

П.И. Ящерицын, докт.техн.наук,  
Э.С. Бранкевич, В.Д. Тимашков

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ПРОЦЕССОВ ФИНИШНОЙ АБРАЗИВНО-АЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКИ

Для увеличения точности работы машин и механизмов, а также их надежности и долговечности, необходимо повышать износостойкость, усталостную прочность, контактную жесткость, улучшать антикоррозионные свойства и другие эксплуатационные характеристики деталей. Поэтому следует назначать технологические операции и рассчитывать режимы обработки так, чтобы получать детали с заранее заданной точностью и соответствующими физико-механическими свойствами их рабочих поверхностей.

Для обеспечения необходимых физико-механических свойств тонкого поверхностного слоя деталей финишные операции должны осуществляться с наименьшим тепловыделением в зоне обработки. Это требует углубленного исследования температурных явлений, влияющих также на точность деталей, износ абразивных инструментов и определяющих оптимальные режимы обработки. Как известно, теплота, выделяемая в зоне обработки, зависит от работы, затрачиваемой на упругую и пластическую деформации металла, искажение кристаллической решетки, диспергирование поверхности, срезание стружки и трение.

Исследованию проблемы теплообразования при абразивно-алмазной обработке было посвящено большое число работ советских и зарубежных ученых. Однако до сих пор одним из наименее изученных является вопрос влияния связки абразивных инструментов на этот процесс. В частности, не было дано количественной оценки доли тепла, образующегося за счет трения материала связки об обрабатываемую поверхность, в общем количестве тепла в процессе шлифования. Частичное решение этой задачи было получено в работе [5].

Расчетно-экспериментальным путем было определено, что доля тепла, приходящегося на связку в теплообразовании, может доходить до 40%. Это указывает на необходимость создания и использования связок с низким коэффициентом трения и

высоким коэффициентом теплопроводности, а также разработки таких процессов, в которых связка, как физическое тело, отсутствует, например при ферромагнитной обработке.

Прошлифованная поверхность часто структурно неоднородна, что вызвано неодинаковым тепловым воздействием шлифовального круга на отдельные участки обрабатываемой поверхности. На границах участков с различной структурой, а следовательно, и с различной микротвердостью, возникают повышенные напряжения. Эти границы являются структурными концентраторами напряжений. Во время эксплуатации в этих местах могут образовываться микротрещины, а затем и питтинги. Структурная неоднородность обработанной поверхности может быть следствием недостаточной уравновешенности шлифовального круга, при этом происходят периодические мгновенные врезания круга в обрабатываемую поверхность, при которых резко возрастает контактная температура.

Для фиксации колебаний контактной температуры в исследовании [2] использовался способ, основанный на применении приемника инфракрасного излучения. В торце круга формы ПП на одинаковом расстоянии от центра и под одинаковым углом к оси были просверлены два отверстия, ведущие в зону резания. Одно из отверстий располагалось в месте наибольшего дисбаланса круга, а второе — диаметрально противоположно. Колебания контактной температуры измерялись при различной неуравновешенности абразивного круга. Было установлено, что неуравновешенность круга, приводящая к образованию волнистости шлифованной поверхности с высотой волны 3 мкм, в условиях тонкого шлифования вызывает разность значений контактной температуры на гребне и во впадине волны, достигающую до 170°С. Если значение контактной температуры находится вблизи границы структурных превращений, такой прирост температуры неизбежно приводит к образованию различных структур (расположенных циклически соответственно шагу волны) обработанной поверхности и к снижению ее эксплуатационных характеристик.

Очень важно найти способы ослабления теплового воздействия абразивного инструмента на шлифуемую поверхность. Для эффективного решения этой задачи необходимо создать абразивные инструменты с оптимальным расположением зерен в связке путем геометрической ориентации каждого зерна относительно плоскости резания. Ориентирование зерен позволяет лучше использовать их режущие свойства. Испытания абразив-

ных кругов с ориентированными металлизированными зернами иглообразной формы на пористой металлической связке показали возможность использования этих кругов при отделочной обработке стали, сплавов титана, керамики, стекла со скоростью до 60 м/с с повышенными глубинами резания [4]. При этом было получено высокое качество обработанной поверхности, что объясняется повышенной режущей способностью круга и отсутствием его засаливания. Применение металлической пористой связки обеспечивает надежное удержание зерен и лучшую теплопроводность инструмента, а также позволяет осуществлять подвод СОЖ в зону резания через поры шлифовального круга, что существенно снижает температуру в зоне резания, повышает производительность обработки и качество поверхности деталей.

Исследования [8] подтвердили высокую эффективность охлаждения при подводе СОЖ через поры шлифовального круга в сравнении с обычным способом подвода СОЖ. Охлаждение через поры круга позволяет повысить производительность шлифования в 1,3 – 1,5 раза при отделочной обработке деталей из конструкционных сталей и в 1,5 – 1,8 раза при обработке деталей подшипников.

Для совершенствования финишной обработки следует изучить кинематику и динамику процессов отделочной обработки. При обработке поверхностей тел вращения абразивными брусками возникает сложное рабочее движение, суть которого – вращение детали и возвратно–поступательные движения инструмента. Варьируя соотношения между скоростями детали и бруска, можно изменять угол атаки зерна и угол использования режущего сектора зерна и тем самым управлять процессом обработки.

В работе [9] указывается, что процесс суперфиниширования протекает наиболее эффективно при угле атаки зерна  $40^\circ - 50^\circ$  в связи с тем, что в данном случае брусок работает с большим углом использования режущего сектора каждого зерна и хорошо самозатачивается. Установлено также, что распределение нагрузки на режущие кромки зерна в течение периода колебания бруска неодинаково. Основную работу выполняют крайние зоны режущего контура зерна, которые работают с максимальными скоростями. Средняя зона работает с меньшей скоростью. Такой характер распределения нагрузки приводит к быстрому разрушению режущего контура. Нагрузка на крайние зоны является минимальной при угле атаки зерна  $42^\circ$  и угле использования режущего сектора  $120^\circ$ , что соответствует наиболее

эффективному резанию. Введение в зону резания ультразвуковых колебаний способствует более равномерному использованию режущего сектора зерна и повышению производительности обработки. Установлено [1], что введение в зону обработки оптимальных по направлению и интенсивности ультразвуковых колебаний позволяет снизить силы резания, увеличить скорость съема металла и уменьшить шероховатость обработанных поверхностей. Теоретические и экспериментальные исследования [7] кинематики и динамики процесса вибрационного хонингования в области колебаний звуковых частот ( $N_z \geq 35$  Гц) показали, что наложение колебаний на систему инструмент – деталь увеличивает скорость микрорезания в десятки раз, уменьшает осевое усилие в 3 раза, а крутящий момент в 2,5 раза по сравнению с обычным хонингованием. Производительность обработки повышается в 5 – 6 раз.

В последнее время широко применяются спеченные из порошков тугоплавких металлов детали с особыми физико-механическими свойствами и высоким качеством поверхностей. Их отделочная обработка обычными методами в связи со значительным тепловыделением и износом абразивных инструментов трудоемка, что вызывает необходимость изыскивать новые технологические процессы. К таким процессам относится способ шлифования с использованием электрической и химической энергий. Отделочная обработка спеченных цилиндрических деталей из вольфрама, молибдена выполнялась [2] по схеме врезного алмазно-электрохимического шлифования с глубиной врезания круга до 1 мм и по обычной схеме круглого наружного шлифования с подводом электрического тока и без тока. Установлено [2], что производительность процесса повышается при врезном шлифовании в 2,5 – 3 раза и при шлифовании по обычной схеме в 1,5 – 1,7 раза. Шероховатость обработанной поверхности находится в пределах 7 – 9 классов.

Характер протекания процесса съема металла и качество поверхностного слоя зависят в основном от технологических факторов и жесткости системы СПИД. При указанном методе обработки большая часть припуска удаляется за счет электрохимического растворения, а процесс микрорезания осуществляется при ослабленных межзатомных связях структуры металла. При этом на формирование поверхностного слоя большее влияние оказывает процесс электрохимического растворения. Наличие на границах зерен неметаллических примесей и включений, неоднородность структуры спеченных деталей, остаточная пори-

ность приводят к растравливанию границ зерен и неравномерному протеканию электрохимического растворения, а следовательно, к повышению шероховатости [10]. В связи с большей долей в снятии припуска процесса электрохимического растворения и облегчением условий микрорезания, снижением усилий резания указанный технологический процесс оказался эффективным при отделочной обработке высокопористых (с пористостью до 25 – 30%) деталей типа фильтров из сферических порошков хрома и никеля с размером частиц до 0,5 – 1 мм.

При отделочной обработке сложнофасонного инструмента из твердых сплавов весьма эффективно профильное алмазное шлифование. Однако использование этого метода сдерживается в связи с трудностями изготовления и профилирования фасонных алмазных кругов. Исследования [3] электроэрозионного и электрохимического профилирования алмазных кругов показали, что формируемый микропрофиль режущей поверхности зависит от нагрузки, приходящейся на каждое алмазное зерно при контакте его с электродом-инструментом. При электрических методах профилирования токопроводящих кругов усилия, действующие на алмазные зерна, меньше, чем при методах, основанных на механическом сьеме, в связи с чем больше и высота обнажения алмазных зерен. Длительность теплового воздействия на каждое алмазное зерно может составлять 2 – 5 с при температуре до  $1000^{\circ}\text{C}$ . Однако за время обнажения зерна до рабочей высоты не происходит существенного изменения его структуры и режущих свойств. Установлено, что при электроэрозионном профилировании режущая способность круга в широком диапазоне зернистостей в два раза выше, чем при абразивном.

Относительно новым методом отделочной обработки является магнитно-абразивная обработка. Отличительной ее особенностью является то, что обрабатываемые детали помещают между полюсами электромагнитов. Пространство между обрабатываемой поверхностью и полюсами заполняется абразивным порошком, обладающим магнитными свойствами. В качестве "связки" порошка, удерживающей его в рабочей зоне и создающей необходимые усилия резания, выступает энергия магнитного поля, которая ориентирует зерна в направлении магнитных силовых линий. При этом способе обработки отсутствие связи предотвращает большие контактные давления на единичное зерно и высокие мгновенные температуры в локальных зонах обрабатываемой поверхности, чем исключается возможность по-

явления прижогов, трещин, остаточных растягивающих напряжений и других дефектов.

Магнитно-абразивная обработка позволяет не только повысить качество поверхности деталей, но и управлять величиной съема металла. На операциях финишной обработки высокоточных деталей типа валов, колец подшипников и втулок магнитно-абразивное полирование способно конкурировать с известными и широко распространенными абразивными процессами. Данный метод позволяет за 10 - 40 с осуществить значительный для финишной операции размерный съем металла (0,02 - 0,04 мм), снизить шероховатость поверхности, существенно уменьшить волнистость и гранность, увеличить в 2 - 3 раза износостойкость и повысить физико-механические свойства поверхности.

**Резюме.** Рассмотренные пути совершенствования финишной абразивно-алмазной обработки вскрывают резервы повышения производительности труда и улучшения качества деталей. Дальнейшие исследования физической сущности процессов, внедрение прогрессивных абразивных инструментов, методов их правки и профилирования, совершенствование методов подвода СОЖ и использование прогрессивных схем резания абразивными зернами будут способствовать интенсификации финишных процессов обработки.

#### Л и т е р а т у р а

1. Киселев М.Г., Соломахо В.Л., Бордзевички А.Е. Эффективность использования ультразвука в процессах абразивной притирки и доводки поверхностей. - В сб.: Материалы первой Всесоюз. науч. техн. конф. "Совершенствование финишной обработки в машиностроении". Минск, 1975.
2. Тимашков В.Д. Отделочная обработка шлифованием спеченных изделий из тугоплавких металлов. - В сб.: Материалы первой Всесоюз. науч.-техн. конф. "Совершенствование финишной обработки в машиностроении". Минск, 1975.
3. Чачин В.Н., Дорофеев В.Д. Профилирование алмазных шлифовальных кругов. Минск, 1974.
4. Ящерицын П.И. и др. Инструмент с ориентированными алмазными зернами на пористой металлической связке. - В сб.: Материалы первой Всесоюз. науч.-техн. конф. "Совершенствование финишной обработки в машиностроении". Минск, 1975.
5. Ящерицын П.И., Бранкевич Э.С. Роль связки шлифовального круга в работе сил трения и в теплообразовании. - В сб.: Магнитно-абразивное полирование деталей. Минск, 1976.
6. Ящерицын П.И., Бранкевич Э.С., Шкагуло Г.Г. Исследование колебаний контактной температуры при дисбалансе

шлифовального круга. - "Абразивы", 1976, №2 (76). 7. Яшеричын П.И., Еременко М.Л. Новое в изучении процесса абразивно-алмазной отделочной обработки и качество поверхностного слоя. - В сб.: Прогрессивная технология машиностроения. Вып. 5. Минск, 1974. 8. Яшеричын П.И., Караим Н.П. Шлифование с подачей СОЖ через поры круга. Минск, 1974. 9. Яшеричын П.И., Рожанский Г.А. Исследование кинематики обработки деталей абразивными брусками. - "Весці АН БССР. Сер. физ.-техн. наук", 1974, №1. 10. Timaschkov V.D. Jascheritsin P.I. Feinbearbeitung von Werkstücken aus Hochtemperaturwerkstoffen mit dem elektrochemischen Schleifen. - In: Vorabdrucke des Viertes Europäisches Symposium für Pulvermetallurgie. Grenoble, 1975.

УДК 621.919.1

П.С. Чистосердов, канд.техн.наук, В.П. Бельский,  
А.П. Сахаров, канд.техн.наук

### ТОЧНОСТЬ ОБРАБОТКИ КОМБИНИРОВАННЫМ ИНСТРУМЕНТОМ

Для выявления точностных возможностей совмещенной обработки наружных цилиндрических поверхностей резанием и ППД, осуществляемой комбинированным инструментом (КИ), были проведены исследования точности диаметральных размеров и геометрической формы в продольном направлении образцов диаметром 55 мм и длиной 500 мм из стали 40Х, обработанных КИ, которые были выполнены по схемам, показанным на рис. 1.

Комбинированный инструмент - это сочетание призматического резца с механическим креплением трехгранной неперетачиваемой пластинки твердого сплава Т15К6 и деформирующих шаров диаметром 9,6 мм, установленных посредством специальных вставок в корпусе КИ.

Исследования точности диаметральных размеров проводились на двух партиях валиков (по 50 штук каждая), из которых одна была обработана настроенным на размер призматическим резцом, а другая - комбинированным инструментом, выполненным по четвертой схеме (рис. 1). Обработка валиков осуществлялась на токарно-винторезном станке модели 1К625. Предварительно все валики были обработаны по 5-му классу точности.