

## **НЕКОТОРЫЕ ОСОБЕННОСТИ ДОВОДОЧНОГО ШЛИФОВАНИЯ СВОБОДНЫМ АБРАЗИВОМ**

В настоящее время доводка поверхностей деталей машин производится абразивными брусками и свободным абразивом. При доводке деталей абразивными брусками, особенно с прерывистыми поверхностями, часто отмечается интенсивный износ брусков, их выкрашивание и образование на обработанных поверхностях глубоких царапин. Поэтому более приемлемой является доводка свободным абразивом, так как при правильном подборе материала притира и режима обработки в первую очередь изнашиваются сами абразивные зерна, а притир продолжительное время сохраняет форму, что повышает точность обработки [1–5]. С целью установления условий повышенного съема металла и достижения высокой чистоты поверхности было проведено исследование процесса доводки цилиндрических деталей свободным абразивом с осциллированием притира и непрерывной подачей абразивной смеси в зону резания.

Исследование проводилось на образцах из широко применяемых в машиностроении марок сталей: 20Х, 40Х и 45, диаметром 25 мм и длиной 80 мм, с двумя кольцевыми канавками шириной 2 мм. Перед доводкой образцы подвергались термической обработке: из стали 20Х до твердости  $R_c = 51 - 54$ . После шлифования образцы имели высоту микронеровностей  $R_z = 2,6 - 3$  мкм.

Доводка образцов производилась абразивными смесями, состоящими из порошков белого электрокорунда зернистостью от № 100 до М7, и жидкости. В качестве жидкости применялись керосин, керосин с добавкой олеиновой кислоты и смесь керосина с веретенным маслом № 2. Соотношение абразива и жидкости во всех опытах составляло 60 г/л. Доводка образцов производилась на специальной установке.

Основные опыты проводились на предварительно установленном режиме: удельное давление притира  $20 \text{ Н/см}^2$ , окружная скорость изделия 25 м/мин; частота осциллирования притира 800 дв. ход/мин при длине хода 5 мм; число медленных возвратно-поступательных движений притира 60 дв. ход/мин при длине хода 15 мм. В качестве жидкости применялся керосин. Обработка во всех опытах продолжалась в течение 5 минут. Притиры изготавливались из серого чугуна твердостью НВ 150 с перлитно-ферритовой структурой.

Из результатов опытов выяснилось, что повышение удельного давления притира до  $20 \text{ Н/см}^2$  способствует значительному росту съема металла. Дальнейшее повышение давления вызывает незначительное повышение съема металла, а для крупнозернистого абразива № 100 съем металла даже уменьшается из-за усиления процесса дробления абразивных зерен. Шероховатость поверхности с увеличением удельного давления притира улучшается. Однако при по-

вышенном давлении под действием крупных зерен высокой прочности на поверхности образуются отдельные глубокие царапины.

Увеличение окружной скорости детали интенсифицирует съём металла, так как увеличивается путь, проходящий абразивными зёрнами относительно обрабатываемой поверхности. Между съёмом металла и окружной скоростью детали нет прямолинейной зависимости. С повышением окружной скорости происходит падение интенсивности съёма металла. Увеличение окружной скорости детали при доводке повышает нагрев обрабатываемой поверхности и способствует неравномерному распределению абразивной смеси в зоне резания, что приводит к ухудшению шероховатости поверхности.

Процесс доводки цилиндрических деталей свободным абразивом с осциллирующим движением притира имеет сложную кинематику. Для данного случая, когда деталь совершает вращательное движение, а притир – одновременно возвратно-поступательное движение вдоль оси детали и осциллирующее движение в том же направлении, траекторией абразивных зёрен, шаржированных на рабочей поверхности притира, будет синусоида с большим периодом от возвратно-поступательного движения притира, на которую накладывается синусоида, с меньшим периодом от осциллирующего движения притира. Однако учитывая, что при непрерывной подаче абразивной смеси большая часть зёрен, находящихся в зоне резания, не шаржирует рабочую поверхность притира, а свободно перекачивается, траектория их движения значительно отличается от синусоиды в сторону неопределённости (хаотичности).

Сложный характер траектории движения абразивных зёрен при доводке металлов с осциллирующим движением притира оказывает положительное действие на процесс обработки. При этом более полно используются режущие свойства абразивных зёрен, что способствует увеличению съёма металла. Кроме того, изменение направления движения зёрен обеспечивает пересечение микроцарапин и интенсивное обламывание острых царапающих элементов зёрен, что улучшает шероховатость обрабатываемой поверхности. Высказанное положение находит экспериментальное подтверждение. При проведении опытов притир совершал в первом случае одно медленное движение вдоль оси детали – 60 двойных ходов в минуту при длине хода 15 мм. Во втором случае два движения: одно – медленное вдоль оси детали и второе – быстрое осциллирующее движение в том же направлении – 800 колебаний в минуту при длине хода 5 мм.

Введением осциллирующего движения притира при доводке абразивным микропорошком М7 съём металла увеличивается почти в два раза. Однако с увеличением размера зёрен эффект, получаемый за счёт осциллирующего движения, ослабевает. Это объясняется меньшей относительной динамической прочностью более крупных зёрен, что приводит к интенсивному их дроблению в процессе доводки, трудностью шаржирования на поверхности притира, а также худшим проникновением крупных зёрен в зазор между притиром и обрабатываемой поверхностью. При осциллирующем движении притира за счёт развития микрощелей в обрабатываемом поверхностном слое металла усиливается действие поверхностно-активных веществ на процесс доводки.

Как показывают результаты опытов, при доводке без осциллирования притира применение вместо керосина смеси керосина с веретенным маслом № 2 способствовало повышению в среднем съема металла на 20 %, а для доводки с осциллированием притира – на 27 % (в данном случае имеется в виду, что веретенное масло № 2 содержит активные добавки). Применение керосина, активированного добавкой 2 % олеиновой кислоты, вместо керосина при доводке без осциллирования притира, способствовало повышению съема металла в среднем на 19 %, а при осциллировании притира – на 33 %.

Повышение съема металла при применении жидкостей, содержащих поверхностно-активные вещества, для крупнозернистых абразивов несколько выше, чем для мелкозернистых, вследствие различия в характере и интенсивности напряженного состояния в срезаемом слое металла.

В условиях резания-царапания мелкозернистыми абразивами, имеющими относительно высокие радиусы закругления царапающих элементов и малое углубление в металл, в поверхностном слое создаются значительные сжимающиеся напряжения. Это препятствует развитию слабых мест (микрощелей), а, следовательно, и действию адсорбционного эффекта. С увеличением размера абразивных зерен возрастает углубление их в металл, что усиливает возникновение в поверхностном слое растягивающих напряжений, благоприятных для развития адсорбционного эффекта.

Анализ стружки, полученной при доводке и отработанной при помощи магнита, показал о наличии в ней абразивных частиц с приваренным металлом, что свидетельствует о наростообразовании.

Содержание в стружке абразивных частиц с наростом зависит от жидкости, входящей в состав абразивной смеси. При доводке с керосином содержание абразивных частиц достигало 24 %, а при доводке с керосином, активированным добавкой 2 % олеиновой кислоты, – 15 %. Это свидетельствует о том, что поверхностно-активные вещества в процессе резания-царапания понижают коэффициент трения абразивных зерен с обрабатываемой поверхностью и, тем самым, способствуют уменьшению наростообразования.

Касаясь особенностей геометрии абразивных зерен, необходимо отметить следующее. Обычно при финишной обработке зеркальных поверхностей деталей из меди и других металлических материалов возникают дефекты в виде царапин и мест интенсивного шаржирования, которые ухудшают эксплуатационные свойства деталей. Причиной этого является обработка микропорошками синтетических алмазов марки АСМ (ГОСТ 9206-80), в состав которых входят острые игольчатые зерна. Поэтому для обработки рабочих поверхностей оптических деталей с высокой отражательной способностью следует применять алмазные микропорошки скругленной или так называемой овализованной формы зерен.

Полирование оптических деталей микропорошками скругленной формы резко уменьшает шаржирование их в обрабатываемую поверхность, что уменьшает серость обработанной поверхности и тем самым повышает отражательную способность. Скругление может производиться различными методами: механической овализацией, гидравлической, термохимической и др. Одним из

основных недостатков этих методов является значительное дробление алмазных зерен и трудность или невозможность получения микропорошков с размерами зерен на уровне 1 мкм и менее.

Изменять конфигурацию исходных частиц позволяет также ультразвуковая обработка алмазных микропорошков в воде. Для активизации процесса разрушения остроугольных фрагментов алмазных частиц, в частности, фракций размером 3 мкм, ультразвуковая обработка микропорошков производилась в водном растворе хлористого калия. В указанных условиях острые кромки алмазов разрушаются в результате кавитации и эрозии под воздействием кристаллов хлористого калия. Ультразвуковую обработку микропорошков из алмазов АСМ зернистостью 5/3, 3/2, 1/0 (табл. 1) в перенасыщенном водном растворе хлористого калия осуществляли на установке УЗВД-6 в течение 6 часов. При наличии большого количества зерен удлинённой формы и повышенного содержания крупной фракции время обработки увеличивается.

*Таблица 1 – Характеристики поверхностей, полированных исходными и модифицированными алмазными порошками*

Зернистость алмазного микропорошка	Отражательная способность $R_s$ , %			Шероховатость поверхности $R_z$ , мкм, после отработки		
	исходного микропорошка (ГОСТ 9206-80)	после ультразвуковой обработки в воде	после ультразвуковой обработки в КС1	исходным микропорошком	после ультразвуковой обработки в воде	после ультразвуковой обработки в КС1
5/3	98,6	98,6	98,7	0,042	0,038	0,036
3/2	98,7	98,7	98,9	0,038	0,037	0,030
1/0	98,8	98,9	99,0	0,030	0,030	0,028

Навески микропорошка массой 100 кар загружали в охлаждаемую емкость установки, заполненную 300 см<sup>3</sup> раствора соли. По истечении заданного времени установку включали, а микропорошок промывали вначале дистиллированной водой для удаления соли, а затем 10 %-м раствором соляной кислоты с целью отделения металлических примесей (железа, никеля и др.).

В качестве обрабатываемого материала использовали бескислородную листовую медь марки МОБ, из которой изготавливали образцы диаметром 80 и толщиной 10 мм. Образцы предварительно протачивали на сферо-фрезерном станке, после чего производили термическую обработку (отжиг).

Температуру термообработки материала выбирали такую, чтобы не успела произойти собирательная рекристаллизация, т.е. не более 872 К, охлаждение проводили вместе с печью. Шероховатость поверхности после обработки составляла  $R_a = 0,38 - 0,40$  мкм. Образцы полировали на станках типа ЗПД-320 методом свободного притира с помощью абразивной суспензии, содержащей

исследуемый порошок и 1 %-й раствор поливинилового спирта в дистиллированной воде, при следующих режимах полирования: частота вращения шпинделя –  $20 - 25 \text{ мин}^{-1}$ , рабочее давление –  $200 \times 10^3 \text{ Па}$ , число двойных ходов каретки в минуту –  $10 - 15$ .

Качество полированной поверхности определяли по ее шероховатости и отражательной способности. Шероховатость измеряли с помощью профилографа–профилометра модели 252 с погрешностью измерений, не превышающей  $\pm 10\%$ , а отражательную способность – на специальном стенде на длине волны  $10,6 \text{ мкм}$  с погрешностью измерений не более  $0,02 \%$  при доверительной вероятности  $P = 95 \%$ .

Определение гранулометрического состава микропорошков зернистостью  $5/3$  и  $3/2$  показало, что после ультразвуковой обработки размер частиц резко не изменяется. В то же время, как было установлено при изучении морфологии алмазных частиц, в процессе ультразвуковой обработки разрушаются остроугольные фрагменты поверхности с размером не более  $0,1 \text{ мкм}$ , что приводит к оваллизации острых кромок после ультразвуковой обработки в воде и в перенасыщенном водном растворе хлористого калия. Более крупные фрагменты при указанных условиях обработки не разрушаются. Полученные результаты (табл. 1) свидетельствуют о том, что ультразвуковая обработка в перенасыщенном водном растворе хлористого калия позволяет получать модифицированные (т.е. скругленные) микропорошки, улучшающие эксплуатационные характеристики поверхности медных изделий после полирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Дудко П. Д. Закономерности формирования параметров шероховатости поверхности при абразивной обработке / П. Д. Дудко, В. Г. Шкурупий, О. С. Кленов // Резание и инструмент в технологических системах : Междунар. науч.-техн. сб. – Харьков : НТУ "ХПИ", 2008. – Вып. 74. – С. 133–139.
2. Морозенко В. Н. Исследование процесса доводки и полирование металлов свободным абразивом : дис. ... канд. техн. наук : специальность 05.02.08 "Технология машиностроения" / В. Н. Морозенко. – Одесса : ОПИ, 1968. – С. 64–95.
3. Невлюдов И. Ш. Исследование явлений, протекающих при алмазно-абразивной доводке высокоточных деталей и установление основных закономерностей процесса : дис. ... канд. техн. наук: специальность 05.02.08 "Технология машиностроения" / И. Ш. Невлюдов. – Саратов : Саратов. политехн. ин-т, 1974. – С. 168.
4. Орлов П. Н. Технологическое обеспечение параметров качества деталей при абразивной доводке : дис. ... докт. техн. наук: специальность 05.03.01 "Процессы и машины обработки материалов резанием; автоматические линии" / П. Н. Орлов. – М.; 1981. – 509 с.
5. Ящерицын П. И. Тонкие доводочные процессы обработки деталей машин и приборов / П. И. Ящерицын, А. Г. Зайцев. – Минск : Наука и техника, 1976. – 326 с.