

ДЕРЖАВНИЙ ВИЩИЙ НАВЧАЛЬНИЙ ЗАКЛАД
«ПРИАЗОВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ»

Анділахай Володимир Олександрович

УДК 621.923

**ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ШЛІФУВАННЯ НАПЛАВЛЕНИХ
КОНТАКТНИХ ПОВЕРХОНЬ ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ ДЕТАЛЕЙ
МЕТАЛУРГІЙНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ**

Спеціальність 05.02.08 - технологія машинобудування

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Маріуполь – 2011

Дисертацією є рукопис

Робота виконана в ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет"
Міністерства освіти і науки України

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Новіков Федір Васильович,
Харківський національний
економічний університет,
професор кафедри "Техніка і технології"

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Сизий Юрій Анатолійович,
Національний технічний університет "ХП",
професор кафедри "Технологія машинобудування
та металорізальні верстати "

кандидат технічних наук, доцент
Воронцов Борис Сергійович,
Східноукраїнський національний
університет ім. В. Даля,
доцент кафедри "Технологія машинобудування та
інженерний консалтинг"

Захист відбудеться "20" квітня 2011 р. о 11.00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради К 12.052.03 в ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет" за адресою: 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет" за адресою: 87500, м. Маріуполь, вул. Університетська, 7.

Автореферат розісланий "18" березня 2011 р.

Вчений секретар спеціалізованої вченої
ради кандидат технічних наук, доцент

Ю. В. Гусєв

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Нанесення на робочі поверхні відповідальних деталей зносостійких наплавлених матеріалів стало важливим чинником підвищення їх експлуатаційних властивостей. В особливій мірі це відноситься до контактних поверхонь великих і малих конусів і чаш (діаметром відповідно 2000 мм і 5000 мм) засипних апаратів доменних печей, які працюють в умовах інтенсивного зносу і швидко виходять з ладу. Нанесення на дані поверхні зносостійких наплавлених матеріалів твердістю HRC 57 і більше дозволяє істотно підвищити їх надійність і ресурс роботи. Однак при цьому виникає проблема їх високоякісної обробки на операціях круглого шліфування. У зв'язку з високою силовою і тепловою напруженістю процесу шліфування, забезпечення необхідних показників точності і якості оброблюваних поверхонь в умовах знімання значних нерівномірних припусків (3 – 7 мм на сторону) пов'язане з надзвичайно високою трудомісткістю обробки. Застосування прогресивного методу алмазного електроерозійного шліфування також позитивних результатів не показало. Алмазний круг при цьому інтенсивно засалюється і втрачає ріжучу здатність, що фактично веде до припинення процесу зняття припуску. Все це вимагає визначення нових технологічних можливостей шліфування, які забезпечують підвищення точності, якості та продуктивності обробки. У зв'язку з цим, у роботі вирішується актуальна науково-практична задача розробки і впровадження ефективного технологічного процесу круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей на основі науково обґрунтованого вибору оптимальної схеми і параметрів режимів шліфування.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Робота виконана відповідно до програми науково-технічного співробітництва ВАТ "Азовзагальмаш" і ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет» на тему "Підвищення продуктивності абразивної обробки наплавлених важкооброблюваних поверхонь" (ДР № 0111U001118); «Методи та засоби підвищення точності та експлуатаційної надійності деталей машин» 2010 р. (ДР № 0109U006812); «Методи та засоби підвищення точності та експлуатаційної надійності деталей машин» 2011 р. (ДР № 0110U006585). Здобувач брав безпосередню участь у виконанні робіт як відповідальний виконавець.

Мета і задачі досліджень. Метою дисертаційної роботи є підвищення якості та продуктивності обробки при круглому шліфуванні контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей на основі науково обґрунтованого вибору оптимальної схеми і параметрів режимів шліфування.

Для досягнення поставленої мети в роботі вирішувалися наступні задачі:

- теоретично визначити максимально можливу продуктивність обробки при круглому шліфуванні з низькою жорсткістю технологічної системи з урахуванням обмежень по точності і якості оброблюваних поверхонь;
- аналітично описати в узагальненому вигляді енергоємність обробки при шліфуванні з урахуванням процесів різання і тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом і на цій основі обґрунтувати умови її зменшення;
- оцінити технологічні можливості алмазного електроерозійного шліфування зносостійких наплавлених матеріалів;

– провести обґрунтування і вибір оптимальної схеми і параметрів режимів круглого шліфування деталей з зносостійкими наплавленими матеріалами;

– провести експериментальні дослідження основних технологічних параметрів круглого шліфування деталей з зносостійкими наплавленими матеріалами і оцінити достовірність отриманих теоретичних рішень;

– розробити та впровадити ефективний технологічний процес круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

Об'єкт дослідження – технологічний процес круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

Предмет дослідження – визначення оптимальних умов круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей, які забезпечують підвищення якості та продуктивності обробки.

Методи дослідження. Теоретичні дослідження проводились з використанням методів, які базуються на фундаментальних положеннях технології машинобудування, теорії різання матеріалів, опору матеріалів, фізики, математичного аналізу, теорії ймовірностей, а також математичного моделювання. Експериментальні дослідження виконані із застосуванням електронного твердоміра ТЕМП-3, профілографа-профілометра мод. 201, універсального тензометричного динамометра УДМ-600, тензопідсилювача ТОПАЗ-3.01 з блоком живлення «Агат», інтерферометра МП-4У.42 для замірів шорсткості, комплекту К-50 для замірів спожитої електричної потужності електродвігуна при шліфуванні, квадранта з похибкою замірів кута – 30 секунд, спеціально виготовленого пристрою для замірів фактичної глибини шліфування з використанням індикатора годинникового типу, рівня бульбашкового, безконтактного електронного амперметра для замірів електричного струму при шліфуванні.

Наукова новизна отриманих результатів. 1. Отримала подальший розвиток математична модель визначення параметрів шліфування з низькою жорсткістю технологічної системи і на її основі обґрунтовано умови підвищення якості та продуктивності обробки при круглому шліфуванні наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей металургійного призначення при зніманні значних нерівномірних припусків.

2. Вперше теоретично доведено, що в умовах круглого шліфування з низькою жорсткістю технологічної системи підвищити продуктивність обробки при одночасному зменшенні нерівномірності припуску, що знімається, і енергоємності обробки можна за рахунок застосування шліфування з заданим натягом в технологічній системі і невеликою швидкістю поздовжньої подачі.

3. Вперше аналітично встановлено, що енергоємність обробки при шліфуванні в загальному вигляді визначається співвідношенням радіальної складової сили різання, зумовленої тертям зв'язки круга з оброблюваним матеріалом, і сумарною радіальної складової сили різання. Збільшення цього співвідношення в межах від 0 до 1 викликає необмежене збільшення енергоємності обробки, що є основною причиною високих значень енергоємності обробки при шліфуванні, які досягаються на практиці.

4. Вперше обґрунтовані умови підвищення точності обробки конічної наплавленою поверхні, які полягають в зміні напрямку руху круга вздовж твірної конічної поверхні на розрахунковий кут, що дозволяє компенсувати розмірний знос круга і підтримувати постійною глибину шліфування.

Практична значимість отриманих результатів полягає в тому, що на основі проведених теоретичних і експериментальних досліджень розроблений ефективний технологічний процес круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей. Він забезпечує підвищення продуктивності обробки при одночасному забезпеченні необхідних показників точності і якості оброблюваних поверхонь за рахунок зниження силової і теплової напруженості процесу шліфування. Розроблений технологічний процес впроваджено у ВАТ "Азовмаш" з економічним ефектом 105 тисяч гривень на рік. Результати досліджень роботи використовуються в навчальному процесі на кафедрі "Технологія машинобудування" ДВНЗ "Приазовський державний технічний університет" та на кафедрі "Техніка і технології" Харківського національного економічного університету.

Особистий внесок здобувача. Всі основні результати, які виносяться на захист, отримані здобувачем самостійно та опубліковані в 16 наукових роботах. Постановка наукових завдань та обговорення результатів проводились спільно з науковим керівником. У роботах, опублікованих у співавторстві, здобувачеві належать: обґрунтування та вибір оптимальної кінематичної схеми круглого шліфування за критерієм максимально можливої продуктивності обробки з урахуванням обмежень по точності і зносу круга; аналітичний опис і обґрунтування умов зменшення енергоємності обробки з урахуванням зношування круга; обґрунтування умов підвищення ефективності алмазного електроерозійного шліфування деталей з зносостійкими наплавленнями; визначення умов зменшення температури різання при глибинному шліфуванні; оцінка ефективності роботи абразивного круга в режимі інтенсивного зносу і самозагострювання; експериментальна оцінка достовірності отриманих теоретичних рішень; розробка практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності круглого шліфування контактних наплавлених поверхонь конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертації доповідалися і обговорювалися на XIV, XVI Міжнародних науково-технічних конференціях «Фізичні і комп'ютерні технології», м. Харків, 2008, 2010 р.р.; Міжнародній науково-технічній конференції «Сучасні проблеми трибології», присвяченій 100-річчю Б.І. Костецького, м. Київ, 2010 р.; науково-технічних конференціях «Нові і нетрадиційні технології в ресурсо- і енергозбереженні», м. Одеса, 2010 р.р.; VI, VII Міжнародних науково-технічних конференціях «Сучасні інструментальні системи, інформаційні технології та інновації», м. Курськ, Росія, 2008, 2010 р.р.; I Міжнародній науково-практичній конференції «Інновації, якість і сервіс в техніці та технологіях», м. Курськ, Росія, 2009 р.; Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми сучасної промислової безпеки та екології», м. Курськ, Росія, 2010 р.

Публікації. Основні результати дисертаційної роботи опубліковані в 16 наукових працях, в тому числі 8 наукових праць у виданнях, затверджених ВАК України, та 8 – в матеріалах міжнародних конференцій.

Структура та обсяг дисертації. Дисертаційна робота складається з вступу, чотирьох розділів з висновками, загальних висновків, списку використаних літературних джерел і 4 додатків. Загальний обсяг дисертації становить 250 сторінок, з них 116 ілюстрацій на 58 сторінках, 24 таблиці по тексту, 11 таблиць на 11 сторінках, 155 найменувань використаних літературних джерел на 18 сторінках, 4 додатки на 22 сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі дана загальна характеристика роботи, в якій обґрунтовані актуальність, новизна і практична значимість отриманих результатів, сформульовані мета і задачі досліджень. Показаний особистий внесок здобувача в виконану роботу та наведено результати апробації дисертації.

У першому розділі проведено аналіз діючого технологічного процесу круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами великих і малих конусів і чаш (відповідно діаметром 5000 мм і 2000 мм) засипних апаратів доменних печей та виявлено його основні недоліки, пов'язані з високою трудомісткістю забезпечення необхідних параметрів точності і якості оброблюваних поверхонь. Основними причинами низької ефективності обробки є низька оброблюваність шліфуванням зносостійких наплавлених матеріалів, наприклад, Пл-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (ГОСТ 26467-85) твердістю НРС 58–59, значна нерівномірність припуску, що знімається (3–7 мм на сторону), велика площа оброблюваних поверхонь і низька жорсткість технологічної системи (токарно-карусельного верстата, на якому здійснюється процес шліфування). Висока силова і теплова напруженість процесу шліфування викликає також утворення на оброблюваних поверхнях припикань та інших температурних дефектів, які знижують якість обробки.

Показано, що одним із шляхів підвищення ефективності шліфування деталей з зносостійкими наплавленими матеріалами може бути застосування алмазних кругів на міцних металевих зв'язках, які працюють в режимі електроерозійного шліфування. Однак, як встановлено експериментально, в умовах високопродуктивного зняття припуску застосування алмазного електроерозійного шліфування виявилось малоефективним внаслідок засалювання алмазного круга і втрати його ріжучої здатності. З цього зроблено висновок про необхідність проведення подальших досліджень алмазного електроерозійного шліфування.

На основі аналізу літературних джерел сформульовано основні умови підвищення точності, якості та продуктивності обробки деталей з зносостійкими наплавленими матеріалами. Показано суттєву роль виникаючих у технологічній системі пружних переміщень у формуванні параметрів точності обробки при шліфуванні, особливо при зніманні значних нерівномірних припусків. Показано також, що підвищити ефективність діючого технологічного процесу шліфування можна шляхом зниження силової і теплової напруженості процесу шліфування за рахунок вибору та обґрунтування нових прогресивних схем шліфування та оптимальних режимів різання. При цьому важливо забезпечити усунення нерівномірності припуску, що знімається на операції попереднього шліфування, що дозволить скоротити тривалість операції остаточного шліфування. На підставі цього сформульовано мету і задачі досліджень, які наведені вище.

У другому розділі аналітично обґрунтовані умови підвищення точності і продуктивності обробки на операціях круглого шліфування при зніманні великих припусків. Для цього спочатку визначені умови усунення нерівномірності припуску, що знімається, на операції попереднього шліфування при відносно низькій жорсткості технологічної системи. Використовуючи теоретичний підхід до встановлення похибок обробки (обумовлених виникаючими у технологічній системі пружними переміщеннями), запропонований проф. Новіковим Ф. В., аналітично визначена похибка форми оброблюваної поверхні при круглому шліфуванні за жорсткою схемою (рис. 1):

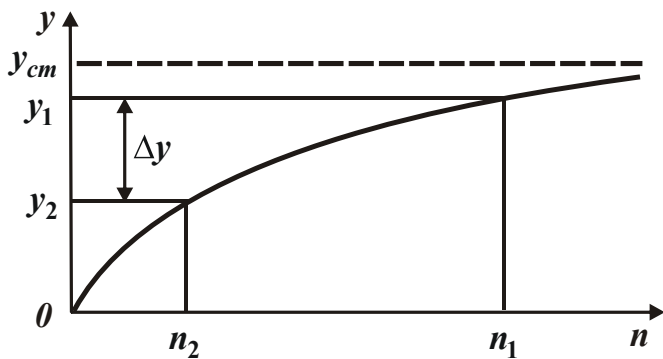


Рис. 1. Залежність величини y від кількості проходів n .

$y_{cm} = B_1 \cdot t$ – пружне переміщення, що утворюється при сталому процесі шліфування, м; $B_1 = \frac{\pi \cdot D_{дет} \cdot S_{позд} \cdot \sigma}{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}$ – безрозмірний параметр; $\varepsilon = 1 + \frac{1}{B_1}$ –

уточнення на проході круга; t – глибина шліфування, м; $S_{позд}$ – швидкість поздовжньої подачі, м/с; $V_{кр}$ – швидкість круга, м/с; σ – умовне напруження різання, МПа (енергоємність обробки, Дж/м³); $K_{ш} = P_z / P_y$ – коефіцієнт шліфування; P_z, P_y – тангенціальна і радіальна складові сили різання, Н; c – жорсткість технологічної системи, Н/м; $D_{дет}$ – діаметр деталі, м.

Згідно залежності (1), зменшити $\Delta y \rightarrow 0$ можна зменшенням величини y_{cm} і збільшенням ε , n_1 і n_2 . Зменшення $y_{cm} = B_1 \cdot t$ і збільшення ε пов'язане зі

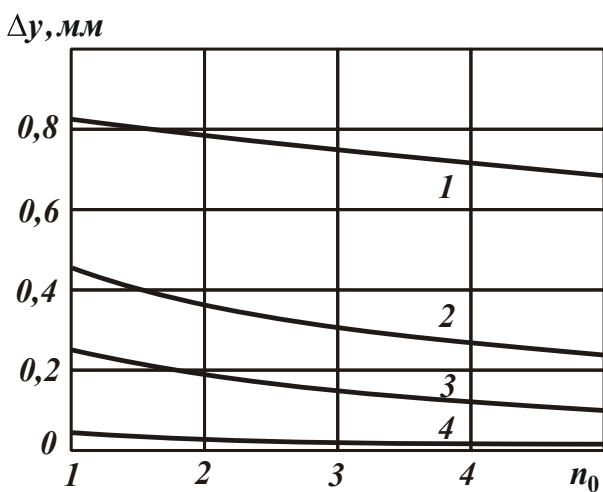


Рис. 2. Залежність Δy від n_0 : 1 – $\varepsilon = 1,1$; 2 – $\varepsilon = 1,5$; 3 – $\varepsilon = 2$; 4 – $\varepsilon = 5$.

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

$$\Delta y = y_1 - y_2 = y_{cm} \cdot (\varepsilon^{-n_2} - \varepsilon^{-n_1}), \quad (1)$$

де y_1, y_2 – пружні переміщення, що утворюються при обробці ділянок поверхні з найбільшим і найменшим припусками, що знімаються, м; n_1, n_2 – кількість проходів круга;

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

зменшенням B_1 шляхом зменшення параметрів σ , $S_{позд}$, $D_{дет}$ і збільшення c , $K_{ш}$ і $V_{кр}$. Збільшення кількості проходів круга n_1 і n_2 передбачає забезпечення сталого в часі процесу шліфування, при якому $y_1 \rightarrow y_{cm}$ і $y_2 \rightarrow y_{cm}$ (рис. 1). Проте, це можливо при відносно великих значеннях уточнення $\varepsilon > 1$. Інакше відбуватиметься копіювання оброблюваної поверхні по проходах круга, що має місце в діючому процесі круглого шліфування. Тому необхідно збільшувати ε за рахунок зменшення безрозмірного параметра B_1 .

На рис. 2 приведені розраховані по перетвореній залежності (1)

$$\Delta y = \frac{\Delta \Pi}{(\varepsilon - 1)} \cdot \varepsilon^{-n_2} \cdot \frac{(1 - \varepsilon^{-n_0})}{n_0} \quad (2)$$

значення Δy (де $n_0 = n_1 - n_2 = \Delta \Pi / t$; $\Delta \Pi = \Pi_1 - \Pi_2$; Π_1, Π_2 – найбільше і найменше значення припуску, що знімається, м). Як видно, зменшити Δy можна збільшенням n_0 і ε , що досягається зменшенням параметрів t , S_{noz} . Проте, це знижує продуктивність обробки $Q = \pi \cdot D_{det} \cdot S_{noz} \cdot t$ і не ефективно. Ефективніше застосування шліфування із заданим натягом в технологічній системі, рівним величині y_{cm} (рис. 1). Це дозволить збільшити Q за рахунок виключення перехідного процесу в технологічній системі і забезпечення рівності фактичної і номінальної глибин шліфування:

$$Q = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot y_{cm}}{\sigma} \quad (3)$$

Зі збільшенням y_{cm} продуктивність обробки Q збільшується, що припускає застосування глибинного шліфування. Відношення $y_{cm} / t = B_1$. Отже, чим менше B_1 (менше S_{noz} , $\sigma / K_{ш}$ і більше c , $V_{кр}$), тим більшу глибину шліфування t можна реалізувати при заданому значенні y_{cm} .

Пружне переміщення y і уточнення ε визначаються залежностями:

$$y = t \cdot (B_1 - 1) \text{ і } \varepsilon = \frac{y_{cm}}{y} = 1 / \left(1 - \frac{1}{B_1} \right).$$

Істотно зменшити величину y і підвищити точність обробки можна за рахунок виконання умови $B_1 = 1$ шляхом зменшення S_{noz} , яка не входить в (3) і не впливає на Q (рис. 3).

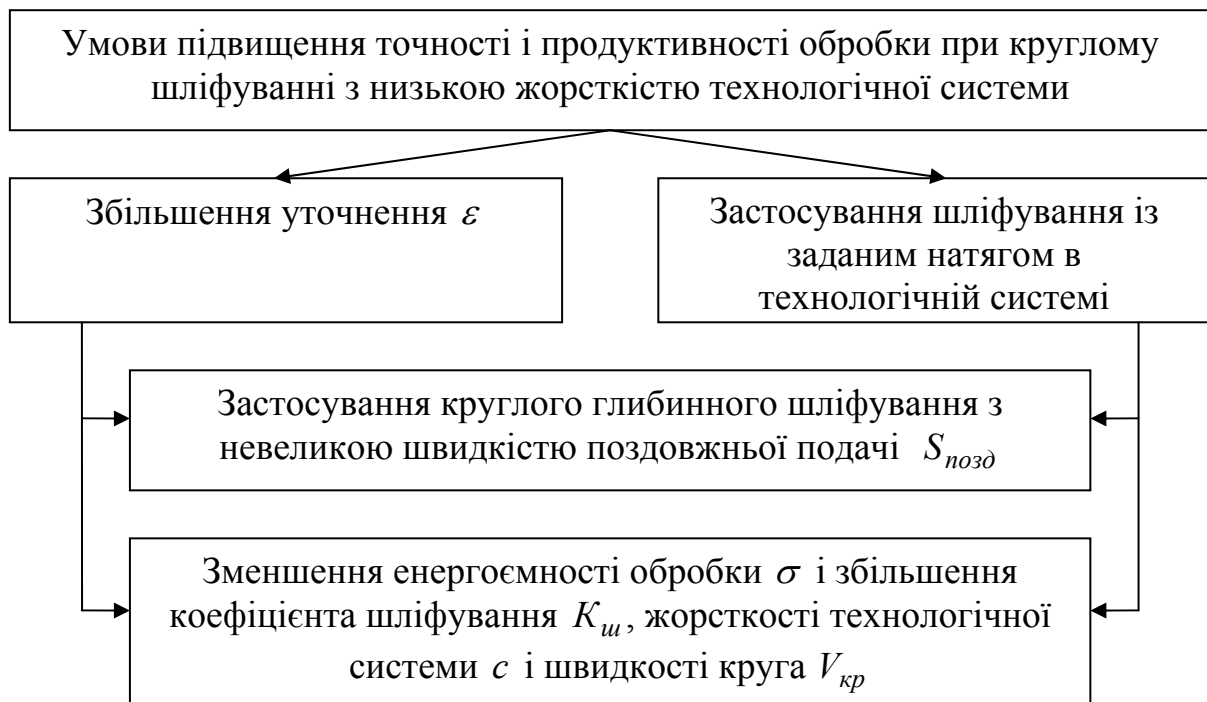


Рис. 3. Структурна схема умов підвищення точності і продуктивності обробки при круглому шліфуванні з низькою жорсткістю технологічної системи.

Радіальна складова сили різання

$$P_y = P_{cm} \cdot \left(1 - \frac{1}{B_1}\right) \quad (4)$$

в даному випадку не дорівнює радіальному зусиллю $P_{cm} = c \cdot y_{cm}$, який відповідає натягу в технологічній системі, рівному y_{cm} . Приблизна рівність значень P_{cm} і P_y можлива лише за умови $B_1 \rightarrow \infty$. З цього витікає, що схему шліфування з заданим натягом в технологічній системі не можна розглядати як пружну схему шліфування з фіксованим радіальним зусиллям (коли $P_{cm} = P_y$). Як відомо, дана схема приводить до копіювання форми оброблюваної поверхні по проходах круга і не дозволяє усунути похибку форми оброблюваної поверхні, що особливо важливо при зніманні значних нерівномірних припусків в умовах круглого шліфування наплавлених контактних поверхонь. Саме цією обставиною схема шліфування з заданим натягом в технологічній системі позитивно відрізняється від пружної схеми шліфування з фіксованим радіальним зусиллям ($P_{cm} = P_y$) і може бути ефективно застосована при круглому шліфуванні наплавлених контактних поверхонь конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

У роботі визначена максимально можлива продуктивність обробки при круглому шліфуванні (з низькою жорсткістю технологічної системи) з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні, обумовленої пружним переміщенням в системі:

$$Q_{max} = \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр} \cdot (y_{cm} - y)}{\sigma \cdot \ln \varepsilon_{сум}}, \quad (5)$$

де $\varepsilon_{сум} = y_{cm} / y = \varepsilon^n$ – сумарне уточнення.

Залежність (5) справедлива за умови необмеженого збільшення кількості проходів $n \rightarrow \infty$ і швидкості деталі $V_{дет} \rightarrow \infty$. Цю умову можна реалізувати як при шліфуванні за пружною схемою з початковим натягом y_{cm} в технологічній системі (тобто за схемою виходжування), так і при шліфуванні за жорсткою схемою з номінальною глибиною шліфування $\Delta t = t / n$. Схеми круглого врізного багатопрохідного шліфування (уступами) і глибинного поздовжнього шліфування з невеликою частковою поздовжньою подачею $S_d \ll 1$ в цьому плані рівносильні. Виходячи із залежності (5), збільшити Q_{max} можна також збільшенням параметрів c , $K_{ш}$, $V_{кр}$, t , y і зменшенням σ . Неважко бачити, що значення Q_{max} , розраховані по залежності (5), менше аналогічних значень Q , розрахованих по залежності (3). Отже шліфування із заданим початковим натягом в технологічній системі забезпечує вищу продуктивність обробки, чим шліфування за пружною схемою з початковим натягом y_{cm} .

Підпорядковуючи наведене вище рішення обмеженню по максимальній (граничній) товщині зрізу окремим зерном круга H_{max} , обумовленої властивостями міцності робочої поверхні круга, отримана аналітична залежність для визначення величини пружного переміщення, визначаючого похибку розміру оброблюваної поверхні

$$y = t \cdot e^{-M \cdot \sqrt{t}}, \quad (6)$$

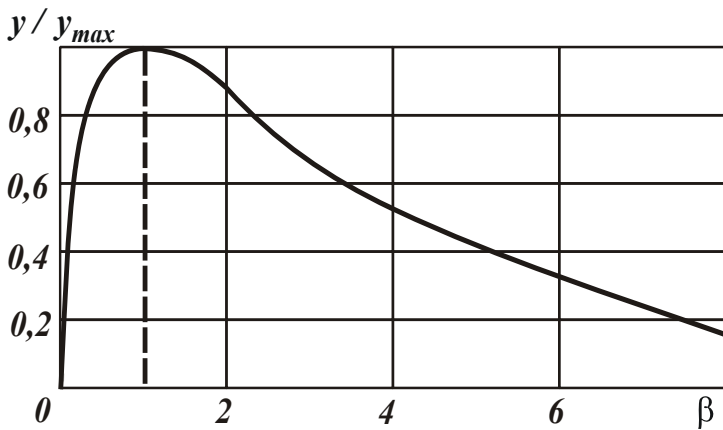


Рис. 4. Залежність y/y_{max} від β .

$$\text{де } M = \frac{c \cdot K_{ш}^2}{2 \cdot \sigma_{ст} \cdot B} \cdot \frac{630 \cdot \pi \cdot \bar{X}^3}{m \cdot H_{max}^3 \cdot \sqrt{S_{\delta} \cdot R_{кр}}};$$

m – об'ємна концентрація зерен круга; \bar{X} – зернистість круга, м; $R_{кр}, B$ – радіус і висота круга, м; $\sigma_{ст}$ – межа міцності на стиск оброблюваного матеріалу, МПа.

Встановлено, що в цьому випадку має місце екстремум (максимум) величини y в залежності від глибини шліфування t (рис. 4).

Екстремальні значення $t_{екстр}$ і y_{max} , а також відношення y/y_{max} описуються залежностями:

$$t_{екстр} = \frac{4}{M^2}; \quad y_{max} = 0,138 \cdot t_{екстр}; \quad \frac{y}{y_{max}} = 7,41 \cdot \beta \cdot e^{-2 \cdot \sqrt{\beta}}, \quad \text{де } \beta = t/t_{екстр}.$$

Отже, одне і те ж значення y можна забезпечити як при багатопрохідному, так і при глибинному шліфуванні. Встановлено, що застосування глибинного шліфування з $S_{\delta}=1$ і невеликою швидкістю деталі $V_{дет}$ забезпечує найменший основний час обробки τ при зніманні заданого припуску (рівного t):

$$\tau = \frac{630\pi \cdot \bar{X}^3 \cdot L}{m \cdot V_{кр} \cdot H_{max}^3} \cdot \sqrt{\frac{t}{S_{\delta} \cdot R_{кр}}}, \quad (7)$$

де L – довжина поздовжнього ходу круга, м.

Встановлено також, що досягнення такого ж значення основного часу обробки τ при глибинному шліфуванні з $S_{\delta} \ll 1$ і збільшеною швидкістю деталі $V_{дет}$ вимагає збільшення H_{max} , що зумовлює підвищення зносу круга. З цього зроблено висновок про ефективність застосування даної схеми при шліфуванні абразивним кругом, який працює в режимі самозагострювання і характеризується високою ріжучою здатністю. Застосування схеми глибинного шліфування з $S_{\delta}=1$ і відносно невеликою швидкістю деталі $V_{дет}$ доцільно при обробці алмазним кругом на металевій зв'язці, який працює в режимі затуплення та періодичної електроерозійної правки й не допускає підвищеного зносу. У зв'язку з цим в роботі визначені можливості ефективного здійснення електроерозійної правки алмазних кругів при шліфуванні наплавлених зносостійких матеріалів. Відомо, що в цьому випадку необхідно забезпечити повне або часткове термічне руйнування стружок, що утворюються, з метою виключення засалювання алмазного круга. Розрахунками встановлено, що температура нагрівання θ стружок, що утворюються, в процесі шліфування визначається залежністю

$$\theta = \frac{1}{c \cdot \rho} \cdot \frac{N}{Q}, \quad (8)$$

де N – потужність шліфування, Вт; c – питома теплоємність оброблюваного матеріалу, Дж/кг·К; ρ – щільність оброблюваного матеріалу, кг/м³.

За фізичної суті відношення N/Q визначає енергоємність обробки при шліфуванні σ . Розглядаючи параметр N як потужність сили струму при електроерозійній правці круга, по залежності (8) можна визначити температуру

термічного руйнування стружок. При електроерозійній правці потужність струму N багаторазово перевищує потужність процесу різання, оскільки температура руйнування стружок, що утворюються, більш ніж на порядок перевищує температуру шліфування. З цього витікає, що для ефективного ведення високопродуктивного процесу глибинного алмазного електроерозійного шліфування наплавлених матеріалів в зону обробки необхідно вводити велику кількість електричної енергії, що значно перевищує енергію, що витрачається при шліфуванні. Це не завжди доцільно, чим і обумовлено обмежене застосування алмазного електроерозійного шліфування на практиці при обробці зносостійких наплавлених матеріалів.

У третьому розділі визначені технологічні можливості підвищення якості та продуктивності обробки на операціях круглого шліфування. Для цього аналітично визначені коефіцієнт шліфування $K_{ш}$, умовне напруження різання σ (енергоємність обробки) і співвідношення $\sigma / K_{ш}$:

$$K_{ш} = \frac{P_z}{P_y} = \frac{P_{zp} + P_{zтер}}{P_{yp} + P_{утер}} = K_{шр} \cdot \left(1 - \frac{P_{утер}}{P_y}\right) + f \cdot \frac{P_{утер}}{P_y}, \quad (9)$$

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_{тер} = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{шр}} \cdot \frac{1}{\left(\frac{P_y}{P_{утер}} - 1\right)}, \quad (10)$$

$$\frac{\sigma}{K_{ш}} = \frac{\sigma_p}{K_{шр}} \cdot \frac{1}{\left(1 - \frac{P_{утер}}{P_y}\right)}, \quad (11)$$

де P_{zp} , P_{yp} – тангенціальна і радіальна складові сили різання в зоні стружкоутворення, Н; $P_{zтер}$, $P_{утер}$ – тангенціальна і радіальна складові сили тертя

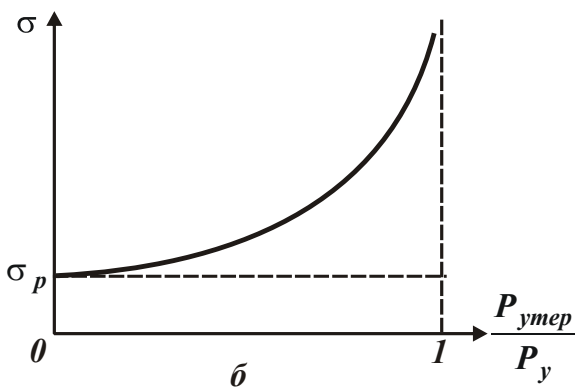
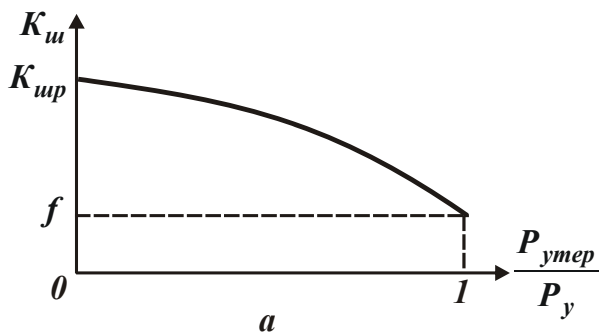


Рис. 5. Залежності $K_{ш}$ (а) і σ (б) від $P_{утер} / P_y$.

оброблюваного матеріалу із зв'язкою круга, Н; $K_{шр} = P_{zp} / P_{yp}$; $f = P_{zтер} / P_{утер}$ – коефіцієнт тертя; $\sigma_p = P_{zp} / S_{сум}$, $\sigma_{тер} = P_{zтер} / S_{сум}$ – складові умовного напруження різання, обумовленого процесами різання і тертя оброблюваного матеріалу із зв'язкою круга, МПа; $S_{сум} = Q / V_{кр}$ – миттєва сумарна площа поперечного перерізу зрізу усіма одночасно працюючими зернами круга, м².

Як видно, параметри $K_{ш}$, σ і $\sigma / K_{ш}$ обумовлені співвідношенням $P_{утер} / P_y$ (рис. 5). З його збільшенням від 0 до 1 параметри σ і $\sigma / K_{ш}$ необмежено збільшуються. Це свідчить про переважання в загальному енергетичному балансі процесу шліфування долі енергії тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом, яка, наприклад, при алмазному шліфуванні може перевищувати долю енергії різання

зернами круга до 100 разів. Отримане теоретичне рішення узгоджується з відомими експериментальними даними.

Представляючи P_y у вигляді $P_y = P_{yp} + P_{yтер} = c \cdot y_1 + c \cdot y_2$, отримано

$$\sigma = \sigma_p + \sigma_p \cdot \frac{f}{K_{up}} \cdot \left(\frac{n}{\alpha} - 1 \right), \quad (12)$$

$$\sigma_p = \frac{K_{up} \cdot c \cdot V_{кр} \cdot \alpha}{B \cdot V_{дет}} \cdot \left(\frac{t}{t_\phi} - 1 \right), \quad (13)$$

де $y_1 = \alpha \cdot (t - t_\phi)$ – пружне переміщення, що утворюється в технологічній системі від сили P_{yp} ; $y_2 = (n - \alpha) \cdot (t - t_\phi)$ – пружне переміщення, що утворюється від сили $P_{yтер}$; $\alpha = 0 \dots 1$ – безрозмірна величина; t_ϕ – фактична глибина шліфування, обумовлена властивостями міцності робочої поверхні круга, m ; n – кількість проходів круга.

З наведених залежностей випливає, що із збільшенням відношення t_ϕ/t і n енергоємність обробки σ при шліфуванні необмежено збільшується. Отже, основними шляхами зменшення σ є зменшення відношення t_ϕ/t і виключення впливу n на σ за рахунок підтримки в процесі шліфування в технологічній системі заданого натягу (в даному випадку рівного $y_{cm} = t$). Тоді $n=1$ і за рахунок збільшення величини $\alpha \rightarrow 1$ можна практично виключити другий доданок залежності (13), тобто істотно зменшити тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Енергоємність обробки в цьому випадку буде обумовлена процесом різання, що дозволить зменшити сили і температуру шліфування і практично реалізувати схему глибинного поздовжнього шліфування з $S_\delta \ll 1$ і збільшеною швидкістю деталі. Як встановлено теоретично, дана схема шліфування забезпечує меншу температуру в порівнянні зі схемою глибинного поздовжнього шліфування з невеликою швидкістю деталі й $S_\delta \approx 1$.

У четвертому розділі наведено результати експериментальних досліджень, розробки і впровадження ефективного технологічного процесу круглого шліфування контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей. Експериментально встановлено, що при круглому абразивному зовнішньому шліфуванні циліндричної поверхні зразка діаметром 95 мм з наплавленим матеріалом Пл-Нп 500Х40НС2РЦ-Б-С (твердістю HRC 58-59) в лабораторних умовах на круглошліфувальному верстаті мод. 3А151 забезпечуються досить високі показники обробки (рис. 6). Ефекту досягнуто завдяки здійсненню глибинного шліфування ($t=0,1 \dots 0,25$ мм; $V_{дет}=30 \dots 48,6$ м/хв; $S_{нозд}=60 \dots 142$ мм/хв; $V_{кр}=25,6$ м/с) при підвищеній жорсткості технологічної системи ($c=11,11 \cdot 10^6$ Н/м). При цьому уточнення

$\varepsilon = 1 + \frac{c \cdot K_{ш} \cdot V_{кр}}{\pi \cdot D_{дет} \cdot S_{нозд} \cdot \sigma}$ приймає значення – 6,46...8,33 ($t/t_\phi=1,331 \dots 1,464$;

$B_1=0,331 \dots 0,464$). Домогтися такого ж ефекту у виробничих умовах при круглому шліфуванні наплавлених контактних поверхонь конусів і чаш діаметром $D_{дет}=5000$ мм на токарно-карусельному верстаті складно у зв'язку з низькою жорсткістю технологічної системи ($c=3,42 \cdot 10^6$ Н/м). У цьому випадку при $S_{нозд}=142$ мм/хв розрахункове значення уточнення досить мале $\varepsilon=1,032$

($t/t_\phi=32,25$; $B_1=31,25$). В умовах поздовжнього багатопрохідного шліфування ($S_{noz\delta}=1-2$ м/хв) значення t/t_ϕ багаторазово збільшуються, а уточнення $\varepsilon \rightarrow 1$.

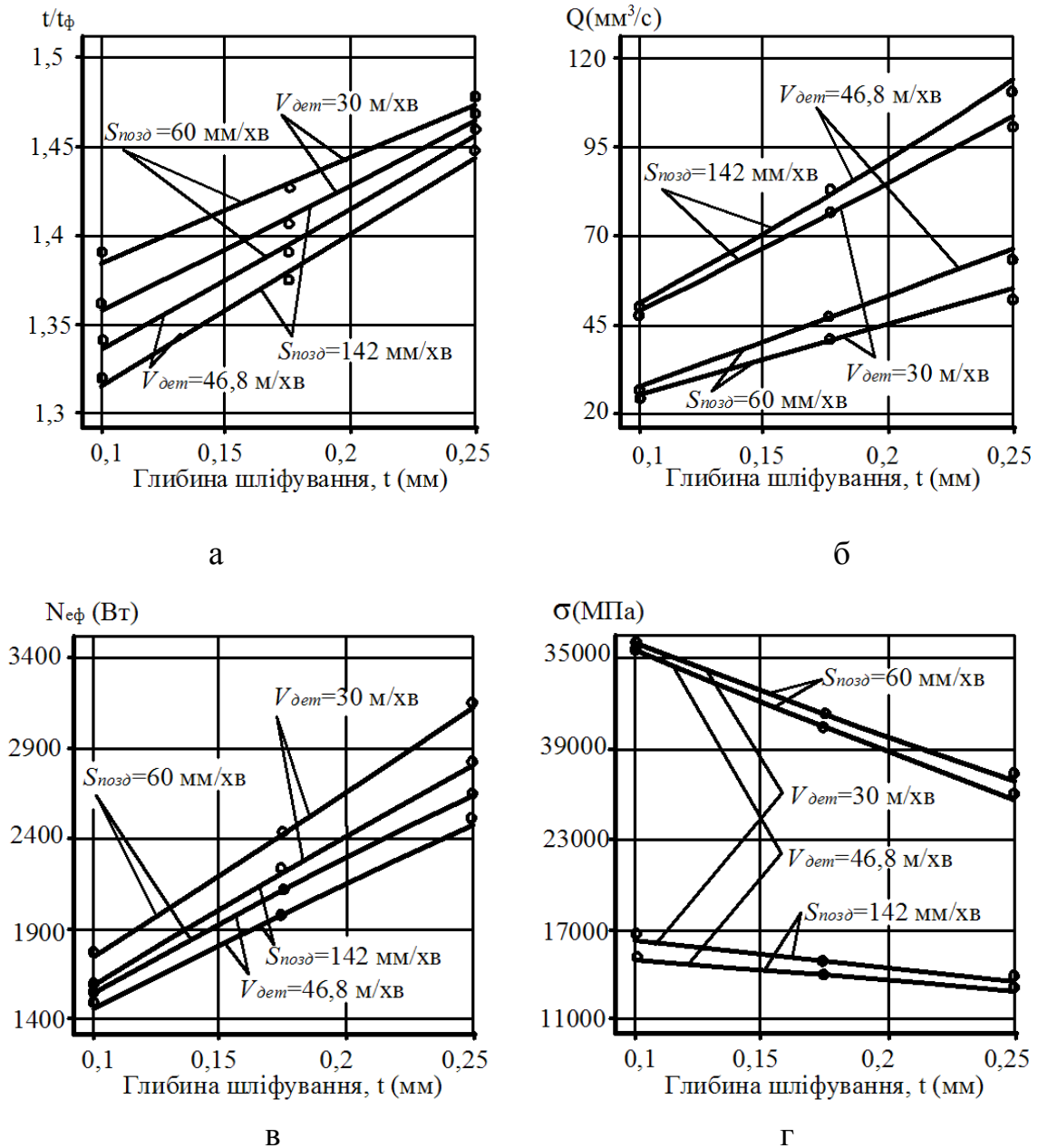


Рис. 6. Залежності t/t_ϕ (а), Q (б), $N_{\text{эф}}$ (в) і σ (г) від глибини шліфування t : о – експериментальні контрольні точки; — розрахункові дані (з математичної моделі).

Цим, власне, й зумовлена низька ефективність (низькі показники продуктивності та якості обробки) діючого технологічного процесу круглого шліфування наплавлених контактних поверхонь. Як показано в розділі 2, для ефективного ведення процесу обробки при низькій жорсткості технологічної системи (тобто коли $\varepsilon \rightarrow 1$) доцільно використовувати схему круглого шліфування з заданим натягом в технологічній системі і невеликою швидкістю поздовжньої подачі. Практичною реалізацією даної схеми може бути глибинне поздовжнє шліфування з невеликою частковою поздовжньою подачею $S_\delta \ll 1$ і збільшеною швидкістю деталі. З метою оцінки достовірності теоретичних рішень

проведено експериментальні дослідження параметрів круглого зовнішнього шліфування наплавленої контактної поверхні великого конуса діаметром $D_{dem}=5000$ мм на токарно-карусельному верстаті у виробничих умовах ($V_{dem}=120$ м/хв; $S_{нозд}=41,5$ мм/хв; $V_{кр}=30$ м/с) з використанням абразивного круга ПП 500×63×203 14А 18 СТ2 ВФ (на бакелітовій зв'язці ВФ, посиленій скловолокном).

У цьому випадку розрахункові значення $B_1=t/t_\phi=9,13$; $\varepsilon=1/\left(1-\frac{1}{B_1}\right)=1,12$, де

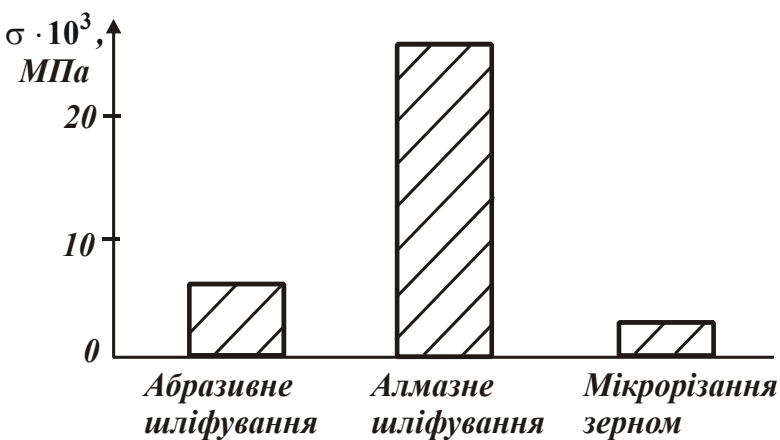
$t=y_{cm}$. Експериментально встановлено, що безрозмірний параметр B_1 приймає значення до 3-х разів менші розрахункового значення 9,13 (табл. 1). Це вказує на збільшення до 3-х разів фактичної глибини шліфування t_ϕ і відповідно продуктивності обробки в результаті зменшення енергоємності обробки σ в зв'язку з роботою великозернистого абразивного круга в режимі інтенсивного зносу і самозагострювання. Отже, ефект обробки досягається як за рахунок застосування шліфування з заданим натягом в технологічній системі, так і за рахунок застосування абразивного круга підвищеної зернистості 16–18 (по ФЕРА розмір зерна 1,6 – 1,8 мм), який характеризується підвищеною ріжучою здатністю.

Таблиця 1

Експериментальні значення параметрів шліфування

t , мм	0,1	0,15	0,45
t_ϕ , мм	0,019	0,036	0,145
$B_1=t/t_\phi$	5,2	4,1	3,1
ε	1,25	1,32	1,477
q , мм ³ абразиву / мм ³ матеріалу	0,4	0,5	4

Розрахунково-експериментальним шляхом встановлено, що енергоємність обробки при шліфуванні приймає значення ($\sigma=6286$ МПа), порівнянні з енергоємністю обробки (умовним напруженням різання), отриманим Рибицьким

Рис. 7. Значення σ для різних умов обробки.

Відсутність впливу кількості поздовжніх ходів n круга на енергоємність обробки, згідно залежності (12), при шліфуванні з заданим натягом у технологічній

В.А. при мікрорізанні одиничним зерном (рис. 7). Це свідчить про те, що в загальному енергетичному балансі процесу шліфування переважає частка енергії різання, а частка тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом незначна у зв'язку з високою ріжучою здатністю абразивного круга, який працює в режимі інтенсивного зносу і самозагострювання. Цим, зокрема, доведено

системі. Експериментально встановлено, що питомий знос круга q приймає досить великі значення – $0,5...4 \text{ мм}^3 \text{ абразиву}/\text{мм}^3 \text{ матеріалу}$, які перевищують значення q при шліфуванні високоміцних сталей і поступаються лише значенням q при шліфуванні твердих сплавів (табл. 1, рис. 8). Це обмежує збільшення натягу значенням $t=0,15 \text{ мм}$. Отримані дані дозволяють віднести розглянутий наплавлений матеріал до класу важкооброблюваних.

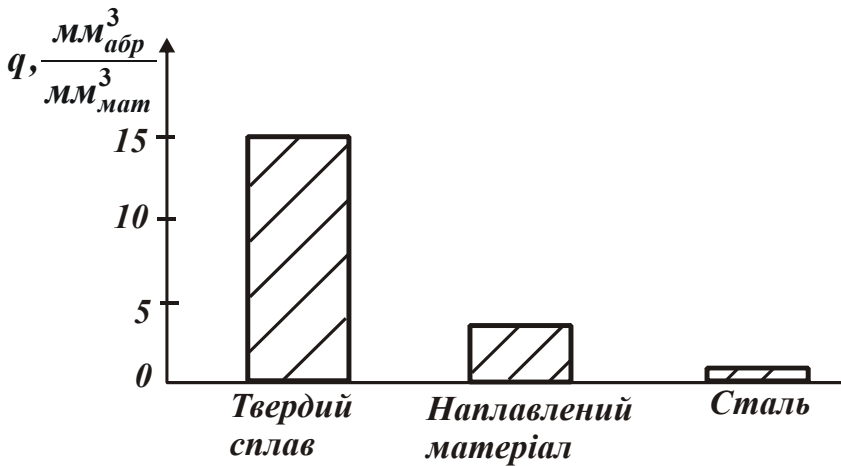


Рис. 8. Значення питомого зносу круга q для різних оброблюваних матеріалів.

У роботі проведені експериментальні дослідження алмазного електроерозійного шліфування наплавлених матеріалів. Встановлено, що, незважаючи на інтенсивну електроерозійну дію на робочу поверхню алмазного круга на металевій зв'язці, відбувається його засалювання, в результаті чого енергоємність обробки майже на порядок вища, ніж при абразивному шліфуванні

(рис. 7). Тому здійснення процесу шліфування в таких умовах є малоефективним, більш кращим варіантом обробки слід розглядати схему абразивного круглого шліфування з заданим натягом в технологічній системі, яка реалізується шляхом застосування глибинного поздовжнього шліфування з $S_d \ll 1$ і збільшеною швидкістю деталі $V_{дет} = 50...120 \text{ м/хв}$ ($t=0,1...0,2 \text{ мм}$; $S_{позд} < 42 \text{ мм/хв}$). Як показала практика, ця схема виключає утворення на оброблюваних поверхнях припикань і тріщин і забезпечує необхідні параметри якості обробки. При цьому відбувається усунення нерівномірності знімання припуску на операції попереднього шліфування, що знижує трудомісткість остаточного шліфування з забезпеченням вимог щодо точності обробки. Загальна трудомісткість обробки знижується в 2 рази. Шорсткість поверхні при попередньому шліфуванні складає $R_a=1,2...1,7 \text{ мкм}$, при остаточному – $R_a=0,6...0,8 \text{ мкм}$. Це підтверджує отримані теоретичні рішення.

Доведено, що основним резервом ефективного використання даної схеми шліфування у виробничих умовах, згідно залежності (3), є збільшення жорсткості технологічної системи.

У роботі також запропоновано рішення, що дозволяє компенсувати розмірний знос круга шляхом зміни напрямку його руху уздовж твірної кінчної поверхні на розрахунковий кут повороту ползків верстата, що забезпечує підтримання у процесі шліфування заданої глибини шліфування і сприяє підвищенню точності обробки кінчної наплавленої поверхні. Даний кут розраховується по залежності (рис. 9):

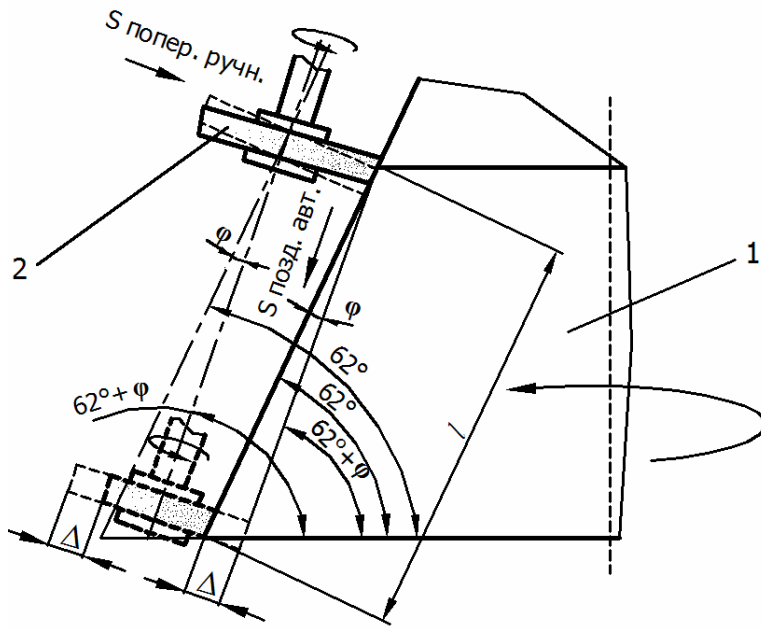


Рис. 9. Розрахункова схема круглого шліфування з автоматичною поздовжньою і одночасно ручною поперечною подачами: 1– конус; 2 – круг.

$$\varphi = \arctg \frac{\Delta}{l}, \quad (14)$$

де Δ – розмірний знос абразивного круга за перший повздовжній хід, мм; l – ширина поверхні, яка шліфується, мм.

Суть рішення полягає в тому, що по табл. 2 вибирається найближча за значенням величина зносу абразивного круга і відповідний їй кут φ , на який потрібно додатково до кута, заданого кресленням, повернути санчата верстата.

Пропоноване рішення відрізняється від рішення, яке застосовувалось на практиці, згідно з яким розмірний знос круга

компенсувався радіальною подачею круга, здійснюваною вручну. Це знижувало точність обробки (виникала похибка прямолінійності твірної конуса), перевищувалися, як правило, граничні значення подачі, що призводило до утворення на оброблюваних поверхнях припикань і мікротріщин, а також до інтенсивного зносу круга. При цьому точність обробки у значній мірі залежала від уваги та досвіду верстатника.

Таблиця 2

Розрахункові значення кута φ повороту полозків верстата

Δ , мм	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	6
φ^0	5'	11'	17'	23'	28'	34'	40'	45'	51'	57'	1 ⁰ 8'

На основі отриманих результатів розроблено ефективний технологічний процес круглого шліфування наплавлених контактних поверхонь конусів і чаш засипних апаратів доменних печей, який забезпечує підвищення продуктивності і якості обробки. Економічний ефект від його впровадження в основне виробництво ВАТ "Азовмаш" склав 105 тисяч гривень на рік.

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі на основі отриманих нових науково обґрунтованих результатів вирішена актуальна науково-практична задача підвищення якості та продуктивності обробки при круглому шліфуванні контактних поверхонь з зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів

доменних печей на основі вибору оптимальної схеми і параметрів режимів шліфування.

1. Отримала подальший розвиток математична модель визначення параметрів шліфування з низькою жорсткістю технологічної системи і на її основі обґрунтовано умови підвищення якості та продуктивності обробки при круглому шліфуванні наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей металургійного призначення при зніманні значних нерівномірних припусків. Вони полягають у застосуванні шліфування з заданими натягом в технологічній системі та виборі оптимальних параметрів режимів шліфування залежно від величини уточнення, що реалізується в технологічній системі.

2. Теоретично встановлено, що при шліфуванні з заданим натягом в технологічній системі продуктивність обробки визначається величиною натягу і не залежить від швидкості поздовжньої подачі і швидкості деталі. При цьому відношення величини натягу до фактичної глибини шліфування, а також похибка обробки тим менше, чим менша швидкість поздовжньої подачі.

3. Теоретично встановлено, що найбільша продуктивність обробки з урахуванням обмеження по точності розміру оброблюваної поверхні досягається як при використанні пружної схеми шліфування з початковим натягом у технологічній системі (аналогічно схемі виходжування), так і жорсткої схеми шліфування зі збільшеною швидкістю деталі і великою кількістю проходів круга. Доведено, що схеми врізного багатопрохідного шліфування та глибинного шліфування (з відносно невеликою поздовжньою подачею) в цьому плані рівносильні.

4. Отримано узагальнену аналітичну залежність для визначення енергоємності обробки при шліфуванні з урахуванням енергії різання і тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Показано, що енергоємність обробки визначається співвідношенням радіальної складової сили різання, зумовленої тертям зв'язки круга з оброблюваним матеріалом, і сумарною радіальною складової сили різання, і зі збільшенням даного співвідношення в межах від 0 до 1 необмежено збільшується. Доведено також, що в кінцевому підсумку енергоємність обробки визначається відношенням фактичної і номінальної глибин шліфування, і зі зменшенням даного відношення в межах від 1 до 0 необмежено збільшується. Це є основною причиною високих значень енергоємності обробки, що досягаються на практиці при шліфуванні.

5. Теоретично встановлено, що основною умовою зменшення енергоємності обробки при шліфуванні з низькою жорсткістю технологічної системи є підтримка в процесі шліфування заданого натягу, що визначається властивостями міцності робочої поверхні круга.

6. Виконано комплекс експериментальних досліджень параметрів круглого шліфування наплавлених поверхонь в лабораторних і виробничих умовах, що дозволило підтвердити достовірність отриманих теоретичних рішень. Експериментально встановлено, що при шліфуванні зразка на круглошліфувальному верстаті підвищеної жорсткості відношення номінальної та фактичної глибин шліфування не перевищує 1,5, тоді як при шліфуванні з тими ж режимами різання на токарно-карусельному верстаті (жорсткість якого в

4 рази менше) це значення становить 9–13. Доведено, що підвищити ефективність обробки в цих умовах можна, насамперед, зменшенням енергоємності обробки за рахунок реалізації режиму самозагострювання абразивного круга: в результаті фактична глибина шліфування та продуктивність обробки збільшуються до 3-х разів. Доведено також, що використовуючи експериментальні дані, отримані при шліфуванні зразка на круглошліфувальному верстаті, можна, за встановленими розрахунковим залежностям, визначити оптимальні параметри шліфування для реальних умов обробки на токарно-карусельному верстаті.

7. Експериментально встановлено, що застосування абразивного круга ПП 500 × 63 × 203 14А 18 СТ2 ВF на бакелітовій зв'язці (посилений скловолокном) підвищеної зернистості 16 – 18 (по FERA розмір зерна 1,6 – 1,8 мм) дозволяє зменшити енергоємність обробки до рівня енергоємності процесу мікрорізання одиничним зерном. Ефект обробки досягається за рахунок реалізації режиму самозагострювання круга і зниження тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Це дозволило виключити утворення на оброблюваних поверхнях припикань і тріщин і забезпечити необхідні параметри якості обробки, а також підвищити до 3-х разів продуктивність обробки.

8. Проведено теоретичні та експериментальні дослідження процесу алмазного електроерозійного шліфування наплавлених матеріалів і показана його відносно низька ефективність у зв'язку з засалюванням алмазного круга при високопродуктивному зніманні значних припусків. При цьому енергоємність обробки майже на порядок вище, ніж при абразивному шліфуванні, а потужність процесу електроерозійної правки круга в кілька разів перевищує потужність процесу різання. Це дозволяє розглядати абразивне кругле шліфування з заданим натягом в технологічній системі як найбільш ефективний варіант обробки зносостійких наплавлених матеріалів.

9. Теоретично і експериментально обґрунтовані умови підвищення точності обробки конічної наплавленої поверхні у зв'язку з інтенсивним розмірним зносом абразивного круга при шліфуванні. Вони полягають у зміні напрямку руху круга вздовж твірної конічної поверхні на розрахунковий кут, що дозволяє компенсувати розмірний знос круга і підтримувати постійною глибину шліфування.

10. На основі отриманих результатів розроблено ефективний технологічний процес круглого шліфування наплавлених контактних поверхонь конусів і чаш засипних апаратів доменних печей, що забезпечує підвищення продуктивності і якості обробки. Економічний ефект від його впровадження в основне виробництво ВАТ "Азовмаш" склав 105 тисяч гривень на рік.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Новиков Г.В. Высокопроизводительное алмазное шлифование деталей с покрытиями / Г.В. Новиков, В.А. Андилахай // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VI Международной научно-технической конференции: в 2 ч. Ч. 1: Курск. гос. техн.

ун-т. Курск. – 2008. – С. 208-212. (Здобувачу належить аналітичний огляд методів алмазного шліфування).

2. Новиков Ф.В. Определение оптимальных параметров электроэрозионного шлифования труднообрабатываемых материалов / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Труды 14-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК «ФЭД», 2008. – С. 330-333. (Здобувачу належить аналітичний огляд методів алмазного шліфування і участь в проведенні експериментів).

3. Андилахай В.А. Теоретический анализ взаимосвязи между производительностью и энергоемкостью обработки при шлифовании / В.А. Андилахай // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь. – 2009. – Вып. 11. – С. 36-41.

4. Новиков Г.В. Повышение эффективности алмазного шлифования деталей с высокопрочными покрытиями / Г.В. Новиков, В.А. Андилахай, А.А. Машко, И.Н. Снисаренко // Вісник НТУ «ХПІ». Збірник наукових праць. Тематичний випуск: Технології в машинобудуванні. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2009. – № 2. – С. 53-60. (Здобувач провів аналіз існуючих методів алмазного шліфування важкооброблюваних поверхонь, виконав експериментальну перевірку висновків).

5. Андилахай В.А. Обоснование технологических возможностей уменьшения энергоемкости обработки при шлифовании / В.А. Андилахай // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2009. – Вип. 81. – С. 173-183.

6. Новиков Г.В. Аналитическая оценка энергоемкости обработки при шлифовании / Г.В. Новиков, В.А. Андилахай, О.С. Кленов // Високі технології в машинобудуванні: Збірник наукових праць НТУ «ХПІ». – Харків. – 2009. – Вип. 1 (18). – С. 151-156. (Здобувачу належать аналітичні залежності для визначення енергоємності шліфування).

7. Андилахай В.А. Теоретические и экспериментальные исследования энергоемкости обработки при шлифовании / В.А. Андилахай // Инновации, качество и сервис в технике и технологиях: материалы I Международной научно-практической конференции: в 2 ч. Ч. 1: Курск. гос. техн. ун-т. Курск. – 2009. – С. 18-22.

8. Андилахай В.А. Затраты на трение связки абразивного круга с обрабатываемым материалом в процессе шлифования / В.А. Андилахай, Ф.В. Новиков // Проблеми тертя та зношування: Наук.-техн. зб. – К.: Вид-во НАУ «НАУ-друк». – 2010. – Вип. 53. – С. 92-98. (Здобувачу належать подальший аналіз залежностей для визначення частки сили різання і частки сили тертя при шліфуванні).

9. Новиков Ф.В. Технологическое обеспечение высокопроизводительной обработки деталей с износостойкими наплавками металлургического назначения / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія: Машинобудування і машинознавство. – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – Вип. 7 (166). – С. 53-60. (Здобувачу належать технічні

рішення стосовно підвищення продуктивності шліфування наплавлених важкооброблювальних поверхонь).

10. Андилахай В.А. Теоретическое обоснование путей повышения производительности обработки и снижения износа круга при шлифовании / В.А. Андилахай // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка. – Харків: ХНТУСГ. – 2010. – Вип. 101. – С. 257-262.

11. Андилахай В.А. Определение путей повышения эффективности шлифования деталей, восстановленных износостойкими материалами / В.А. Андилахай // Защита металлургических машин от поломок. – Мариуполь. – 2010. – Вып.12. – С.238-244.

12. Андилахай В.А. Выбор оптимальной схемы шлифования контактных (наплавленных) поверхностей крупногабаритных изделий металлургического назначения / В.А. Андилахай // Труды 16-й Международной научно-технической конференции. Физические и компьютерные технологии. – Харьков: ХНПК «ФЭД». – 2010. – С. 119-124.

13. Новиков Г.В. Закономерности повышения производительности алмазного шлифования деталей с наплавками и покрытиями / Г.В. Новиков, В.А. Андилахай // Современные инструментальные системы, информационные технологии и инновации: материалы VII Международной научно-технической конференции: Курск. гос. техн. ун-т. Курск. – 2010. – С. 273-277. (Здобувачу належать аналітичні залежності для визначення шляхів підвищення продуктивності шліфування).

14. Новиков Г. В. Физические закономерности высокопроизводительного алмазного шлифования деталей с покрытиями / Г. В. Новиков, В. А. Андилахай // Актуальные проблемы современной промышленной безопасности и экологии: материалы международной научно-практической конференции: Курский институт социального образования (филиал) РГСУ. – Курск: ООО «Мечта». – 2010. – С. 148-151. (Здобувачу належить аналітичний огляд методів і обладнання для алмазного шліфування).

15. Новиков Ф.В. Условия уменьшения температуры шлифования / Ф.В. Новиков, В.А. Андилахай // Новые и нетрадиционные технологии в ресурсо- и энергосбережении: материалы научно-технической конференции. – Одесса – Киев: АТМ Украины. – 2010. – С. 94-97. (Здобувачу належать аналітичні залежності для визначення температури при шліфуванні; обґрунтування умов її зменшення).

16. Андилахай В. А. Определение влияния интенсивности трения связки круга с обрабатываемым материалом на энергоемкость обработки / В. А. Андилахай, Ф.В. Новиков, // Вестник Приазовского гос. технич. ун-та Серия: Технические науки. Мариуполь: 2010. - №20. - С. 217-221. (Здобувачу належать аналітичні залежності для визначення сили тертя при шліфуванні; обґрунтування шляхів її зменшення).

Всі публікації вміщують результати безпосередньої праці здобувача на окремих етапах дослідження і відображають основні висновки та положення дисертаційної роботи.

АНОТАЦІЇ

Анділахай В.О. Підвищення ефективності шліфування наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей металургійного призначення. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.02.08 – технологія машинобудування. – Державний вищий навчальний заклад “Приазовський державний технічний університет”, Маріуполь, 2011.

У роботі обґрунтовані умови підвищення якості й продуктивності обробки при круглому шліфуванні наплавлених контактних поверхонь великогабаритних деталей з низькою жорсткістю технологічної системи, які полягають в застосуванні схеми шліфування із заданим натягом у технологічній системі з невеликою швидкістю поздовжньої подачі. Доведена також ефективність використання пружної схеми шліфування з початковим натягом у технологічній системі (аналогічній схемі виходжування) і глибинного шліфування з невеликою поздовжньою подачею й збільшеною швидкістю деталі. Теоретично визначена енергоємність обробки при шліфуванні й встановлено її необмежене збільшення зі збільшенням тертя зв'язки круга з оброблюваним матеріалом. Теоретичні рішення підтверджені експериментально. Встановлено, що застосування абразивного круга на бакелітовій зв'язці (посилений скловолокном) дозволяє зменшити енергоємність обробки, виключити утворення на оброблюваних поверхнях припікань і тріщин та підвищити до 3-х разів продуктивність обробки. На основі отриманих результатів розроблений ефективний технологічний процес круглого шліфування контактних поверхонь зі зносостійкими наплавленими матеріалами конусів і чаш засипних апаратів доменних печей.

Ключові слова: кругле шліфування, технологічна система, абразивний круг, основний час обробки, якість обробки, зношування круга

Андилахай В.А. Повышение эффективности шлифования наплавленных контактных поверхностей крупногабаритных деталей металлургического назначения. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 05.02.08 – технология машиностроения. – Государственное высшее учебное заведение “Приазовский государственный технический университет”, Мариуполь, 2011.

Диссертация посвящена разработке эффективного технологического процесса круглого шлифования контактных поверхностей с износостойкими наплавленными материалами конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей на основе научно обоснованного выбора оптимальной схемы и параметров режимов шлифования. В связи с этим обоснованы условия повышения качества и производительности обработки при шлифовании с низкой жесткостью технологической системы, состоящие в применении шлифования с заданным натягом в технологической системе и выборе оптимальных параметров режимов шлифования в зависимости от величины уточнения, реализуемого в технологической системе. Доказано, что в этом

случае производительность обработки определяется величиной натяга и не зависит от скорости продольной подачи и скорости детали, а отношение величины натяга к фактической глубине шлифования и погрешность обработки тем меньше, чем меньше скорость продольной подачи. Теоретически установлено, что наибольшая производительность обработки с учетом ограничения по точности размера обрабатываемой поверхности достигается как при использовании упругой схемы шлифования с начальным натягом в технологической системе (аналогичной схеме выхаживания), так и жесткой схемы шлифования с увеличенной скоростью детали и большим количеством проходов круга. Доказано, что схемы врезного многопроходного шлифования и глубинного шлифования (с относительно небольшой продольной подачей) в этом плане равносильны.

Аналитически установлено, что энергоемкость обработки при шлифовании в общем виде определяется соотношением радиальной составляющей силы резания, обусловленной трением связки круга с обрабатываемым материалом, и суммарной радиальной составляющей силы резания. Увеличение данного соотношения в пределах от 0 до 1 вызывает неограниченное увеличение энергоемкости обработки, что является основной причиной высоких значений энергоемкости обработки при шлифовании, достигаемых на практике. Доказано, что основным условием уменьшения энергоемкости обработки при шлифовании с низкой жесткостью технологической системы является поддержание в процессе шлифования заданного натяга, определяемого прочностными свойствами рабочей поверхности круга.

Обоснованы условия повышения точности обработки конической наплавленной поверхности, состоящие в изменении направления движения круга вдоль образующей конической поверхности на расчетный угол, позволяющий компенсировать размерный износ круга и поддерживать постоянной глубину шлифования. Проведены экспериментальные исследования в лабораторных и производственных условиях. Установлено, что при шлифовании образца с наплавленной поверхностью на круглошлифовальном станке повышенной жесткости отношение номинальной и фактической глубин шлифования не превышает 1,5, тогда как при шлифовании с теми же режимами резания в производственных условиях на токарно-карусельном станке (жесткость которого в 4 раза меньше) это значение составляет 9,13. Повысить эффективность обработки в данном случае можно уменьшением энергоемкости обработки за счет реализации режима самозатачивания абразивного круга: в результате фактическая глубина шлифования и производительность обработки увеличиваются до 3-х раз. Доказано, что применение абразивного круга ПП 500×63×203 14А 22 СТ2 ВF на бакелитовой связке, усиленной стекловолокном, позволяет уменьшить энергоемкость обработки до уровня энергоемкости процесса микрорезания единичным зерном. Это исключает образование на обрабатываемых поверхностях прижогов и трещин и обеспечивает требуемые параметры качества обработки.

Установлено, что при алмазном электроэрозионном шлифовании наплавленных материалов при съеме значительных припусков, несмотря на интенсивное электроэрозионное воздействие на рабочую поверхность алмазного круга на металлической связке, происходит его засаливание. При этом энергоемкость обработки почти на порядок выше, чем при абразивном

шлифовании, а мощность процесса электроэрозионной правки круга в несколько раз превышает мощность процесса резания. Поэтому осуществление процесса шлифования в таких условиях малоэффективно, более предпочтительным вариантом является абразивное глубинное шлифование. На основе полученных результатов разработан эффективный технологический процесс круглого шлифования наплавленных контактных поверхностей конусов и чаш засыпных аппаратов доменных печей.

Ключевые слова: круглое шлифование, технологическая система, абразивный круг, основное время обработки, качество обработки, износ круга

Andilahay V. A. Improving the efficiency of grinding weld contact surfaces of large parts of metallurgical purposes. – Manuscript.

Thesis for the degree of candidate of technical sciences, specialty 05.02.08 – engineering technology. – GVUZ "Azov State Technical University", Mariupol, 2011.

The paper substantiates improve the quality and processing performance at round grinding weld contact surfaces of large parts with low rigidity of the technological system, consisting in the application circuit grinding with a specified preload in the technological system and the low speed longitudinal feed. Also proved the effectiveness of an elastic grinding circuit with an initial interference fit in a technological system (a similar pattern of nursing) and deep grinding with a small longitudinal flow and increased speed details. Theoretically determined energy consumption in grinding process and set its unlimited increase with increasing friction ligament circle with the material being treated. Theoretical solutions are confirmed experimentally. Established that the application of abrasive disc for resin bonded (heavy glass) can reduce the energy intensity of treatment, to exclude the formation on the surface burns and fractures and to increase up to 3 times Productivity processing. Based on these results suggest an efficient workflow round grinding the contact surfaces with wear-resistant weld material of the cones and cups of devices Charging of blast furnaces.

Key words: grinding, technological system, abrasive wheel, the basic processing time, processing quality, wear range.