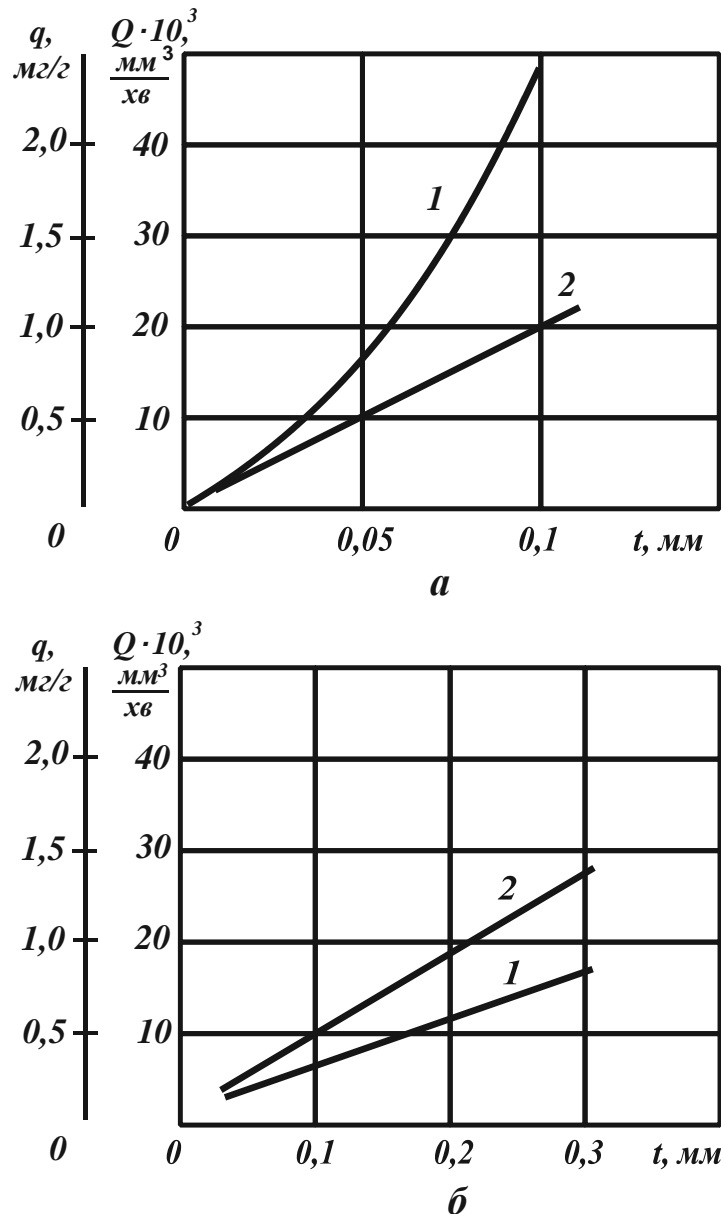


Рисунок 60 – Залежності питомої витрати алмазу q (1) і продуктивності обробки Q (2) від глибини шліфування t під час багатопрохідного (а) і глибинного (б) шліфування: а – $V_{dem} = 15$ м/хв.; б – $V_{dem} = 5$ м/хв.; алмазний круг 1А1 400×25×6×203 АС6 200/160 М1-01 4; $V_{кр} = 30$ м/с;

$$S_{non} = 20 \text{ мм/хід}$$

Під час остаточної обробки торцевих поверхонь деталей типу "кільце" ефективно застосування схеми шліфування торцем круга, повідомляючи деталі обертальний рух, а кругу – додаткову урізну подачу. Ця схема шліфуван-

ня фактично виключає утворення неплоскості обробки, забезпечує якісну підготовку оброблюваної поверхні до подальшої операції притирання – для досягнення високих показників шорсткості та точності обробки. Виходячи із цього, дана схема шліфування набула застосування у виробництві, проте вивчена недостатньо, що не дозволяє повною мірою оцінити її технологічні можливості. Тому нижче наведено результати експериментальних досліджень процесу шліфування торцевої поверхні кільця, що обертається, торцем алмазного круга (рис. 61).

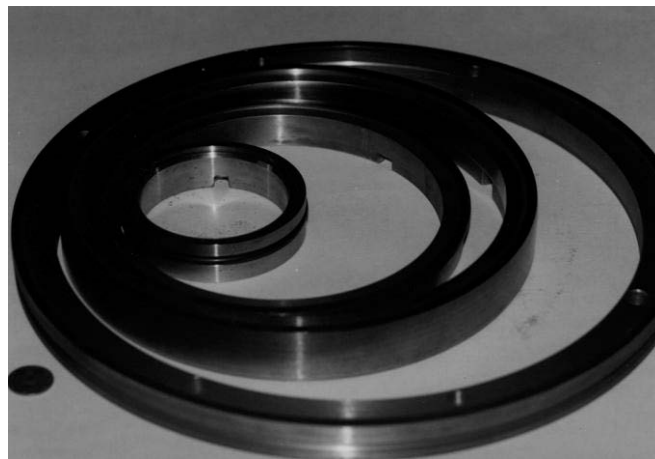


Рисунок 61 – Кільця торцевих ущільнень

Експериментальні дослідження здійснювали на внутрішньошліфувальному верстаті. Оброблювану деталь – кільце (рис. 62) – кріпили у патроні верстата. Під час шліфування кільце здійснювало обертальний рух.

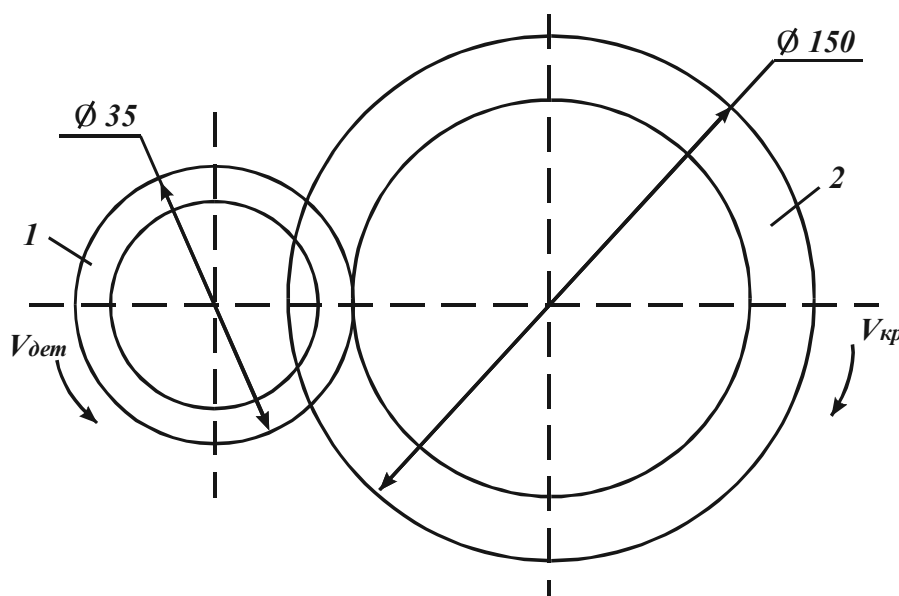


Рисунок 62 – Схема шліфування торця кільця, що обертається, торцем алмазного круга: 1 – оброблюване кільце, 2 – алмазний круг

На верстаті було встановлено пневматичний циліндр. Це дозволило суттєво автоматизувати процес, скоротити допоміжний час на встановлення та знімання кілець.

Алмазний круг форми 12A2 45° 150×10×3 встановлювали на шпинделі верстата на спеціальну двоступінчасту втулку. У процесі шліфування він здійснював обертальний та поступальний (у поздовжньому напрямку) рухи, обробку здійснювали за пружною схемою з фіксованим радіальним зусиллям.

Алмазний круг відносно оброблюваної деталі встановлювали так, щоб вся ширина робочої поверхні круга B приймала участь у процесі різанні.

Досліджували алмазні круги на металевих зв'язках М1-01, М2-01, зернистістю АС6 50/40 ... 200/160 та концентрацією 50 ... 150 %, а також алмазні круги на органічній зв'язці В2-01.

Для здійснення електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці, втулку, на яку встановлювали алмазний круг, виготовляли з ізоляційного матеріалу – текстоліту (рис. 23). Для забезпечення струмопідведення до металевого корпусу алмазного круга на втулці кріпилося бронзове кільце, яке доторкувалося корпусу круга. До кільця через спеціальний щітковий пристрій підводився позитивний полюс джерела постійного електричного струму. До оброблюваної деталі через елемент, що контактує з нею, підводили негативний полюс джерела постійного електричного струму. Така схема забезпечувала електроерозійне правлення алмазного круга з метою підтримання його високої ріжучої здатності.

У зону обробки підводили охолоджувальну рідину – 3-відсотковий розчин Na_2NO_3 . У якості джерела технологічного струму застосовували спеціально виготовлений випрямляч з трансформатором потужністю 1,62 кВт, що формує постійний електричний струм напругою 36 В і силою електричного струму $I = 0 \dots 45$ А.

Після встановлення алмазного круга на металевій зв'язці на верстат здійснювали його початкове правлення та усунення торцевого биття (у межах 0,15 мм) за методом електроерозійного правлення. Правлячим електродом приймали оброблювану деталь, що обертається, встановлену в патрон внутрішньошліфувального верстата.

Алмазний круг підводили до торкання оброблюваної деталі для збудження в міжелектродному проміжку електричних розрядів. Електроерозійне правлення здійснювали за умови дотримання оптимальної (встановленої експериментально) сили електричного струму $I = 20$ А шляхом безперервної подачі алмазного круга протягом 10 хвилин.

Контроль за станом різальної поверхні алмазного круга здійснювали візуально (періодично зупиняючи круг) і на "слух" – за наявності торцевого биття характерна нерівномірність (періодичність) електроерозійного процесу. Умовою усунення торцевого биття алмазного круга свідчила також відсутність "коливання" стрілки амперметра.

Якість правлення алмазного круга перевіряли в процесі шліфування оброблюваної деталі, що обертається (правлячого електрода). За наявності на обробленій поверхні окремих ділянок, що періодично повторюються, процес правлення алмазного круга продовжували. Умовою відсутності торцевого биття алмазного круга свідчила однорідна оброблена поверхня, яка не мала ділянок, що чергуються.

За достатньо точним встановленням алмазного круга на шпинделі верстата тривалість його початкового електроерозійного правлення не перевищувала 5 хвилин. Якщо торцеве биття алмазного круга більш значне – до 0,3 мм (що мало місце на практиці) – тривалість правлення збільшували до 20 хвилин, а в ряді випадків і більше.

Для проведення експериментальних досліджень відібрано партію алмазних кругів однієї характеристики у кількості 60 штук із початковим торцевим биттям кругів 0,1 мм. Виміри величини биття алмазного круга (після встановлення його на шпиндель верстата) здійснювали за допомогою індикатора.

Необхідно зазначити, що зі зміною сили електричного струму I до екстремального значення $I_{екстр} = 20$ А процес електроерозійного правлення алмазного круга відбувався практично без зняття металу із правлячого електроду (оброблюваної деталі), рис. 63. Зі збільшенням сили електричного струму, починаючи з 17 А, швидкість зняття металу із правлячого електроду збільшувалася. Отже, за умови $I_{екстр} = 17$ А товщина міжелектродного зазору дорівнює приблизно максимальній висоті виступання зерен над рівнем зв'язки алмазного круга.

Зі збільшенням сили електричного струму товщина міжелектродного зазору зменшується, і зерна контактують з правлячим електродом, здійснюючи процес різання. Із цього можна зробити висновок, що процес алмазного електроерозійного шліфування оброблюваної деталі (правлячого електрода) можливий за умови $17 \text{ А} < I < 40 \text{ А}$.

Сила притискання круга до оброблюваної деталі P під час шліфування за пружною схемою є основним параметром процесу, що визначає умови механічної взаємодії ріжучих зерен і металевої зв'язки алмазного круга з оброб-

люваним матеріалом, а під час алмазного електроерозійного шліфування – визначає додатковою умовою здійснення процесу електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці.

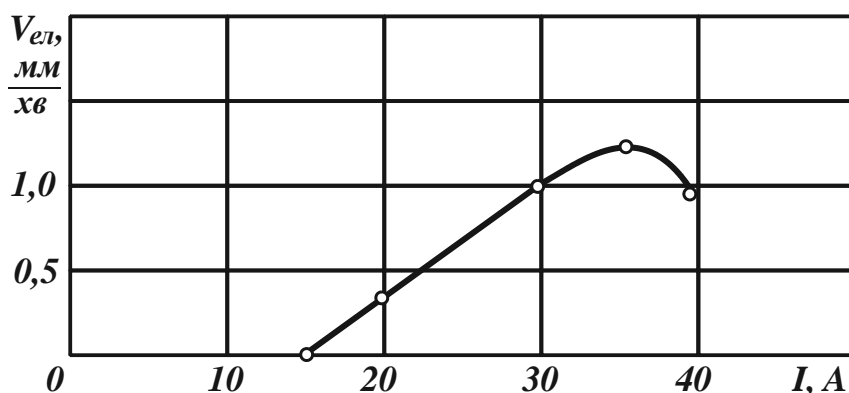


Рисунок 63 – Залежність лінійної швидкості знімання матеріалу правлячого електрода $V_{ел}$ під час електроерозійного правлення алмазного круга від сили електричного струму I

Встановлено, що зі збільшенням сили електричного струму I потужність N процесу електроерозійного правлення алмазного круга змінюється за екстремальною залежністю. У межах $0 < I < 20$ А потужність N збільшується, а при подальшому збільшенні сили електричного струму I , навпаки, зменшується до нуля. Зміна сили електричного струму I забезпечується шляхом зміни товщини міжелектродного зазору між алмазним кругом і правлячим електродом (оброблюваною деталлю) у результаті зміни сили притискання алмазного круга до оброблюваної деталі. Чим більша ця сила, тим менше товщина міжелектродного зазору й більша сила електричного струму I .

За умови $I > 20$ А потужність N процесу електроерозійного правлення алмазного круга зменшується, що приводить до зменшення продуктивності процесу правлення. Отже, зі збільшенням сили притискання алмазного круга до оброблюваної деталі інтенсивність електроерозійного правлення знижується і процес алмазного електроерозійного шліфування мало чим відрізняється від звичайного алмазного шліфування.

Дослідами встановлено, що за умови $I > 35$ А у зоні різання фактично відсутні електричні розряди, тобто відсутній процес електроерозії. Із цього можна зробити висновок, що сила притискання алмазного круга до деталі під час алмазного електроерозійного шліфування повинна змінюватися в певних межах. Враховуючи те, що між силою електричного струму I та силою притискання

алмазного круга до деталі P у процесі алмазного електроерозійного шліфування існує цілком однозначний зв'язок, управління процесом шліфування можна здійснювати шляхом підтримання в часі заданих значень P або I .

У першому випадку необхідно застосовувати пружну схему шліфування з фіксованою силою притискання круга до деталі P . У другому випадку можна застосовувати шліфування з "ручною" подачею, наприклад, на внутрішньошліфувальному верстаті, що застосовується, здійснюючи "вручну" поздовжню подачу алмазного круга, що визначає силу притискання алмазного круга до деталі.

Ця схема шліфування дуже ефективна в умовах короткочасного процесу шліфування, яким є процес шліфування одного кільця, закріпленого у патроні внутрішньошліфувального верстата (знімання припуску величиною 0,1 ... 0,15 мм відбувається на протязі 3 ... 5 с). За цією схемою можна забезпечити плавне торкання алмазного круга з оброблюваною деталлю (без удару), чого важко досягти в умовах частоті установки оброблюваних кілець під час звичайного шліфування за пружною схемою.

Таким чином, на основі проведених експериментальних досліджень визначено технологічні можливості збільшення продуктивності алмазного електроерозійного шліфування.

Експериментальні дослідження продуктивності обробки і зносостійкості алмазного торцевого круга під час шліфування здійснювали на установці, створеній на базі внутрішньошліфувального верстата, за схемою шліфування, описаною вище. Шліфували робочі торцеві поверхні ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту. Розмір лінійного знімання матеріалу з однієї деталі під час проведення досліду становив 2 мм, тобто у ході проведення досліду знімався весь релітовий шар кільця.

Випробовували алмазні круги форми 12A2 45° 150×10×3×32 різних характеристик на металевій зв'язці M1-01 та органічній зв'язці B2-01 виробництва Полтавського алмазного заводу. Алмазні круги на металевій зв'язці M1-01 перед кожним дослідом піддавали електроерозійному правленню з метою усунення торцевого биття та якісного розтину алмазновмісного шару алмазного круга. Електроерозійне правлення здійснювали до тих пір, доки не досягали високої якості поверхні деталі, прошліфованої даним кругом (відсутність слідів вібрацій і досягнення однорідної поверхні).

На рис. 64 наведено графіки, що показують зміну продуктивності обробки Q з часом шліфування τ . Найбільша продуктивність обробки досягалась під час шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці M1-01 з його

безпервним електроерозійним правленням, тобто під час алмазного електроерозійного шліфування. Із часом обробки продуктивність незначно зменшувалася, потім стабілізувалася.

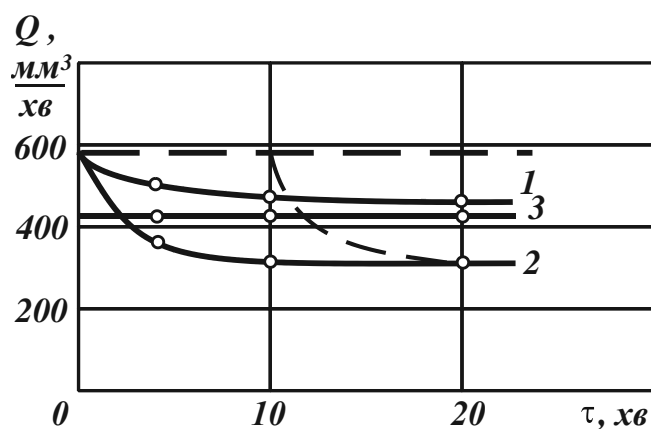


Рисунок 64 – Залежність продуктивності обробки Q від часу τ шліфування алмазними кругами 12A2 45° 150×10×3×32 AC6 100/80 4 на зв'язках:
 1 – M1-01 (з електричним струмом); 2 – M1-01 (без електричного струму);
 3 – B2-01; $V_{кр} = 28$ м/с; $V_{дет} = 30$ м/хв; $P_n = 70$ Н/см²; $I = 30$ А;
 МОР – 3% розчин Na_2NO_3

Під час шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці M1-01 без здійснення електроерозійного правлення (під час шліфування) продуктивність обробки також з часом зменшувалася, потім стабілізувалася. Однак стабілізація відбувалася за меншою продуктивністю обробки. Отже, застосування безпервного електроерозійного правлення алмазного круга дозволяє підвищити продуктивність обробки.

Проведено експериментальні дослідження шліфування з періодичним електроерозійним правленням алмазного круга на металевій зв'язці M1-01. Як впливає з рис. 64, з часом обробки продуктивність зменшується від вихідного максимального значення (після правлення алмазного круга) до значення, що відповідає продуктивності шліфування без його правлення. Залежність $Q - \tau$ підпорядковується періодичній функції з періодом, який визначається часом між правленнями алмазного круга. Встановлено, що тривалість правлення алмазного круга залежить від часу між правленнями. Між вказаними параметрами існує пропорційний зв'язок: чим більше час між правленнями, тим триваліший процес правлення алмазного круга.

Продуктивність шліфування алмазним кругом на органічній зв'язці B2-01 із часом обробки фактично залишається постійною і за рівнем займає

проміжне положення між продуктивністю шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці зі застосуванням безперервного електроерозійного правлення та продуктивністю шліфування тим самим алмазним кругом без застосування електроерозійного правлення.

Необхідно зазначити, що алмазний круг на органічній зв'язці В2-01 після встановлення його на верстат не вимагає механічного правлення, характеризується високою ріжучою здатністю. Про це свідчить висока якість обробленої поверхні – відсутність слідів вібрацій та неоднорідної поверхні.

Дослідами встановлено, що тривалість електроерозійного правлення алмазного круга на металевій зв'язці значно менше, ніж механічного правлення. Торцеве биття алмазного круга величиною 0,1 мм з використанням електроерозійного правлення можна усунути за 5 –10 хвилин, тоді як з використанням механічного правлення – за більший проміжок часу.

Проведено досліди зі шліфування алмазним кругом на більш міцній металевій зв'язці М2-01. Механічним правленням не вдалося усунути торцеве биття цього алмазного круга. Час електроерозійного правлення до усунення торцевого биття величиною 0,15 мм склав близько однієї години. Однак при цьому не вдалося забезпечити якісне правлення. Після шліфування на обробленій поверхні деталі спостерігалися ділянки, що чергуються. Це указує на неоднорідність поверхні й низьку якість обробки, неприйнятну для розглянутої технології обробки релітових кілець.

Таким чином, надзвичайно високі властивості міцності алмазного круга на металевій зв'язці М2-01 в даному випадку реалізувати не вдалося у зв'язку із проблемою його якісного правлення. Можливо, за умови більш тривалого електроерозійного правлення можна забезпечити більш високу ріжучу здатність алмазного круга і досягти необхідної якості обробки, однак це знижує продуктивність у результаті збільшення тривалості правлення. Тому в подальших дослідженнях обмежилися вивченням технології шліфування алмазними кругами на менш міцній металевій зв'язці М1-01 та органічній зв'язці М2-01, які забезпечували стабільне протікання процесу шліфування.

На рис. 65 показано характер зміни продуктивності обробки Q залежно від зернистості алмазного круга.

Зі збільшенням зернистості продуктивність обробки безперервно збільшується, що є важливим чинником інтенсифікації процесу шліфування. Продуктивність обробки алмазним кругом на органічній зв'язці М2-01 більше продуктивності шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці (без застосування електроерозійного правлення) і менше продуктивності алмазного

електроерозійного шліфування (крива 1 на рис. 65) у всьому досліджуваному діапазоні.

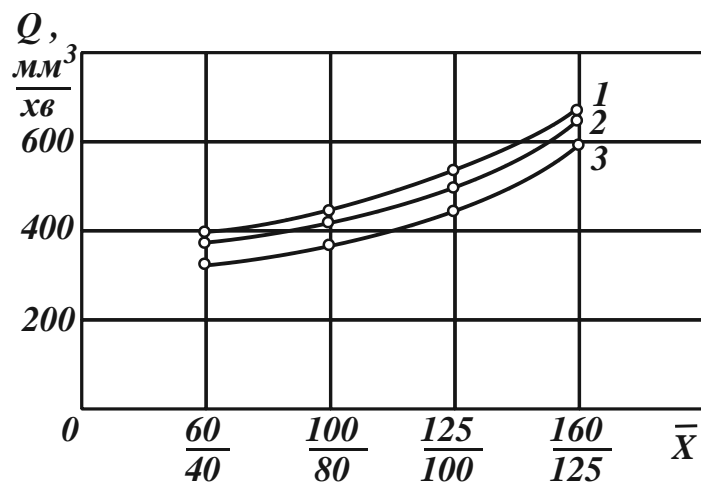


Рисунок 65 – Залежність продуктивності обробки Q від зернистості \bar{X}

алмазних кругів 12A2 45° 150×10×3×32 AC6 4 на зв'язках:

1 – M1-01 (з електричним струмом); 2 – B2-01; 3 – M1-01 (без електричного струму); $V_{кр} = 28$ м/с; $V_{дет} = 30$ м/хв; $P_H = 70$ Н/см²; $I = 30$ А; $\tau = 4$ хв;

МОР – 3% розчин Na_2NO_3

Для обґрунтування оптимальних умов обробки проведено оцінювання зносостійкості алмазних кругів. На рис. 66 показано кількість кілець, які прошліфовано одним алмазним кругом до його повного зношування під час знімання припуску величиною 0,15 мм.

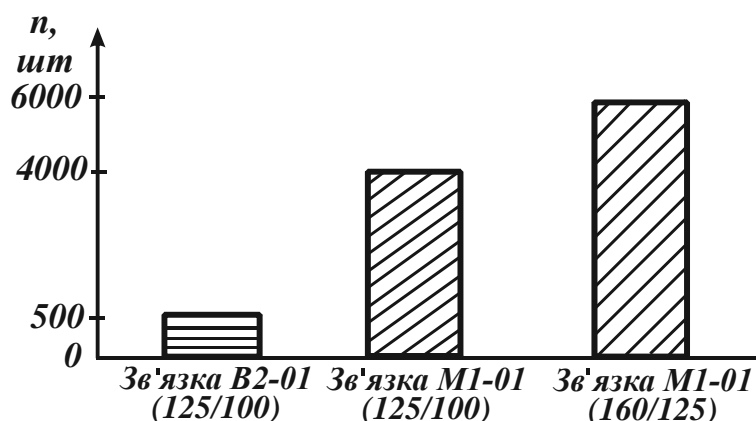


Рисунок 66 – Вплив типу зв'язки алмазного круга 12A2 45° 150×10×3×32 AC6 4

на кількість оброблених кілець до повного зношування алмазного круга:

$V_{кр} = 28$ м/с; $V_{дет} = 30$ м/хв; $P_H = 70$ Н/см²; МОР – 3% розчин Na_2NO_3

Як видно, зносостійкість алмазного круга на металевій зв'язці М1-01 майже на порядок більше за зносостійкість алмазного круга на органічній зв'язці В2-01. Зі збільшенням зернистості алмазного круга на металевій зв'язці його зносостійкість збільшується. Цим доведено ефективність застосування крупнозернистих алмазних кругів, які, поряд зі збільшенням продуктивності обробки, забезпечують зменшення зношування.

Дослідження якості обробки в умовах торцевого алмазного шліфування здійснювали на основі визначення та аналізу параметра шорсткості обробленої поверхні R_a .

Як відомо, із усіх характеристик алмазного круга найбільше впливає на параметр шорсткості обробленої поверхні R_a зернистість круга. У зв'язку з цим проведено серію експериментів щодо встановлення зв'язку шорсткості обробленої поверхні із зернистістю алмазного круга. Виходячи із рис. 67, зі збільшенням зернистості круга у межах 60/40 ... 200/160, параметр шорсткості обробленої поверхні R_a безперервно збільшується.

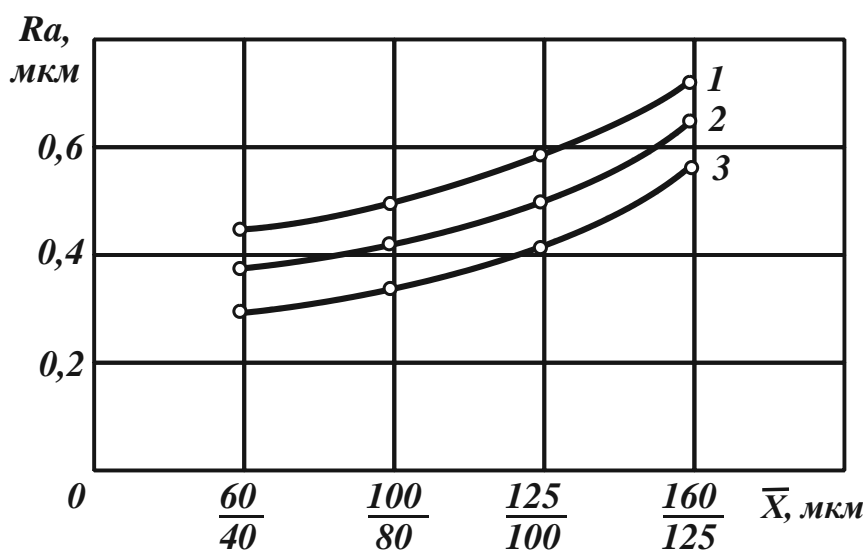


Рисунок 67 – Залежність параметра шорсткості обробленої поверхні R_a від зернистості \bar{X} алмазних кругів 12A2 45° 150×10×3×32 AC6 4 на зв'язках: 1 – М1-01 (з електричним струмом); 2 – М1-01 (без електричного струму); 3 – В2-01; $V_{кр} = 28$ м/с; $V_{дет} = 30$ м/хв; $P_n = 70$ Н/см²; $I = 30$ А; $\tau = 4$ хв; МОР – 3% розчин Na_2NO_3

Найбільші значення параметра R_a досягаються під час шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці М1-01 із його безперервним правленням. У цьому випадку забезпечується найбільше виступання алмазних зерен

над рівнем зв'язки алмазного круга. Із одного боку це створює умови підвищення продуктивності обробки завдяки більш глибокого впровадження ріжучих зерен в оброблюваний матеріал. Із іншого боку, це приводить до збільшення глибин рисок-подряпин на обробленій поверхні та, відповідно, до збільшення параметра R_a . Ця закономірність справедлива, якщо порівнювати залежність 1 (рис. 67) із залежностями 2 і 3. Якщо порівнювати залежності 2 і 3 між собою, то дане пояснення не є правильним.

Наприклад, алмазний круг на органічній зв'язці В2-01, виходячи з рис. 65, забезпечує більш високу продуктивність обробки порівняно з алмазним кругом на металевій зв'язці М1-01 під час шліфуванні без застосування безперервного електроерозійного правлення. Очевидно, після обробки цим кругом має бути і більша висота мікронерівностей на обробленій поверхні. Однак, навпаки, більшу висоту мікронерівностей забезпечує алмазний круг на металевій зв'язці. Отже, у цьому випадку чинник "гостроти" зерен та висоти виступання їх над рівнем зв'язки круга не є визначальним.

Існує інший, важливіший чинник, що визначає аномальну закономірність. Органічна зв'язка допускає "утопання" в неї алмазних зерен під навантаженням у процесі шліфування. Різновисотне виступання зерен над рівнем зв'язки круга збільшує кількість одночасно працюючих зерен і зменшує глибини впровадження зерен в оброблюваний матеріал. Отже, зменшується параметр шорсткості обробки R_a , а завдяки збільшенню кількості зерен, що одночасно працюють, – збільшується продуктивність обробки. У даному випадку із двох протилежно діючих чинників – кількості одночасно працюючих зерен та глибин впровадження ріжучих зерен у оброблюваний матеріал – визначальним є перший, який не дозволяє зменшити продуктивність обробки у результаті явного зменшення глибин впровадження ріжучих зерен у оброблюваний матеріал та, відповідно, зменшення параметра шорсткості обробленої поверхні R_a .

Причому, цей чинник настільки значний, що нівелює ефект, створюваний під час шліфування алмазним кругом на металевій зв'язці, який пов'язаний із затупленням зерен і зменшенням глибин їх впровадження в оброблюваний матеріал та параметра шорсткості обробленої поверхні R_a .

Таким чином, алмазні круги на органічній зв'язці М2-01 мають важливу властивість, пов'язану із "утопанням" зерен у зв'язку, що створює ефект обробки, який виражається у підвищенні продуктивності обробки та зменшенні параметра шорсткості обробленої поверхні R_a [32].

Структура композиції "твердий сплав "Реліт" – мідь" – це вольфрамовий каркас, пори якого заповнено міддю (рис. 68). Мідь і вольфрам фактично не розчиняються один в одному ні в рідкому, ні в твердому стані. Тверді сплави на основі WC мають просту кристалічну решітку, яка не розпадається під час нагрівання й відрізняється високою міцністю. Особливістю даного сплаву є те, що розмір зерна WC дорівнює 0,2 мкм і вище, що утрудняє процес шліфування.



Рисунок 68 – Мікроструктура композиції "твердий сплав "Реліт" – мідь"

Для визначення фазової сполуки проводилися рентгенівські зйомки на дифрактометрі Дрон-2,0 у випромінюванні хромового анода обробленої поверхні й поверхні на глибині 5 мкм прошліфованої деталі (кільця). Умови шліфування відповідали наведеним на рис. 66 умовам для алмазного круга зернистістю 125/100 АС6 на металевій зв'язці М1-01. Дифрактограми записувалися автоматично під час безперервного обертання деталі й лічильника. На дифрактограмах досліджуваних поверхонь виявляються лінії тільки WC і Cu. Лінії досить сильні й ідентифікуються впевнено. Інтенсивність дифракційних ліній обробленої поверхні менше, що пояснюється різною чистотою поверхні.

Встановлено, що мікротвердість H деталі із навантаженням 100 г дорівнює 12268 МПа, а на глибині 5 мкм від обробленої поверхні деталі $H = 10623$ МПа. Залишкове орієнтоване напруження σ в деталі визначали рентгенографічним методом багаторазових похилих зйомок (« $\sin^2 \psi$ -метод») на дифрактометрі Дрон-1 у випромінюваннях хромового анода. Реєстрацію профілів дифракційних ліній здійснювали за точками – способом набору заданого

числа імпульсів. Розрахунок напруження у композиційному матеріалі показав наявність напруження розтягування, у карбідній фазі $\sigma = +244,3$ МПа; у міді напруження дорівнюють нулю.

Чистову обробку торцевих поверхонь кілець виконували за схемою притирання вільним абразивом (з використанням дрібнозернистих алмазних порошоків). Для оцінки можливостей цієї схеми розроблено методику розрахунку умов обробки, яка забезпечує найменшу шорсткість поверхні, виходячи з умови реалізації граничних значень коефіцієнта $\alpha = a_z / \rho$ (де a_z – товщина зрізу; ρ – радіус округлення різальної кромки зерна), за якою процес різання переходить у пружно-пластичне деформування металу, тобто виходячи з енергетичного критерію. Залежність для розрахунку параметра шорсткості оброблюваної поверхні R_a містить зернистість алмазного порошку \bar{X} та коефіцієнт α :

$$R_a = 0,1 \cdot \alpha \cdot \bar{X}. \quad (53)$$

На рис. 69 показано дві області, отримані за залежністю (53) з використанням експериментальних даних проф. Богомоллова М. І. $\alpha = a_z / \rho = 0,04 - 0,08$ (область 1) і проф. Крагельського І. В. $\alpha = 0,14 - 0,17$ (область 2).

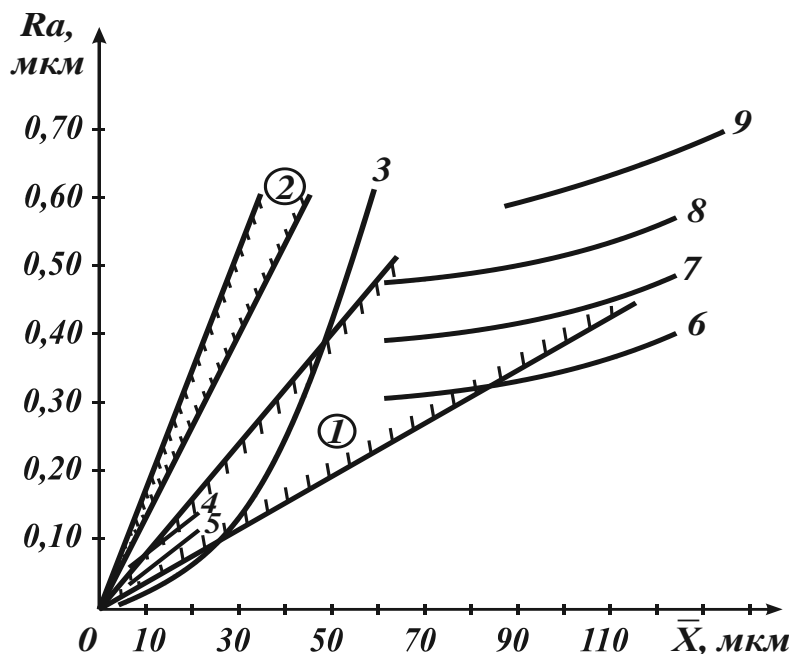


Рисунок 69 – Залежність параметра шорсткості R_a від зернистості \bar{X}

Експериментальні значення параметра R_a , отримані під час притирання релітового шару кілець, потрапляють в область 1 (криві 4 і 5), тобто притирання здійснюється, за суттю, із граничними значеннями коефіцієнта α . У цю ж область потрапляють значення параметра R_a , отримані під час торцевого алмазно-

го шліфування (криві 6; 7; 8, рис. 69), а також узяті з науково-технічної літератури за тематик алмазного доведення (крива 3) та алмазного шліфування (крива 9). Це дозволило за залежністю (53) розрахувати оптимальну зернистість, приймаючи $\alpha = 0,04 - 0,08$. Теоретично й експериментально встановлено, що застосування алмазного порошку АСМ 7/5 – 5/3 на операції притирання забезпечує значення параметра $R_a < 0,1$ мкм і неплосинність обробки – менш як 0,9 мкм.

На основі отриманих результатів досліджень розроблено промислову технологію високоякісної алмазно-абразивної обробки торцевих поверхонь ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту, що дозволяє збільшити міжремонтний період роботи електробурів в 3 – 4 рази й здійснювати ефективно буріння з гідромоторними долотами з перепадом тиску 10 МПа. Розроблена технологія дозволяє покращити умови праці та культуру виробництва, забезпечити безпеку життєдіяльності шліфувальників під час роботи.

Запитання для самостійного контролю

1. За рахунок яких фізичних чинників можна досягти підвищення ефективності обробки високоміцних покриттів за умови екологічної безпеки виробничого середовища.
2. Як пов'язана продуктивність обробки із силою електричного струму та екологією виробництва під час алмазного електроерозійного шліфування?
3. Чим відрізняється імпульсний електричний струм від змінного та постійного електричного струму?
4. У чому полягає сутність глибинного алмазного шліфування та можливість його застосування для підвищення умов праці шліфувальника?
5. Назвіть напрями ефективного застосування алмазного електроерозійного шліфування.
6. Які переваги має шліфування алмазними кругами на металевих зв'язках порівняно із шліфуванням алмазними кругами на органічних зв'язках?
7. Як впливають електричні параметри алмазного електроерозійного шліфування на якість обробки виробів?
8. Назвіть технічні характеристики генератора імпульсного електричного струму.
9. Яку мастильно-охолоджувальну рідину застосовують під час алмазного електроерозійного шліфування?

Література: [1; 5; 6; 27 – 29; 32; 33; 43; 52; 53]

Розділ 5. Сучасні екологічно безпечні технології видавничо-поліграфічної галузі

5.1. Цифровий друк та перспективи його розвитку

Сьогодні у видавничо-поліграфічній галузі України спостерігається процес технічного переоснащення підприємств. Це пов'язано з бурхливим розвитком техніки та технології, з високими вимогами до якості друкованої продукції, збільшенням обсягів випуску друкованої реклами та пакувальних засобів, появою великої кількості невеликих підприємств, орієнтованих як на певні види продукції, так і на універсальні. Розвиток комп'ютерної техніки дозволив комп'ютеризувати спочатку набірні процеси, а потім практично всі додрукарські процеси [3; 22; 54].

Початок нового тисячоліття у поліграфії ознаменував великі зміни у всіх способах друку. Сучасний спосіб друку – це високо механізований та автоматизований спосіб друку, в якому більшість технологічних операцій виконуються практично без втручання людини або за її мінімальної участі.

Стрімко розвивається цифровий друк – один із найпопулярніших сучасних методів друку в поліграфії. За допомогою цього методу друку можна друкувати документи безпосередньо з комп'ютера, без додаткових процесів додрукарської підготовки, які дуже трудомісткі і характеризуються застосуванням великої кількості хімічних речовин, особливо традиційних фотохімікатів, які екологічно шкідливі для здоров'я робітників. Це суттєво економить час на процес виробництва друкованої продукції, а також дозволяє суттєво покращити умови праці робітників із точки зору охорони праці та збереження їх здоров'я, підвищити культуру, екологію та ергономіку виробництва, тобто забезпечити безпеку життєдіяльності робітників.

Цифровий друк – це технологія отримання відбитків із використанням змінної друкарської форми. Змінами у друкарській машині на кожному етапі управляє комп'ютер видавничої системи. Друк малих тиражів методом цифрового друку є дуже вигідним і рентабельним завдяки економії на додрукарських коштовних операціях. При цьому вартість одного відбитку на цифровому апараті не залежить від тиражу.

Цифровий друк, за визначенням швейцарського Союзу розвитку наукових досліджень у поліграфічній промисловості Ugra, є перенесенням по точках тексту та ілюстрацій з цифрової пам'яті ЕОМ на друкований матеріал. Це

визначення є дуже ємним і містить дві важливі характеристики цифрового друку. По-перше, дані щодо зображення повинні бути представлені в цифровому вигляді і доступні для цифрового процесу з відповідною швидкістю. По-друге, суттєві вимоги до технічних засобів, що застосовуються у цифровому друці: цифрові друкарські машини повинні забезпечувати безперервне перенесення даних зі швидкістю 500 Мбіт/с і більше.

Чому ж цифровий друк і чому стає все більш актуальним? Насамперед це обумовлено глобальними змінами поліграфічного ринку. Реклама стає дедалі вузьконаправленою, що є однією з головних причин явно вираженої тенденції зниження тиражів. Однак і традиційна друкарська техніка стає дедалі витонченішою, відповідаючи сучасним потребам отримання якіснішої продукції – з великою кількістю фарб, лакуванням, вирубуванням тощо. У відповідь на часту зміну малотиражних замовлень конструктори розробляють спеціальні модулі, що автоматизують управління подачею фарби, зміну друкарських форм і вбудоване експонування друкарських форм, що, безсумнівно, скорочує час переналагодження машин під час переходу до нового тиражу, але все ж таки не може задовольнити потреби, тенденцією виробництва індивідуалізованої друкарської продукції. Індивідуалізація передбачає виробництво друкарської продукції, що несе інформацію, яка орієнтована на цільові групи та передбачає наявність усередині одного замовлення змінних елементів. Прикладом можуть бути прайс-листи чи рекламні проспекти, у яких вказуються різні товари та ціни різних груп одержувачів. Традиційній друкарській техніці таке завдання не під силу, якщо вона не обладнана спеціальною секцією для друкування змінної інформації.

Найпростішим прикладом може бути нумератор, а найбільш ефективний варіант може включати систему оперативного струминного друку. Але подібне друкування імені, адреси та звернення до адресата вже не задовольняє вимогливого рекламодавців, які бажають отримати повністю персоналізований друк, коли жоден із екземплярів замовлення не буде ідентичним іншому. Таким чином, оптимізувати спрямованість інформації відповідно до індивідуального профілю інтересів споживача можна лише із застосуванням цифрового друку.

Цифровий друк також часто визначають як "спосіб, у якому друкування може виконуватися безпосередньо з цифрового масиву даних додрукарських процесів і немає необхідності в окремому виготовленні друкарських форм поза друкарською машиною". При цьому з'являється можливість економічного друкування тиражів, починаючи від одного екземпляра.

Традиційно під час виведення інформації на папір (тобто під час друку) користуються ударним контактним способом. Але з появою цифрового друку зображення формується на проміжному носії – барабані, який вкритий шаром напівпровідника. Записане на ньому приховане (невидиме) зображення, яке обумовлене зміною заряду окремих ділянок, покривається спеціальним барвником (тонером) і потім переноситься на папір. У цьому випадку інформація з носія на папір переноситься безударно, а тому такий друк називається безконтактним.

Виходячи з цього, технології цифрового друку часто характеризують терміном "безконтактний друк". У всіх подібних машин є одна спільна риса: у них генерується нова друкарська форма для кожного екземпляру і таким чином зазначені системи друкують змінні дані. Ці технології часто називають також "динамічним" цифровим друком, оскільки вони конкурентоспроможні тільки під час друку відносно невеликих тиражів, на відміну від "статичного" цифрового друку або традиційних друкарських машин. Створення нової друкарської форми займає деякий час, навіть у тому випадку, коли сторінки готуються до виведення під час друку.

Є безліч фізичних ефектів для реалізації безконтактних способів друку: електрофотографія та струминний друк, іонографія, магнітографія, термографія, фотографія. Постійно ведуться роботи з пошуку та розробки нових фізичних ефектів для створення нових способів безконтактного друку. У цьому полягає перспективність розвитку цього виду друку.

У електрофотографії застосовують друкарську форму. Зображення формується на барабані за допомогою електростатичних сил. Для виявлення зображення використовують відповідний тонер. Далі під впливом електростатичних сил зображення з описаного вище тонера перекладається на поверхню, що запечатується. Після цього воно закріплюється, а також фіксується при високому тиску і високій температурі. Однак, цей метод безконтактного друку у сфері поліграфії вважається достатньо старим.

Під час струминного друку фарба переноситься із системи сопел безпосередньо на матеріал, що запечатується. Обладнання, що працює на основі струминного друку з певним потоком чорнила, розташовується у відділі додрукарських процесів друкарні. Саме на такому пристрої можна надрукувати аркуш, щоб оцінити його вигляд перед виведенням друкованої форми. Такі пристрої досить широко представлені на ринку.

У іонографії зарядове зображення носія формується безпосередньо зарядженими частинками від іонного джерела.

Магнітографія заснована на отриманні зображення на поверхні носія, покритого магнітодіелектриком.

Термографія заснована на термічному ефекті (термопереносі) та застосуванні спеціальної барвної стрічки. Цей спосіб друку дозволяє отримувати відбитки без дотику форми з папером.

Фотографія використовує спеціальний світлочутливий папір.

У безконтактних способах друку зображення виходить шляхом застосування певних барвників. Наприклад, в електрофотографії використовують сухі та рідкі тонери. У струминному друці – рідкі фарби низької в'язкості, а також термофарби. У термографії фарби закріплені на носії.

У безконтактних методах відсутня друкарська форма, яка застосовується у традиційних методах. Тому від відбитку до відбитку інформація може змінюватися. Це дозволяє виконувати персоналізовані видання (друк на вимогу замовника). Продуктивність безконтактних способів нижче, ніж продуктивність друку з постійною друкарською формою. Сфера застосування систем з безконтактною технологією "Комп'ютер – друк" – це малі тиражі, пробні відбитки тощо.

Майже всі методи друку мають одну основну мету: перенести інформацію на матеріал (наприклад, папір – листовий або рулонний). Для виконання цього завдання необхідна додрукарська фаза цілеспрямованої підготовки до друку, так само як і післядрукарська фаза, що завершує виробництво друкарської продукції.

Слід зазначити, що у виконанні навіть невеликого тиражу (наприклад, в 100 одиниць продукції) якість відбитків, отриманих за безконтактним способом може бути нижчою, ніж за традиційним способом. Це пов'язано з нестійкістю електрофізичних процесів під час формування кожного відбитку. Тому в електрофотографії частіше виникають невідповідності одержуваного зображення та оригіналу, тобто ці технології доцільно застосовувати для виготовлення малих тиражів із середніми вимогами до якості. Для виготовлення великих тиражів із забезпеченням високої якості та низьких витрат, звичайно, необхідно застосовувати традиційні технології з виготовленням друкарської форми. Як бачимо, дві принципово різні технології мають свої сфери застосування та доповнюють одна одну.

Тому поліграфію на сучасному ринку можна поділити на 3 групи:

1. Традиційна (аналогова) поліграфія листового та рулонного друку. Вона використовує всі класичні способи друку (високий, офсетний, глибокий, тампонний друк, флексографію тощо). За обсягом друкованої продукції вона

посідає перше місце. Це великі тиражі книго-журнальних видань, упаковки та друковані реклами одно- та багатобарвного друку.

Технології, які використовують у цій групі, мають одну особливість: всі процеси, включаючи виготовлення друкованих форм незалежно від методу друку, виготовляються окремо від друкарської машини і з нею не пов'язані. Перевагою традиційної поліграфії є висока якість друкованої продукції та зниження собівартості одиниці виробленої продукції за умови збільшення тиражу видання.

2. Цифрова поліграфія. Тут усі процеси – від створення оригіналу чи макету видання до готового видання – пов'язані між собою як технологічно, так і системно. Друкована форма виготовляється безпосередньо у друкарській машині до друку тиражу безпосередньо у процесі друку тиражу. На відміну від технології інших груп, в умовах цифрової поліграфії окремі екземпляри тиражу можуть за змістом відрізнитись один від одного. Найбільш поширені способи друку – електрографія, офсетний друк. У сучасному динамічному видавничому світі термін виходу видання на ринок є визначальним чинником. Оснащена за останнім словом техніки цифрова поліграфія дозволяє редагувати, коригувати друк у дуже стислий термін. Цифрові електронні системи, які включають ефективні високошвидкісні друкарські пристрої з цифровим керуванням (які працюють за технологією цифрового друку), дозволяють випускати адресні видання, орієнтовані на конкретну аудиторію, швидко та якісно. Сильними сторонами цифрової поліграфії є оперативність та високий рівень персоналізації окремих екземплярів тиражу. Розвиток цифрової поліграфії стимулює світова комп'ютерна мережа – Інтернет.

3. Оперативна поліграфія. Її особливістю є оперативне тиражування вже готового видання чи готового оригінал-макету, незалежно від місця виготовлення тиражу. Характерний спосіб друку – електрографія.

Друкарня майбутнього буде виглядати так. Вона перетвориться на видавничий дім, де поєднуюватимуться друкарські та електронні засоби інформації. Під одним дахом уживатимуться різні машини: офсетні, цифрові, електрофотографічні, флексографічні тощо.

Планується подальший розвиток комбінації друкарських та електронних засобів інформації. Виробництво буде засноване на цифровому взаємопроникненні засобів виробництва та технологічного процесу. Ведеться і вестиметься велика робота зі стандартизації, яка є основою зниження витрат та підвищення якості друкованої продукції.

Основними тенденціями розвитку друкарської продукції є:

1. Виготовлення упаковок та етикеток, рекламно-комерційного друку, газет, каталогів, ілюстрованих журналів та книг.

2. Зміни у традиційному друку: "друк без людини" – новий тип поліграфічного підприємства з мінімальною кількістю персоналу – на основі автоматизації та комп'ютеризації технологічних процесів (наскрізне цифрове управління – оригінали повинні надходити в цифровій формі).

3. Застосування нових фарб та підвищення мальовничості видань. Видання малотиражної багатобарвної продукції.

4. Застосування нових комп'ютерних цифрових технологій у додрукарській підготовці: "Комп'ютер – фотоформа"; "Комп'ютер – друкарська машина". Об'єднання у "цифропотоці" додрукарської та післядрукарської обробки всіх етапів виробничого процесу.

5. Дизайн друкованих видань. Створення нових засобів інформації.

Ринок друкарських засобів інформації, як і раніше, залишиться привабливим, оскільки людство не може відмовитися від книг, упаковок та реклами. Водночас отримують розвиток нові засоби інформації:

1. Виготовлення мультимедійних продуктів (CD-ROM, сайти в Інтернеті, друковані медіа разом із електронними засобами).

2. Застосування Інтернету як нової форми збуту продукції. Покупець може цілодобово здійснювати вибір потрібної продукції з великого асортименту товарів. Інтернет стимулює придбання комп'ютерів, через нього здійснюються угоди, торгові операції.

3. Поряд з Інтернетом важливу роль займатиме CD-ROM. На ньому можна зберігати у великій кількості інформацію, ілюстрації, відеосюжети. Однак Інтернет має більші можливості, для чого потрібна широка географічна (світова) мережа.

4. Значним попитом зараз користуються гібридні форми передачі, тобто комбінації різних носіїв інформації, наприклад, журнал + CD-ROM; Інтернет + CD-ROM або Інтернет + друк. Як бачимо, мультимедійна продукція також змінюється і надалі набуватиме нових форм.

Розглянемо переваги та тенденції розвитку цифрового друку.

Друк змінних даних – це основна перевага цифрового друку, оскільки максимум, що можуть забезпечити традиційні технології друку, це – нумератори.

Оперативність – за малих тиражів цифровий друк також явно випереджає традиційні технології друку. До того ж, не витрачається час на фотовиведення та підготовку друкарських форм, на приладку та сушіння. Цифро-

вий друк значно випереджає офсетний друк під час здійснення переходу з тиражу на тираж.

Простота експлуатації – працювати з "цифрою" простіше, і людину за такою машиною вірніше назвати не друкарем, а оператором, оскільки практично всі основні налаштування автоматизовані. Однак, складність обладнання впливає на його надійність і термін служби, який у цифрових машин набагато нижче, ніж у механічного офсету.

Гарантований термін виконання замовлення – як правило, протягом робочого дня, а часто – і за кілька годин. Для офсету таке можна досягти лише як виняток: для особливого замовника, з фінансовими втратами, з принципу тощо. У постійну практику таке жоден розсудливий директор запроваджувати не стане, та це й неможливо.

Собівартість друку – під час цифрового друку собівартість відбитка практично залежить від тиражу. Великий тираж директору цифрової друкарні вигідніше віддати на офсет. Під час офсетного друку собівартість відбитка зменшується зі зростанням тиражу. Собівартість цифрового та офсетного друку на якісному обладнанні порівнянна під час виготовлення тиражу в 1 тисячу екземплярів.

Продуктивність – перевага офсетного методу в швидкості друку позначається тільки за великих тиражів. У разі малих тиражів переважає оперативність, яка властива цифрового друку.

Якість друку – у цьому відношенні офсет забезпечує кращу якість відбитків, але тиражі, надруковані на нових моделях цифрових друкарських машин і копіях, багатьом замовникам суб'єктивно здаються яскравішими.

Популярність технології – якщо від офсету замовник уже давно знає, чого очікувати, то можливості та особливості цифрового друку необхідно донести до потенційного клієнта.

Стабільність результатів та перспективи технології – коли всі параметри друкувальних процесів будуть враховуватися в комп'ютерних програмах обробки та виведенні даних, тобто коли можна буде в однакових умовах забезпечити відтворюваний результат. Це призведе до змін у професії друкаря, але розуміння принципів взаємодії друкарської форми, води, фарби та паперу не тільки не втратить своєї значущості, а й набуде іншої якості – "експертних" знань. Більш цінним стане досвід обробки електронних даних. Друк буде включати підготовку даних (сьогодні – це додрукарська обробка), управління потоками робіт, контроль мережевих ресурсів та частину післядрукарської обробки.

Переорієнтація сучасного поліграфічного виробництва з продукту на послугу найбільше проявляється саме в цифровому друці, який дозволив, насамперед, виключити з технологічного ланцюжка додрукарські процеси, що виявилися надмірними, і перейти від фотонабору до технологій цифрового друку. Поряд із комп'ютерним набором, виникла комп'ютерна графіка – і, нарешті, все ширше поширюється цифровий друк особливо для малотиражної багатобарвної та комерційної продукції, у які мають бути внесені зміни під час виготовлення тиражу.

Таким чином можна сформулювати основні особливості цифрового друку: виключено процеси виготовлення фотоформ та друкарських форм, друк тиражу відбувається безпосередньо з комп'ютера та здійснюється на кольорових принтерах, копіювальних апаратах та цифрових друкарських машинах. В основі такої машини лежить принцип, як і у лазерного принтера – створення прихованого електростатичного зображення з подальшим його перенесенням на матеріал, на якому здійснюється друк. Тут немає постійної друкарської форми. Функцію змінної форми виконує фотонапівпровідниковий шар, на якому після кожного оберту барабана заново створюються пробільні та друкарські елементи (приховане електростатичне зображення). Оскільки необхідно передавати щоразу інформацію – це знижує продуктивність праці: швидкість друку залежить від часу перенесення зображення на "друкарську форму". Зображення може бути перенесене на матеріал, на якому здійснюється друк, або безпосередньо з "формного циліндра", або через проміжний носій – додатковий офсетний циліндр (позитивно заряджений нагрітий металевий барабан, покритий спеціальним електропровідним офсетним покриттям).

Особливості цифрових машин: економічно вигідний друк малих тиражів, персоналізація; можливість друку на різних матеріалах (сортах паперу, різних плівках); можливість переходу від друку однієї роботи до іншої без зупинки машини та практично без відходів; не потрібні додаткові пристрої для кольорової проби тощо. Її сильною стороною є оперативність, тому їй належить майбутнє.

Сьогодні можна констатувати, що цифровий друк затребуваний поліграфією, він успішно освоює ринок оперативного друку. Тепер черга за закріпленням позицій, а в перспективі – поступовим просуванням на ринок середніх тиражів. Тому необхідні зниження цін на витратні матеріали, підвищення надійності та продуктивності обладнання, покращення якості друку.

Виходячи з цього, проведемо порівняння цифрового друку із традиційними методами друку: плоским (офсетним), високим, глибоким та трафаретним.

5.2. Сутність та перспективи розвитку традиційних методів друку

Плоский (офсетний) друк – найпоширеніший метод друку. Тут друкарські та пробільні елементи знаходяться в одній площині. Друкуючі елементи сприймають фарбу, а пробільні відштовхують її.

Під час офсетного друку фарба з друкарської форми переноситься спочатку на еластичний проміжний носій – гумотканеве полотно, потім – на матеріал, на якому здійснюється друк (рис. 69).



Рисунок 69 – Плоский (офсетний) друк

Застосовують два методи відштовхування фарби:

- традиційний офсет – форма зволожується розчином. Плівка зволожуючого розчину перешкоджає передачі фарби на пробільні ділянки форми;
- сухий офсет (без зволоження).

При цьому повинні бути два матеріалопотоки в одній традиційній друкарській машині: для подачі фарби та для подачі зволожуючого розчину.

Переваги офсету:

1. Головна перевага – найвища якість друку та простота його отримання.
2. Різниця у вартості офсетних форм порівняно з фотополімерними формами флексографського та високого друку просто величезна (відношення 1:7).
3. Відпадає необхідність у дорогій клейкій стрічці, яка застосовується для монтажу фотополімерів на формних циліндрах.

4. Час виготовлення металевих офсетних форм (15 – 20 хв) значно менше поширених методів виготовлення фотополімерних форм.

5. Завдяки відсутності прямого контакту друкарської форми з матеріалом, офсетний друк дозволяє працювати за деякими матеріалами з грубою поверхнею. Фарба передається на матеріал з офсетного полотна, тому ризик засмічення форми при цьому не такий великий, як у різновидах високого друку.

6. Для офсетного друку характерний великий вибір різноманітних витратних матеріалів різних виробників. Такого немає жодний з видів друку.

7. У даний час підготовлено багато фахівців з офсетного друку.

8. Останніми роками виникла технологія “сухого” офсету, тобто без використання зволожуючого розчину. Для цього пробільні елементи формного матеріалу покрито спеціальним силіконовим шаром, який відштовхує фарбу. Тому відпадає необхідність використання зволоження, як і у традиційному офсеті. Головною перевагою "сухого" офсету є більш часті та контрастні растрові точки. Але є й значні недоліки у технології. Так, потрібні витратні матеріали, відмінні від звичайних фарб та пластин. Проте їхній випуск ще не налагоджений, все значно дорожче. Тому собівартість продукції, виготовленої на основі технології "сухого" офсету, у 2 – 3 рази вища, ніж за технологією традиційного офсету.

9. Наявність тонкого силіконового шару на формі пред'являє підвищені вимоги до чистоти приміщень та неприпустимості застосування, наприклад, дизайнерських паперів (для виготовлення етикеток).

10. Фарби "сухого" офсету мають знижену в'язкість порівняно зі звичайними офсетними фарбами. Тому потрібно контролювати в'язкість у вузькому діапазоні за допомогою підтримки температури у цеху, оскільки відхилення температури на 2 – 3 градуси впливає на в'язкість фарби. Ряд машин "сухого" офсету оснащують системами водяного охолодження циліндрів барвистого апарату. Із цієї причини "сухий" офсет не отримав широкого застосування, хоча закладене в ньому технічне рішення є дуже цікавим. Він і близько не може зрівнятися з традиційним офсетом, який за популярністю у друкарні залишається "номером один" через низьку ціну, високу якість за чіткістю та перенесенням кольорів.

11. Перспективи розвитку офсету:

- значна автоматизація процесу друку та зниження часу на обслуговування машин;
- створення машин зі змінним форматом друку (оскільки сталість друкованого формату – головний недолік офсетного друку);

- у найближчому майбутньому очікується повне усунення меж між звичайними та цифровими машинами;

- все ж таки на зміну офсету із зволоженням прийде "сухий" офсет;
- офсет ідеально гармоніюватиме з трафаретним та цифровим друками, а також зі способами облагороджування друкованої продукції (тиснення, друк з металевими фарбами, створення голограм тощо).

Домінуюча роль офсетного друку призвела до бурхливого розвитку офсетних друкарських машин. Тому розглянемо їхню класифікацію:

1) за форматом: малоформатні (до 500×700 мм); середнього формату (500×700 мм); повного формату (до 740×1050 мм); великоформатні (більше 740×1050 мм);

2) з подачі аркуша в друкарський апарат (широкою або вузькою стороною), широкою стороною – більш високоякісні машини;

3) за барвистістю (однobarвні, двobarвні та багатobarвні);

4) за призначенням (друк на папері та картоні; на будь-якому картоні; на жерсті; друк цінних паперів). Машини для друку на папері та картоні – основні;

5) за можливостями друку (односторонній та двосторонній багатobarвний друк);

6) за продуктивністю – з низькою швидкістю друку (до 7000 аркушів/год); високошвидкісні (від 15000 аркушів/год і більше) та із середньою швидкістю;

7) за вагою машини: важкого та легкого типу;

8) за структурою друкарського апарату: секційної (трициліндрової) побудови; сателітної (двobarвної) і планетарної (п'яти-, семи- і дев'ятициліндрової барвної) побудови;

9) за якістю друкування: оперативний однobarвний друк; якісний однobarвний друк та багатobarвний друк;

10) за структурою побудови друкарської машини: лінійна, ярусна та комбінована побудова;

11) за рівнем автоматизації: примітивні, посередні, традиційні, автоматизовані, високоавтоматизовані із цифровим програмним управлінням;

12) за ресурсом та надійністю роботи: з обмеженими ресурсами, що не підлягають відновленню, високонадійні та підлягають відновленню;

13) за можливістю агрегування машини: робота в лінії з лаковою секцією або модулем, сушильним модулем, лінії з висічною секцією тощо.

Під час вибору машини слід знати правило: немає поганих машин, а є машини, що застосовуються не за призначенням.

Основний вузол машини – друкарський апарат, який включає барвисті та зволожуючі системи, друкарський (для створення тиску), формний (друкарська форма) та офсетний (гумотканинна пластина) циліндри.

Рулонні друкарські машини порівнянно з листовими друкарськими машинами мають більш високу продуктивність, можливість друку на більш дешевому рулонному матеріалі та тоншому папері. Ці машини краще вбудовувати у загальну лінію підготовки друкованого видання. Однак існують їх недоліки – це обмежені можливості щодо зміни формату видання, вони мають меншу оперативність у роботі, неекономічні під час роботи з малими тиражами. Тому їхнє основне застосування – це великі тиражі газет, журналів, книг.

Поряд із плоским друком (офсетним друком), існують такі основні традиційні методи друку як високий друк (флексографський друк), глибокий друк і трафаретний друк (безконтактний друк) [24; 45].

1. Високий друк. Тут усі друкуючі елементи розташовані вище, ніж пробільні. Під час високого друку фарба наноситься на поверхню виступаючих друкарських елементів. При зіткненні з папером фарба переходить на папір, для повного її переходу необхідний тиск. До винаходу друкарських машин для цієї мети використовували прес.

Для відтворення тексту й штрихових зображень, які складаються з окремих штрихів і ліній, виготовити друкарську форму навіть на дошці нескладно, тому що всі друкарські елементи перебувають на одному рівні. На них легко нанести фарбу тампоном або валиком, покласти папір і пригорнути його для переходу фарби. Тому простота друкарського процесу, легкість виготовлення друкарської форми надовго зробили високий спосіб друку домінуючим. Чітке написання букв, рівні штрихи й контури відбитків високого друку дотепер важко досягти іншими способами друку. Однак у високому друці використовували довгий час важкі складальні металеві друкарські форми із сплаву, що містить шкідливий для здоров'я й екологічно небезпечний свинець. Це, разом з характерними недоліками високого друку, привело до різкого зменшення частки високого друку, особливо після появи офсетних форм на алюмінієвій основі. Тому цей спосіб втратив домінуюче положення у випуску більшості видів видавничої продукції, але дотепер використовується для друку однокольорових газет, книг, а також в упакуванні (наприклад, друк самоклеючихся етикеток і гнучкого упакування). Така значна питома вага високого друку обумовлена його універсальними репродукційними можливостями під час відтворення оригіналів всілякого характеру: текстових, ілюстраційних, змішаних, одно- і багатокольорових. Відбитки характеризу-

ються високою чіткістю, різкістю, насиченістю тону й кольору. Позитивна особливість цього способу – стабільність якості зображення у всьому тиражі, що обумовлена відсутністю таких нестабільних процесів, наприклад, як зволоження друкарських форм (у плоскому офсетному друці).

Однак використання важких металевих форм, що містять шкідливий для здоров'я й екологічно небезпечний свинець, привело до пошуку нових способів друкування. Зараз за допомогою високого друку друкують лише продукцію, вимоги до якості якої невисокі: кишенькові телефонні довідники або окремі види щоденних газет.

Існують 3 друкарські системи високого друку: типографський друк, флексографський друк, типоофсетний друк або високий офсет.

а) типографський друк – найстаріший спосіб (окремі рухливі літери для набору – швидке розмноження рукописів та книг). Застосовують три схеми друкарського контакту: площа – площа (друк на тигельних машинах); площа – циліндр (друк на плоскодрукарських машинах (швидкодрукарська машина)); циліндр – циліндр (друк на ротаційних машинах (ротаційний друк)).

Основні недоліки способу друку: висока трудомісткість виготовлення друкарських форм (ручний набір). Все це дозволяє розглядати цей спосіб друку як мало перспективний.

Для ротаційного друку застосовують напівкруглі відлиті металеві друкарські форми (стереотипи) або гнучкі пластини із синтетичних матеріалів (фотополімерні форми).

Для друку ілюстрацій та графіки застосовують різні пластини:

- виготовлені вручну друкарські форми (дерев'яні кліше) – це старий метод;
- металеві кліше, які отримані травленням за допомогою фотомеханіки та електронним гравіюванням;
- фотополімерні кліше, які отримані шляхом фотополімеризації та вимивання шару (отримали найбільше застосування).

б) флексографський друк – це перспективний метод друку упаковок, етикеток, газет. Тут застосовують гнучкі (м'які) друкарські форми – змінюють процес подачі фарб. Завдяки використанню еластичних друкарських форм, виготовлених з фотополімерних матеріалів, а не жорстких друкарських форм, можна наносити флексографічне зображення на нерівні й негладкі поверхні, такі як тканина, картон і різні упаковальні матеріали.

Останнім часом флексографський друк знаходить усе більш широке застосування. Висока швидкість друку на будь-яких рулонних матеріалах, у

тому числі й на матеріалах, що не усмоктують друкарську фарбу, дешеві (на одиницю продукції) друкарські форми з фотополімерів (висока тиражестійкість) і можливість одночасно в одній машині друкувати, лакувати, проводити тиснення й висічку, роблять цей спосіб друку дуже перспективним для етикеточної і упаковальної промисловості, а також для друкування газет.

Особливістю даного способу є можливість установки фрагментарних друкарських форм (друкарських форм, що складаються з окремих фрагментів) на формних циліндрах різного діаметра. Це дає можливість друкувати повторювальні сюжети на полотні рулону з дуже високою швидкістю. Саме тому спосіб флексографського друку широко використовується для друкування шпалер, етикеток, упакувань, газет.

в) типоофсет – тут зображення передається з форми на папір через проміжний носій – обтягнутий гумотканинним полотном циліндр, тобто це, за суттю, офсетний високий друк.

2. Глибокий друк. Тут застосовують друкарські форми із поглибленням друкарських елементів. Пробільні елементи на формі розташовані в одній площині. Спочатку наноситься фарба на всю форму, потім, за допомогою тканини або паперу для зняття фарби (ракель), видаляється фарба з пробільних елементів, вона залишається тільки в поглибленнях. Друкарська форма виготовляється безпосередньо на мідній поверхні формного циліндра.

До основних переваг глибокого друку слід віднести простоту технологічного процесу й високу якість друкарської продукції. Значним недоліком є дорогий і трудомісткий процес підготовки формного циліндра. Спроби замінити монолітний формний циліндр ротаційних друкарських машин швидкоз'ємними гнучкими друкарськими формами не привели до позитивних результатів. Це пов'язано з тим, що гнучкі мідні форми, застосовувані в листових машинах глибокого друку, не розраховані на великі виробничі швидкості. Крім того, внаслідок недостатньої герметичності стиків рідка фарба може затікати під друкарську форму, знижуючи чіткість відбитка.

До глибокого друку відноситься глибокий ракельний друк. У ньому на кожне кольорове зображення використовують комплектний формний циліндр (форма друку), тобто у чотири-барвній машині на кожне замовлення слід замінювати 4 циліндри, тобто слід зберігати багато циліндрів (а вони мають велику вагу).

Найбільш ефективний напівавтотипний друк (зі змінною глибиною та площею осередків). Він заснований на електронно-механічному гравіюванні (за допомогою різця). Забезпечується висока якість друку.

Глибокий друк із змінною площею осередків (автотипний) не є пер-спективним.

Існують два способи побудови формного циліндра. Гальванічним спосо-бом збільшується шар міді, в якому гравірується зображення. Форми для гли-бокого друку зі змінною глибиною осередків отримують методом травлення.

Області застосування глибокого друку. Це якісний друк, який викорис-товують для високотиражного друку: ілюстрованих газет, журналів; друку на полімерних плівках та металевій фользі; друку цінних паперів, поштових ма-рок, банкнот. На сучасному етапі розвитку поліграфічної промисловості гли-бокий друк займає 10 – 15 % ринку друкарської продукції.

Безсумнівною перевагою глибокого друку є дуже висока швидкість друку, що досягається завдяки використанню фарб на основі летучих розчин-ників, які забезпечують достатньо швидке їхнє закріплення. Через значну складність і тривалість виготовлення формних циліндрів, застосовуваних у глибокому друці, використання цього способу вигідно лише під час друку великих тиражів – починаючи приблизно з 150 – 250 тисяч відбитків.

3. Трафаретний друк (шовкографія) дозволяє отримувати відбиток про-давлюванням фарби через форму – трафарет, що є тонкою сіткою з натураль-ного шовку або синтетичного матеріалу або металевих ниток з нанесеним зображенням. Через відкриті осередки, що несуть зображення, фарба нано-ситься на матеріал, на якому здійснюється друк.

У трафаретному друці застосовують різні схеми за принципом взаємодії контактованих поверхонь: "площина – площина", "площина – циліндр", "ци-ліндр – циліндр" (ротаційний друкарський апарат).

У трафаретному способі друку можна наносити дуже товстий шар фар-би – 20 ... 100 мкм і більше, тоді як у офсеті – 0,5 ... 2 мкм. Висоту фарбового шару визначає товщина шаблону.

Основні переваги трафаретного друку:

1. Висока покриваюча здатність. Оскільки фарба потрапляє на матеріал не з валів, а з плоских форм, а сама сітка має певну товщину, то шар фарби на матеріалі виявляється надзвичайно товстим. Це дозволяє друкувати будь-які зображення, в тому числі на прозорих плівках без появи ефекту "прозорого малюнка".

2. Рельєф фарби. Багато робіт застосуванням трафаретного друку від-різняються недосяжною для решти видів друку властивістю – високим фар-бовим шаром, який можна відчуті буквально на дотик. Шар фарби може до-сягати 0,5 мм.

3. Спеціальні види фарби. Для трафаретного друку розроблена величезна кількість спеціальних видів фарби: флуоресцентні, що світяться у певному спектрі, ароматизовані, термофарби.

Трафаретний спосіб друку використовують, виходячи з описаних вище переваг, під час виготовлення етикеток для парфюмерно-косметичної промисловості, лікєро-горілочаної промисловості, у випадках необхідності високої стійкості фарбового шару (етикетки на мастила автокосметику т.п.), для нанесення елементів захисту та в інших випадках.

Найпоширеніші способи використання – це виготовлення візиток, друк на самоклеючих матеріалах, на тканинах з невеликою площею друку, зображень на футболках, на різній електро- та телеапаратурі, на упаковці, на рекламних плакатах. Домінуюче становище трафаретний друк посідає в радіоелектронній та приладобудівній промисловості.

Однак, якість трафаретного друку, яку можна отримати, використовуючи сучасні матеріали і технології, не досягається. Тому основним завданням трафаретного друку є поліпшення якості друкарської продукції.

Підводячи підсумки, слід зауважити, що у поліграфічному виробництві застосовують рулонні друкарські машини високого, глибокого та офсетного друку. Машини високого друку використовують мало. Більше використовують машини глибокого друку для друкування журналів та рекламних видань великими тиражами. Найбільше застосування отримали офсетні друкарські машини, але у них є конкурент – машини для флексографського друку, які наприклад, на 20 % дешевші за рулонні офсетні друкарські машини. Однак, у них більш коштовні друкарські форми.

5.3. Тенденції розвитку поліграфічних технологій

Глибокий друк завдяки високій якості матиме постійний попит. Проте його частка відносно мала, оскільки виготовлення друкарських форм вимагає великих витрат, а виробництво прибуткове лише за великих тиражах. Офсетний друк займав і займатиме найбільшу частку ринку завдяки меншим витратам на виготовлення друкарської форми (у порівнянні з глибоким друком), більшим можливостям автоматизації техніки та високій якості друку.

Флексографський друк останнім часом, завдяки технічним нововведенням, забезпечує високу якість друку та набуває більш широкого застосування під час виготовлення упаковки. Те, що раніше виконувалося за допомогою офсетного друку, зараз частково виконується безконтактними методами, а та-

кож на основі флексографського друку (особливо листового друку). Як зазначалося раніше, це малі тиражі, а також такі видання, як "друк на вимогу", "книга на вимогу" – спрямовані на підвищення якості та продуктивності друку. Але все одно офсетний друк залишатиметься домінуючим, особливо, завдяки широкому впровадженню цифрових робочих процесів та технології "комп'ютер – друкарська машина". Обсяги друкованої продукції з використанням офсетного друку постійно зростатимуть [55].

На рис. 70 показана частка використання різних способів друку (станом на 1999 рік на основі міжнародних оцінок та аналізу ринку друкованої продукції). Найбільший обсяг складає офсетний друк. У 2014 році він дорівнював 40 %, тоді як у 1999 році він становив приблизно 60 %. Як видно, завдяки появі нових способів друку NIP, офсетний друк дещо втратив свої позиції і до 2014 року скоротився до 40 %. Глибокий друк стабільно зберіг рівень використання 15 %. Високий флексографський друк впав з 60 % у 1970 році до 25 % у 1990 році у результаті появи цифрових робочих процесів під час організації офсетного друку, а також застосування способів NIP ("комп'ютер – друк").

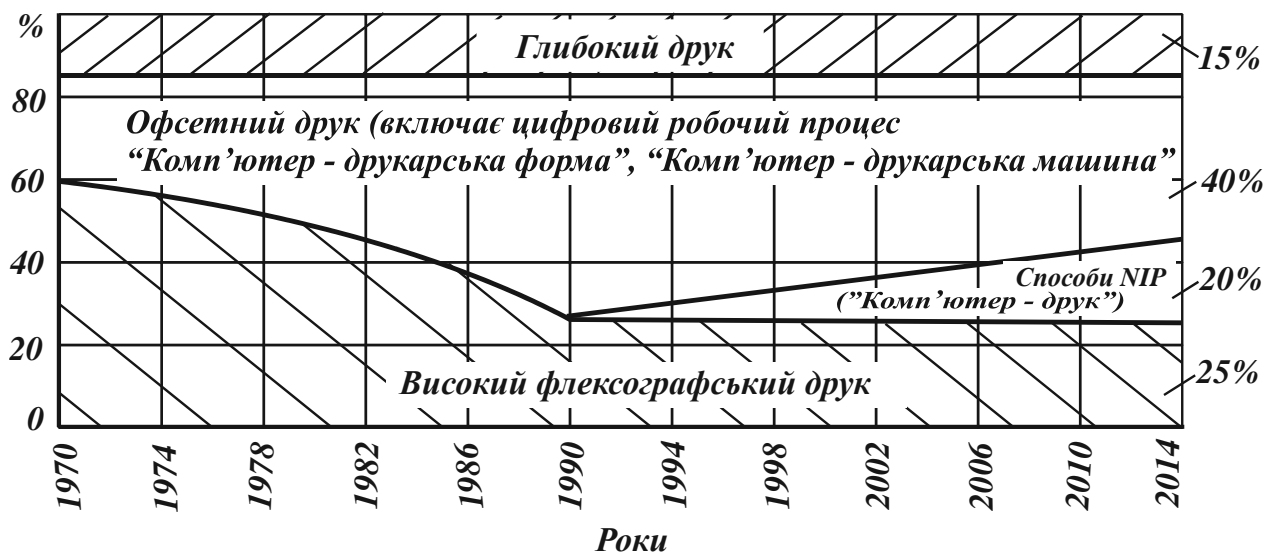


Рисунок 70 – Частка використання різних способів друку за роками

5.4. Застосування сучасних технологій "Комп'ютер – ... " у виробництві друкарської продукції

Поява комп'ютерів призвела до революції у поліграфічному виробництві. Стало можливим перевести образотворчу та текстову інформацію у цифрову форму, а потім переробити її на додрукарській стадії, вивести та отрима-

ти якісну друковану продукцію. Існують три основні варіанти даної технології: "Комп'ютер – фотоформа", "Комп'ютер – друкарська форма", "Комп'ютер – друкарська машина" [22; 58].

Технологія "Комп'ютер – фотоформа" забезпечує запис на фотоплівку, технологія "Комп'ютер – друкарська форма" – прямий запис зображення безпосередньо на офсетну машину, технологія "Комп'ютер – друкарська машина" призначена для прямого запису безпосередньо у друкарській машині. У варіанті технології "Комп'ютер – друк" друкарської форми немає.

Завдяки технології "Комп'ютер – фотоформа" процес додрукарської підготовки став коротшим, тобто зникла необхідність у різанні, розміщенні та склеюванні окремих частин фотоформ, що мало місце під час традиційного друку (монтаж фотоформи). У цьому підвищилася точність позиціонування його елементів. Процес виготовлення фотоформ став швидшим і надійнішим. Використовують фотоплівки, що не потребують хімічного прояву та покращують екологічні умови праці.

Спуск смуг у системі "Комп'ютер – фотоформа" у порівнянні з ручним монтажем має наступні переваги:

- витрати часу на виготовлення повноформатного спуску тим значніше скорочуються, чим складніше монтаж;
- підвищується продуктивність додрукарських процесів: за той самий час можна виготовити значно більше число повноформатних спусків фотоформ. У середньому продуктивність збільшується у 3 рази;
- заощаджуються матеріали (монтажна основа, фотоплівка та ін.);
- зникає необхідність у кресленні макетного аркуша;
- дані спуску смуг залишаються доступними й викликаються за необхідності, особливо під час повторних замовлень;
- обслуговуючий персонал здобуває досвід роботи із цифровими даними, методами цифрових технологій для наступного переходу до роботи в системах "Комп'ютер – друкарська форма". Система "Комп'ютер – фотоформа" підвищує гнучкість процесу. Аналогові фотоформи замовників можуть інтегруватися з фотоформами, виготовленими за допомогою цифрових технологій.

Технологія "Комп'ютер – друкарська форма" виключає необхідність застосування фототехнічних плівок, що знижує витрати та час, підвищує якість друку завдяки виключенню етапу виготовлення фотоформ та зменшення відхилень від заданих параметрів. Отримані за цією технологією формні пластини із зображенням проявляють традиційним способом і встановлюють

у листові або рулонні друкарські машини. Зображення здійснюється лазерним променем. Під час використання нових формних матеріалів (термочутливих пластин) немає необхідності працювати в темних приміщеннях, захищених від світла.

Автоматизація й пов'язані з нею можливості скорочення тимчасових і матеріальних витрат становлять головні переваги технології "Комп'ютер – друкарська форма". Суттєвим чинником є і її вплив на роботу друкарського цеху, тому що помітно скорочується період приладження машин. Найбільша економія часу досягається ще в додрукарських процесах цифровим спуском смуг.

Користувачі систем "Комп'ютер – друкарська форма" відзначають збільшення продуктивності майже в три рази порівняно із традиційною технологією. Продуктивність, тобто число друкарських форм, що виготовляються пристроєм в одиницю часу, залежить як від загальної тривалості окремих процесів, так і від можливості паралельного виконання операцій або з їхнім перекриттям, наприклад, прояви першої формної пластини в процесорі й одночасному записі наступної пластини в пристрої, що експонує. Час експонування або запису є основним чинником, що впливає на продуктивність. Мінімальний час запису формної пластини форматом 70×100 см не перевищує 2 хвилин.

Слід зазначити, що технологія "Комп'ютер – фотоформа", на відміну технологій "Комп'ютер – фотоформа" і "Комп'ютер – друкарська форма" (орієнтованих на традиційні друкарські машини), виключає виготовлення фотоформ чи друкарських форм, направляючи цифрові дані у друкарську машину. Це різко знижує трудомісткість роботи, оскільки унеможливорює ручну установку форм і пов'язані з нею неточності установки. Друкарські форми виготовляють безпосередньо у друкарській машині, і вони аналогічні традиційним формам.

Технологія "Комп'ютер – друк" на основі безконтактного способу (NIP) дозволяє наносити барвистий шар на матеріал, на якому здійснюється друк, під управлінням цифрових даних, не використовуючи друкарську форму. Під час електрофотографічного способу промінь лазера формує сховане зображення, на зразок того, яке одержують на формному матеріалі. Потім зображення проявляється барвником (порошковим тонером) і далі виявлене зображення переноситься на папір.

Існує й інший метод технології "Комп'ютер – друк", коли запис здійснюється без проміжного носія, як наприклад, у струминних системах, де фар-

ба через керовані сопла подається безпосередньо на матеріал, на якому здійснюється друк.

Розглянемо компоненти системи "Комп'ютер – друк" на основі безконтактних технологій:

а) за допомогою сканера образотворчі оригінали перетворюють у цифровий вигляд і передають до друкарської системи. Залежно від вимог до кінцевого продукту, система може доповнюватися різним обладнанням для обробних (післядрукарських) процесів;

б) у звичайних копіювальних машинах на основі методу електрофотографії здійснюють пряме оптичне перенесення оригіналу на фотонапівпровідникову поверхню друкарської секції. Операція повторюється для кожної копії оригіналу.

Різниця між копіювальними та друкарськими пристроями щодо технології друку незначна. Копіювальними є пристрої, які можуть виготовляти кожену копію лише з матеріального оригіналу. Друкарські пристрої приймають дані замовлення у цифровому вигляді. Якщо до цифрової друкарської системи підключено сканер, який перетворює матеріальні оригінали на цифрову форму, то обов'язково забезпечується зберігання даних у пристрої, з якого дані передаються на друк. Така система є друкарською, а не копіювальною.

Переваги технології "Комп'ютер – друк":

- скорочується час технологічного циклу (виключаються операції обробки фотоматеріалу, копіювання фотоформ на формні пластини й у ряді випадків обробки експонованих формних пластин);
- знижуються витрати на виробничі площі, придбання додаткового устаткування й видаткових матеріалів через непотрібність окремих фотоскладальних автоматів, проявочних процесорів, копіювального устаткування тощо;
- поліпшуються екологічні умови на поліграфічному підприємстві;
- підвищується якість зображення на друкарських формах завдяки зниженню рівня випадкових і систематичних перешкод, що виникають при експонуванні й обробці традиційних фотоматеріалів і копіюванні монтажів на офсетні пластини;
- скорочується чисельність обслуговуючого персоналу.

Технологія "Комп'ютер – друк" дозволяє отримувати різні за змістом відбитки. При цьому відсутні які-небудь друкарські форми з постійним, фіксованим зображенням. Для кожного нового відбитку зображення перезаписується, навіть якщо виведена інформація залишається ідентичною. Однак, це сповільнює друк, служить причиною коливань якості відбитків у тиражі.

У системі "Комп'ютер – друкарська машина" виготовляється традиційна постійна форма, що значною мірою гарантує однакову якість друку від відбитку до відбитку. Такі пристрої мають більш високу продуктивність, тому що для кожного наступного виведеного аркуша немає необхідності здійснювати перезапис. Однак у цьому випадку неможливо вносити зміни у тиражні відбитки.

Системи друку на основі електрофотографії. Як приклад розглянемо пристрій багатобарвної друкарської системи, за допомогою якої рулонний матеріал, де здійснюється друк, порошковим тонером. Запис проводиться із застосуванням лінійки світлодіодів з роздільною здатністю 600 dpi. Тонер переноситься безпосередньо на паперове полотно. Управління світлодіодами в процесі експонування фоторецептора на поверхні циліндра дозволяє створювати на ділянках, що записуються, заряди різної величини, отже, і різну передачу тонера на елемент (близько 9 градацій). При цьому стає можливим відтворення більшого охоплення кольору, ніж під використання лише двох градацій на елемент.

Зображення, виявлене тонером, закріплюється термообробкою. Для підвищення якості відбитка після охолодження паперового полотна можна використовувати ще один пристрій, який подібно до системи, що закріплює, надає на поверхню відбитка термосиловий вплив. Після цього рулонний матеріал розрізається на листи.

Перевагою системи є одночасний друк лицьового та зворотного боку полотна. Крім того, у напрямі його руху можна отримати широкий діапазон форматів.

Розглянемо принципи роботи ксероксу, копіювальної техніки, принтерів і різнографа.

Ксерокс. Походить від назви фірми-розробника. Принцип роботи ксерокса ґрунтується на явищі, коли електропровідність певних матеріалів змінюється під впливом світла. Цей процес відбувається на фотобарабані, на якому відображається аркуш паперу. Фотобарабан потім здійснює друк переносом чорнила на папір. Спочатку з'явилися ксерокси із чорно-білим зображенням, потім кольорові ксерокси з кольоровими картриджами. Все це призвело до розквіту ринку витратних матеріалів: заправка картриджів + заправка ксероксу (майже те саме).

Класифікація копіювальної техніки:

- портативні копії (папір формату А-4, друкується 5 – 6 копій на хвилину, 500 копій на місяць);

- низькошвидкісні ксерокси (папір формату А3 та А4 – друкується 10 – 15 копій на хвилину та, відповідно, 1500 – 2500 копій на місяць);
- офісні копії середнього класу (папір формату А4 – друкується 10 – 30 копій на хвилину; папір формату А3 – друкується 10 – 20 копій на хвилину та, відповідно, 10000 копій на місяць);
- ксерокси для робочих груп (великі офіси, друкується 40 – 80 копій на хвилину для паперу формату А4 та, відповідно, 15000 копій на місяць);
- спеціальні ксерокси (входять повнокольорові широкоформатні копіювальні апарати – для креслень, кольорових фотографій, виведення на твердий носій зображення з комп'ютера та слайдів).

XEROX 5800 – один з найшвидших копіювальних апаратів у світі (друкується 120 копій на хвилину для паперу формату А4).

XEROX Docu Color 5799 – вдале поєднання оптимальної якості зображення, високої продуктивності, надійності, сумісності та доступної ціни.

Основна перевага: фотографічна якість (кольорового) зображення.

Принципи роботи ксероксів та копіювальної техніки (на основі процесу сухого електростатичного копіювання):

- попередня зарядка негативним потенціалом фоточутливого барабану;
- проектування зображення на барабан таким чином, щоб промені, відбиті від світлих ділянок оригіналу, нейтралізували відповідні області фоторецептора, залишаючи негативно зарядженими лише ті частини барабана, на які надалі накладатиметься тонер для перенесення на папір;
- перенесення тонера з барабана на папір;
- відділення паперу від барабана;
- термічне закріплення копії.

Основою копіювального апарату є фотобарабан, що складається зі світлочутливого шару, в якому при попаданні фотонів світла формується приховане електростатичне поле, яке є точною проекцією оригіналу, що спочатку відобразило це світло.

Принтери (струменеві, лазерні, матричні, фотопринтери, сублімаційні).

Лазерний принтер дозволяє отримати дуже чітке зображення. При надсиланні файлу на друк у пам'яті комп'ютера створюється образ. Цю інформацію за допомогою лазерного променя принтер проектує на барабан, що обертається, зі світлочутливим покриттям, який змінює електричні властивості в залежності від освітленості. У процесі друкування на барабан автоматично наноситься тонер, частинки якого налипають на засвічені ділянки поверхні

барабана. Потім папір протягається під барабаном, і тонер переноситься на папір, залишаючи на ньому чітке зображення. Є чорно-білі та кольорові лазерні принтери.

Струменеві принтери засновані на тому, що символи зображення утворюються у вигляді послідовності чорнильних точок. Чорнило "викидаються" на сторінку через спеціальні отвори – сопла.

Фотопринтери (лазерні та струменеві) призначені для друкування кольорових та чорно-білих фотографій на фотопапері.

Плоттер – це пристрій, що креслить графіки, малюнки під керуванням комп'ютера на папері великих форматів.

Матричні принтери. Зображення виходить від дії маленьких "голочок" по фарбуючій стрічці, яка залишає слід (відбиток) на папері. Якість друку нижче. Використовуються для друку документів.

Сублімаційні принтери. Нагрівається спеціальна стрічка, внаслідок чого кольоровий барвник переноситься на носій (сублімація – перехід від твердого стану в газоподібний стан, минаючи рідкий стан). Чорнило миттєво випаровується і "пар" "друкує" зображення. Забезпечується висока якість зображення та стійкість до вицвітання (друк на футболках, прапорах, пластикових картах). Здебільшого робота виконується одним кольором.

Принтери для чеків та штрих-кодів. Схожі на сублімаційні принтери. Висока швидкість друку: 100 – 120 мм/с.

Різограф. Перший різограф з'явився у 1980 році. Різографія як метод друку поєднує досягнення сучасної цифрової електроніки – висока якість подання, обробки та передачі даних, з перевагами традиційного трафаретного друку – високою продуктивністю, економічністю та надійністю. Спочатку копіюваний оригінал розміщують на вбудованому сканері різографа (рис. 71). Інформація, що зчитується, перетворюється в цифрову форму і передається в пристрій керування термоголовки. Термоголовка пропалює дрібні отвори майстер-плівки у точній відповідності до оригіналу з вимогами щодо яскравості друку, масштабування тощо. Майстер-плівка автоматично закріплюється на поверхні циліндра, що барвить, її внутрішній шар просочується барвником (на основі гліцерину). Папір подається під циліндр, що обертається. У результаті фарба наноситься на папір через отвори у майстер-плівці. Можна надрукувати 1000 аркушів за 8 хвилин. Однієї майстер-плівки вистачає на 15 тисяч відбитків (формат паперу А4). Ресурс роботи різографа – 8 млн відбитків. Найбільша ефективність використання різографа досягається під час виготовлення тиражів у 2 – 3 тисячі відбитків (рис. 72).



Рисунок 71 – Різограф

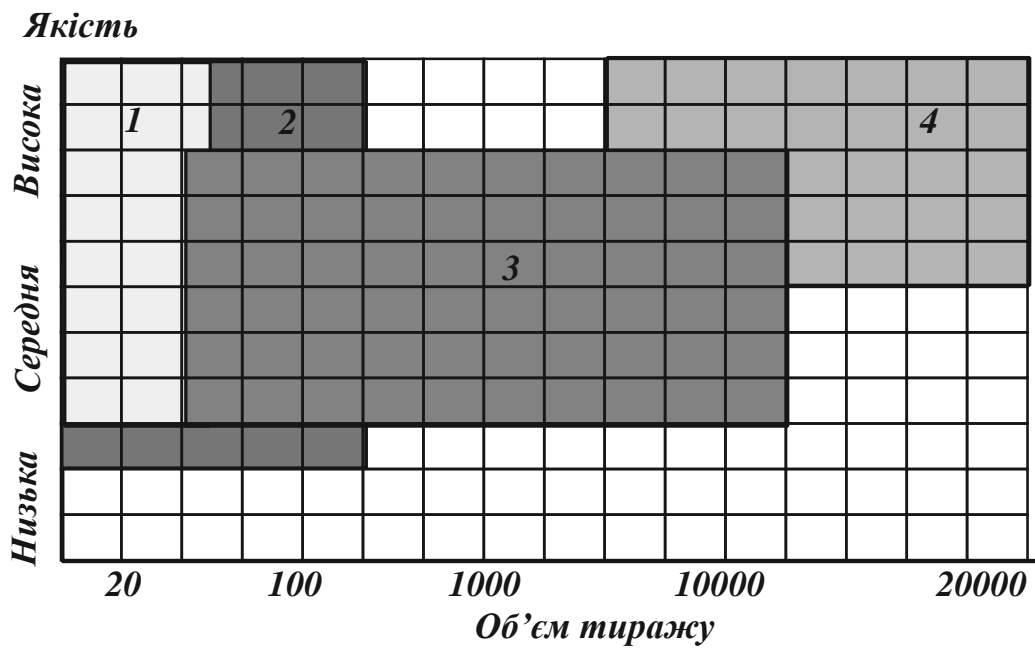


Рисунок 72 – Місце різографії серед методів друку:

1 – принтер; 2 – копіювальний апарат; 3 – різограф; 4 – офсетний друк

Розглянемо основні переваги та недоліки різнографії.

1. Продуктивність. Різнограф не вимагає часу на розігрів і готовий до роботи відразу після включення. Швидкість друку – від 60 до 130 копій за хвилину. За 8 годин роботи один різнограф може виготовити більше 60 тисяч копій.

2. Економічність. При друці на різнографі значну частину вартості тиражу становлять фіксовані витрати, які пов'язані з виготовленням матриці. Очевидно, що зі збільшенням тиражу вартість однієї копії буде зменшуватися.

3. Відмінна якість зображення. Різнограф забезпечує кілька режимів копіювання: текстовий (16 півтонів для копіювання текстів, графіків тощо), фото-режим (256 півтонів для копіювання фотографій, малюнків), растровий режим.

4. Простота роботи на різнографі. Працювати на різнографі не складніше, ніж на копії, що дозволяє легко й оперативно, не вдаючись до допомоги професіонала-друкаря, надрукувати практично типографські тиражі листівок, буклетів, прайс-аркушів тощо.

5. Абсолютна екологічна чистота. Різнографи абсолютно нешкідливі для здоров'я людини й навколишнього середовища. Вони не виділяють ніяких шкідливих речовин під час своєї роботи. Видаткові матеріали виготовлені з натуральних, екологічно чистих продуктів.

При дуже високій швидкості виготовлення видання на різнографі відсутня величезна попередня підготовка, яка має місце, наприклад, в офсеті, що є значною перевагою різнографії. Крім того, офсетна машина може коштувати від декількох десятків до сотень тисяч доларів. Далеко не кожний починаючий підприємець готовий до подібних витрат. А ціна на різнограф коливається від 4,5 до 12 – 15 тисяч доларів. Одержувані відбитки теж дешевші.

До недоліків різнографії відноситься неможливість друкувати на різнографі півтонами. Даний апарат передбачає використання не тільки чорної, але й червоної, синьої, жовтої, зеленої фарби. З'явилися моделі, у яких є п'ять і навіть шість кольорів. Але, як відомо, кожний колір має масу відтінків. Однак різнограф може друкувати лише тією фарбою, яка закладена в нього виробником, кожний колір – окремо. Головна умова – зони, що офарблюються різними відтінками, не повинні розташовуватися поруч, тому що під час значної швидкості роботи постраждає якість виконання: відбудеться зсув – чорний потрапить на червоний, червоний на зелений та ін.

Різнограф здатний забезпечити достатньо високу якість під час друку тексту, але не забезпечує високої якості під час друку великих малюнків і фотографій. Тому оригінал-макети, що містять їх, рекомендується додрукувати цифровим методом і потім вставляти в тираж. Однак, останнім часом на полі-

графічному ринку з'явилися нові покоління машин, які дозволяють тиражувати не тільки фотографії, але й взагалі будь-які повнокольорові зображення.

Запитання для самостійного контролю

1. Назвіть та проаналізуйте три основні напрями розвитку поліграфії.
2. Назвіть особливості та області ефективного застосування цифрового друку.
3. У чому проявляється екологічна безпека технологій цифрового друку?
4. Чим з точки зору безпеки життєдіяльності відрізняється цифровий друк від традиційних методів друку?
5. Обґрунтуйте шляхи підвищення якості цифрового друку.
6. Назвіть основні тенденції розвитку друкарської продукції.
7. Надайте визначення офсетному друку та охарактеризуйте тенденції його розвитку.
8. Проведіть порівняння традиційного та "сухого" офсетного друку.
9. Які є способи високого та глибокого друку та перспективні напрями їхнього застосування?
10. Чим відрізняється флексографський друк від інших методів друку?
11. Проаналізуйте сутність, способи реалізації та перспективи розвитку тампонного та струмінного друку.
12. Наведіть класифікацію технологій друку.
13. Проведіть аналіз діаграми використання різних способів друку (у відсотках за роками).
14. Назвіть відмінні риси цифрових друкарських машин.
15. Назвіть основні тенденції розвитку безконтактних способів друку NIP.
16. Проведіть оцінювання сучасного рівня електрофотографії, струмінного друку, іонографії, магнітографії, термографії та фотографії.
17. У чому полягає сутність і застосування технології "Комп'ютер – фотоформа"?
18. У чому полягає сутність і застосування технології "Комп'ютер – друкарська форма"?
19. У чому полягає сутність і застосування технології "Комп'ютер – друкарська машина"?
20. У чому полягає сутність і застосування технології "Комп'ютер – друк"?
21. Обґрунтуйте технологію перетворення оригіналів у цифрову форму.
22. У чому полягає принцип роботи сканера?
23. Назвіть типи принтерів і принципи їхньої роботи.
24. У чому полягає принцип роботи різнографа?

Література: [3; 22; 24; 45; 54; 55; 58]

Список використаних джерел

1. Алмазная обработка: учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Київ: ІЗМН, 1996. – 168 с.
2. Алмазно-электролитическая обработка инструмента / И. П. Захаренко, Ю. Я. Савченко. – Київ: Наук. думка, 1978. – 224 с.
3. Барановський І. В. Поліграфічна переробка образотворчої інформації / І. В. Барановський, Ю. П. Яхимович. – Львів – Київ: УАД-НВП "Мета", 1998 – 400 с.
4. Бедрій Я. Л. Безпека життєдіяльності : навч. посібник / Я. Л. Бедрій. – Київ: Кондор, 2009. – 286 с.
5. Беззубенко Н. К. Повышение производительности алмазного шлифования / Н. К. Беззубенко // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н.Е. Жуковского "ХАИ". – Харьков: ХАИ, 2000. – Вып. 14. – С. 296–302.
6. Беззубенко Н. К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов : автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Н. К. Беззубенко. – Харьков, 1995. – 56 с.
7. Безпека життєдіяльності : навч. посібник / В. В. Березуцький, Л. А. Васьковець, Н. П. Вершиніна та ін.; За ред. проф. В.В. Березуцького. – Харків: Факт, 2005. – 384 с.
8. Безпека життєдіяльності : підручник / О. І. Запорожець, Б. Д. Халмурадов, В. І. Применко та ін. – Київ: Центр учбової літератури, 2013. – 448 с.
9. Гандзюк М. П. Основи охорони праці: підр. для студ. вищих навч. закладів / М. П. Гандзюк, Є. П. Желібо, М. О. Халімовський. За ред. М. П. Гандзюка. – Київ: Каравела, 2004. – 408 с.
10. Грибан В. Г. Охорона праці : навч. посібник. [для студ. вищ. навч. закл.] / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко. – Київ: Центр учбової літератури, 2009. – 280 с.
11. Гродзинський М. Д. Стійкість геосистем до антропогенних навантажень. – Київ: Лікей, 1995. – 233 с.
12. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності : навч. посібник / Є. П. Желібо, Н. М. Заверуха, В. В. Зацарний; за ред. Є. П. Желібо, 6-е вид. – Київ: Каравела, 2011. – 344 с.

13. Желібо Є. П. Безпека життєдіяльності : підручник / Є. П. Желібо, В. В. Зацарний. – Київ : Каравела, 2007. – 288 с.
14. Жовтобрюх В. А. Проектирование и автоматизированное программирование современных технологий для станков с ЧПУ : монография / В. А. Жовтобрюх, Ф. В. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2019. – 480 с.
15. Заплатинський В. М. Ретроспективний аналіз становлення дисципліни Безпека життєдіяльності у вищій школі України // Фізичне виховання, спорт і здоров'я людини // Вісник Кам'янець-Подільського національного університету імені Івана Огієнка. – 2015/5/13.
16. Захаренко И. П. Основы алмазной обработки твердосплавного инструмента / И. П. Захаренко. – Київ: Наукова думка, 1981. – 300 с.
17. Зеркалов Д. В. Безпека життєдіяльності : навч. посібник / Д. В. Зеркалов. – Київ: Основа, 2011. – 526 с.
18. Иванов Н. П. Интенсивность электроэрозии алмазных кругов при использовании источника постоянного тока / Н. П. Иванов, Л. Е. Кобзарь // Резание и инструмент. – 1984. – Вып. 31. – С. 26–31.
19. Иванов Н. П. Электроэрозионное формирование высоты рельефа рабочей поверхности алмазных кругов при использовании источника постоянного тока. – Резание и инструмент. – 1984. – Вып. 32. – С. 21–27.
20. Интегрированные процессы обработки материалов резанием : учебник / А. И. Грабченко, В. А. Залого, Ю. Н. Внуков и др.; под общ. ред. А. И. Грабченко и В. А. Залого. – Сумы: Университетская книга, 2017. – 451 с.
21. Качество и производительность абразивно-алмазной обработки : учеб. пособие / А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, А. А. Якимов. – Одесса: ОГПУ, 1999. – 212 с.
22. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. Технологии и способы производства; Пер. с нем. / Г. Киппхан – М.: Изд. МГУП, 2003. – 1280 с.
23. Лавриненко В. И. Инструменты из сверхтвердых материалов в технологиях абразивной и физико-технической обработки: монография / В. И. Лавриненко, В. Ю. Солгод. – Каменское: ДГТУ, 2016. – 529 с.
24. Макаров А. Экологический вызов и полиграфия / А. Макаров // Курсив. – 2013. – № 4. – С. 2–6.
25. Матюха П. Г. Выбор длины электрода-инструмента при электроэрозионной правке шлифовальных кругов / П. Г. Матюха, В. И. Мартынов, В. П. Цокур. – Резание и инструмент. – 1988. – Вып. 40. – С. 36–42.

26. Мигаль Г. В. Безопасность жизнедеятельности / Г. В. Мигаль, О. Б. Кивиренко. – Харьков: ХАИ, 2002. – 44 с.
27. Новиков Г. В. Глубинное алмазное электроэрозионное шлифование / Г. В. Новиков // Авиационно-космическая техника и технология. Труды Государственного аэрокосмического университета им. Н. Е. Жуковского "ХАИ". – Харьков: Государственный аэрокосмический университет имени Н. Е. Жуковского "ХАИ", 2000. – Вып. 14. – С. 303–309.
28. Новиков Г. В. Обоснование и выбор оптимального электрического режима электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках / Г. В. Новиков // Вісник Харківського державного технічного університету сільського господарства. – Харків: ХДТУСГ, 2005. – Вип. 33. – С. 180–185.
29. Новиков Г. В. Повышение эффективности алмазно-искрового шлифования деталей с высокопрочными покрытиями: дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Г. В. Новиков. – Харьков, 1989. – 210 с.
30. Новиков Г. В. Прогрессивные технологии алмазно-абразивной обработки природных алмазов в бриллианты / Г. В. Новиков // Вісник НТУ "ХПІ". Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ "ХПІ". – 2011. – № 40. – С. 72–90.
31. Новиков Ф. В. Оптимальные решения в металлообработке : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2017. – 476 с.
32. Новиков Ф. В. Основы математического моделирования технологических процессов механической обработки / Ф. В. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 400 с.
33. Новиков Ф. В. Современные экологически безопасные технологии производства : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, Г. В. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2017. – 372 с.
34. Новіков Ф. В. Підвищення екологічної безпеки життєдіяльності робітників у виробничих умовах на технологічних операціях алмазного шліфування / Ф. В. Новіков, Г. В. Новіков // Перспективні технології та прилади : зб. наук. праць // м. Луцьк, грудень 2021. – Луцьк: Луцький НТУ, 2021. – Вип. 19. – С. 110–116.
35. Обработка резанием деталей с покрытиями / С. А. Клименко, В. В. Коломиец, М. Л. Хейфец и др.; под общ. ред. С. А. Клименко. – Киев: ИСМ им. В. Н. Бакуля НАН Украины, 2011. – 353 с.
36. Овчаров А. В. Конспект лекций по дисциплине "Безопасность жизнедеятельности" / А. В. Овчаров. – Харьков: ХНАГХ, 2008. – 167 с.

37. Основи охорони праці : навч. посіб. / В. В. Березуцький, Т. С. Бондаренко, Г. Г. Валенко та ін.; За заг. ред. В. В. Березуцького. – 2-ге вид., перероб. і доп. – Харків: Факт, 2007. – 480 с.
38. Охорона праці : навч. посібник / З. М. Яремко, С. В. Тимошук, О. І. Третяк, Р. М. Ковтун; за ред. проф. З. М. Яремка. – Львів: Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2010. – 69 с.
39. Прогресивні технології механічної обробки : монографія / Ф. В. Новіков, А. Г. Крюк, В. Г. Шкурупій та ін.; за заг. ред. докт. техн. наук, професора Новікова Ф. В. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2012. – 372 с.
40. Протасенко О. Ф. Безпека життєдіяльності / О. Ф. Протасенко, Г. В. Мигаль. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2010. – 164 с.
41. Протасенко О. Ф. Безпека життєдіяльності : конспект лекцій для студентів напряму підготовки 6.030601 "Менеджмент" усіх форм навчання / О. Ф. Протасенко, Ю. В. Буц. – Харків: Вид. ХНЕУ, 2013. – 150 с.
42. Робочі процеси високих технологій в машинобудуванні : навч. посібник / за ред. А. І. Грабченка. – Харків, ХДПУ, 1999. – 436 с.
43. Рыбицкий В. А. Опыт внедрения алмазного шлифования деталей с защитными покрытиями / В. А. Рыбицкий. – Киев: Общество "Знание", 1987. – 23 с.
44. Системы технологий : учеб. пособие / Под ред. П. Д. Дудко, А. Г. Крюка. – Харьков: Изд. ХГЭУ, 2003. – 292 с.
45. Слоцька Л. С. Основи поліграфії (друкарські та брошурувальнопалітурні процеси): навч. посібник / Л. С. Слоцька, В. З. Маїк, Ю. М. Румянцев; за заг. ред. Е. Т. Лазаренка. – Львів: УАД, 2012. – 244 с.
46. Техніко-економічне обґрунтування сучасних технологій виробництва : навч. посібник / Ф. В. Новіков, Д. Ф. Новіков, О. А. Єрмоленко, В. О. Жовтобрюх. – Дніпро: ЛІРА, 2022. – 256 с.
47. Технологии производства: проблемы и решения : монография / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко и др. – Днепр: ЛИРА, 2018. – 536 с.
48. Технологи и технологии : научно-информационное издание / Ф. В. Новиков, В. А. Жовтобрюх, С. А. Дитиненко, Д. Ф. Новиков. – Днепр: ЛИРА, 2020. – 352 с.
49. Тренінг-курс "Основи охорони праці" [Електронний ресурс]: практикум для студентів усіх спеціальностей першого (бакалаврського) рівня / уклад. Ю. В. Буц, О. Ф. Протасенко, О. М. Борисенко, В. Л. Безсонний. – Харків: ХНЕУ ім. С. Кузнеця, 2020. – 112 с.

50. Узунян М. Д. Алмазно-искровое шлифование твердых сплавов / М. Д. Узунян. – Харків: НТУ "ХП", 2003. – 359 с.
51. Фадеев В. А. Алмазное шлифование твердых сплавов с введением в зону резания дополнительной энергии постоянного тока : автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.02.08 / В. А. Фадеев. – Харьков, 1995. – 21 с.
52. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2002. – Т. 4. "Теория абразивной и алмазно-абразивной обработки материалов". – 802 с.
53. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. В десяти томах. – Одесса: ОНПУ, 2003. – Т. 6. "Качество обработки деталей машин". – 716 с.
54. Шпак В. І. Управління сучасним видавництвом : навч. посібник / В. І. Шпак. – Київ: "Експрес-об'ява", 2019. – 368 с.
55. Шпак В. Поліграфія: книга редактора : навч. посібник / В. Шпак. – Київ: ДП "Експрес-об'ява", 2017. – 336 с.
56. Экологически безопасные технологии шлифования и заточки твердосплавных инструментов алмазными кругами на металлических связках / Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, С. А. Дитиненко, В. И. Полянский // Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ "ХП". – 2015. – № 48 (1167). – С. 29–33.
57. Экологические преимущества применения при шлифовании электроэрозионной правки алмазных кругов на металлических связках взамен электрохимической правки / Ф. В. Новиков, Г. В. Новиков, С. А. Дитиненко, В. И. Полянский // Вісник НТУ "ХП". Збірник наукових праць. Серія: Інноваційні технології та обладнання обробки матеріалів у машинобудуванні та металургії. – Харків: НТУ "ХП". – 2016. – № 38 (1210). – С. 35–40.
58. Ярема С. М. Видавничі поліграфічні технології та обладнання : навч. посібник / С. М. Ярема. – Київ: Ун-т "Україна", 2003. – 320 с.
59. Яремко З. М. Безпека життєдіяльності : навч. посібник – Київ: Центр навчальної літератури, 2005. – 320 с.

Інформаційні ресурси в Інтернеті

60. Безпека життєдіяльності та цивільний захист [Електронний ресурс]. – URL: <http://opcb.kpi.ua>

61. БЖД: об'єкти та цілі. [Електронний ресурс]. – URL : <https://osvita.ua>
62. Класифікація та характеристика негативних чинників. [Електронний ресурс]. – URL : <http://physbook.ru/>
63. Маньківська райдержадміністрація : офіційний сайт. URL : <http://mankrda.gov.ua/ohorona-praci/virobnichij-travmatizm-ta-zahvorjuvannya-prichini-vineknennya/>
64. Небезпечні та шкідливі чинники техногенного середовища [Електронний ресурс]. – URL : <https://studopedia.com.ua> › 1_89064_nebezpechni-ta-s
65. Основні правила безпеки при користуванні електронагрівальними приладами – URL: <https://cpprk.com/upravlinnia/orhanizatsiia-osvitnoho-protsesu/okhorona-pratsi-ta-bezpeka-zhyttiedialnosti-tsyvilnyi-zakhyst/osnovni-pravya-bezpeky-pry-korystuvanni-elektronahrivalnymy-pryladamy>
66. Попередження травматизму / Yakymenko Dmytro URL : <https://mp1.ck.ua/%D0%BF%D0%BE%D0%BF%D0%B5%D1%80%D0%B5%D0%B4%D0%B6%D0%B5%D0%BD%D0%BD%D1%8F%D1%82%D1%80%D0%B0%D0%B2%D0%BC%D0%B0%D1%82%D0%B8%D0%B7%D0%BC%D1%83/>
67. Середовище зв'язане з використанням технічних засобів – <https://osvita.ua>
68. Теоретичні основи БЖД. – URL : https://pidru4niki.com/1376102550810/bzhd/teoretichni_osnovi_bzhd
69. Шкідливий вплив виробничого шуму на організм людини та засоби його мінімізації на робочому місці https://te.dsp.gov.ua/wp-content/uploads/2019/04/img_1306-520x245-3.jpg

Зміст

Вступ	3
Розділ 1. Загальні положення безпеки життєдіяльності людини	5
1.1. Основні терміни та визначення безпеки життєдіяльності людини	5
1.2. Сутність техногенного середовища та його вплив на безпеку життєдіяльності людини	10
1.3. Основні небезпечні і шкідливі чинники техногенного середовища	18
1.4. Ергономічні аспекти безпеки життєдіяльності людини ...	20
1.5. Екологічні аспекти безпеки життєдіяльності людини	21
1.6. Ергономічні та екологічні небезпеки життєдіяльності людини	26
Запитання для самостійного контролю	30
Розділ 2. Шляхи забезпечення безпеки життєдіяльності людини у виробничих умовах	32
2.1. Застосування сучасних безпечних для життєдіяльності людини технологій виробництва	32
2.2. Індустрія 4,0. Четверта промислова революція стрімко входить у наше життя	39
2.3. Застосування екологічно безпечних для життєдіяльності людини технологій металообробки	50
2.4. Фізична сутність екологічно безпечного методу алмазного електроерозійного шліфування	60
2.5. Технологічні можливості екологічно безпечних методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках...	71
2.6. Умови практичного застосування екологічно безпечних методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках	80
2.7. Шляхи підвищення ефективності застосування екологічно безпечних методів алмазного електроерозійного шліфування та електроерозійного правлення алмазних кругів на металевих зв'язках	85
Запитання для самостійного контролю	87

Розділ 3. Обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій зі створення екологічно безпечних для життєдіяльності людини технологій виробництва	89
3.1. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпеч- них для життєдіяльності технологій виробництва діамантів із природних алмазів	89
3.2. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпеч- ної для життєдіяльності технології електроерозійного правлення великогабаритних збірних алмазних кругів на металевих зв'язках	96
3.3. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпеч- ної для життєдіяльності технології алмазного шліфування керамічних деталей	99
3.4. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної для життєдіяльності технології електроерозійного правлення алмазних переривчастих кругів та велико- габаритних сегментних алмазних пил	102
3.5. Практичні рекомендації зі створення екологічно чистої та безпечної для життєдіяльності технології алмазної обробки виробів із хрустала	104
3.6. Теоретичне обґрунтування можливостей технології обробки виробів із кристалю алмазними кругами після їх електроерозійного правлення	114
Запитання для самостійного контролю	119
Розділ 4. Обґрунтування та розроблення практичних рекомендацій зі створення екологічно безпечних технологій алмазного електроерозійного шліфування	121
4.1. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної технології алмазного електроерозійного шліфування високоміцних покриттів	121
4.2. Технічне забезпечення алмазного електроерозійного глибинного шліфування	129
4.3. Технологічні можливості глибинного алмазного електроерозійного шліфування високоміцних покриттів	137
4.4. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечної технології глибинного алмазного електроерозійного шліфу- вання деталей двигуна внутрішнього згорання	148

4.5. Ефективність застосування екологічно безпечної технології алмазного електроерозійного шліфування бурових інструментів із високоміцними покриттями	161
4.6. Ефективність застосування екологічно безпечної технології алмазного електроерозійного шліфування твердосплавних і швидкорізальних інструментів	164
4.7. Практичні рекомендації зі створення екологічно безпечних технологій алмазного електроерозійного шліфування ущільнювальних кілець із композиційного матеріалу на основі реліту	168
Запитання для самостійного контролю	184
Розділ 5. Сучасні екологічно безпечні технології видавничо-поліграфічної галузі	185
5.1. Цифровий друк та перспективи його розвитку	185
5.2. Сутність та перспективи розвитку традиційних методів друку	193
5.3. Тенденції розвитку поліграфічних технологій	200
5.4. Застосування сучасних технологій "Комп'ютер – ... " у виробництві друкарської продукції	201
Запитання для самостійного контролю	210
Список використаних джерел	211

Навчальне видання

**Федір Васильович Новіков
Григорій Васильович Новіков
Валерій Олексійович Жовтобрюх**

**БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ
ТА ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА**

Навчальний посібник

Відповідальний за випуск **Новіков Ф. В.**

В авторській редакції

Підп. до друку 05.01.2023 р.
Формат 60x84/16. Друк офсетний. Ум.-друк. арк. 12,76.
Наклад 300 пр. Заказ № 3.

Видавництво та друкарня ПП "Ліра ЛТД"
49107, м. Дніпро, вул. Наукова, 5
Свідоцтво про внесення до Держреєстру
ДК № 6042 від 26.02.2018.