

М 194629
Министерство высшего и среднего специального образования СССР

Московское
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э. Баумана

Людмила Сергеевна Соколова

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА РЕКУЩЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
НА ПРОЦЕСС ШЛИТОВАНИЯ

Диссертация написана на русском языке
/ Специальность 05.03.03. Обработка материалов резанием /

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва

1973

НЕ ВЫДАЕТСЯ
НА ДОМ

Министерство высшего и среднего специального образования СССР

М о с к о в с к о е
ордена Ленина и ордена Трудового Красного Знамени
высшее техническое училище имени Н.Э.Баумана

Людмила Сергеевна Соколова

ИССЛЕДОВАНИЕ
ВЛИЯНИЯ РЕЛЬЕФА РЕЖУШЕЙ ПОВЕРХНОСТИ
НА ПРОЦЕСС ШЛИФОВАНИЯ

Диссертация написана на русском языке
/ Специальность 05.03.03. Обработка материалов резанием/

А в т о р е ф е р а т
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

М о с к в а

1 9 7 3



Работа выполнена в Московском высшем техническом училище имени
Н.Э. Баумана.

Научные руководители:

доктор технических наук профессор Г.И. Грановский
кандидат технических наук доцент С.А. Попов

Официальные оппоненты:

доктор технических наук профессор Л.А. Глейзер
кандидат технических наук

старший научный сотрудник В.Г. Сафронов

Ведущее предприятие Московский автозавод им.Лихачева

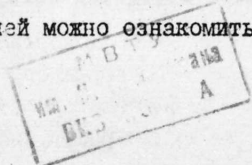
Автореферат разослан " 1973 г.

Защита диссертации состоится " 1973 г.

на заседании Совета факультета "Автоматизация и механизация
производства" МВТУ им. Н.Э. Баумана по адресу: Москва, 107005,
2-я Бауманская улица, дом 5.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах, заверенные печатью,
просим направлять по адресу, указанному выше.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МВТУ.

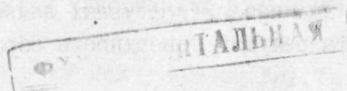


Ученый секретарь Совета

кандидат технических

наук, доцент

Степанов Ю.А.



Задачи исследования. Эффективность и работоспособность абразивного инструмента определяются состоянием его режущей поверхности, характеризующим рельефом этой поверхности. Некоторое представление о строении режущей поверхности шлифовального круга дает стандартная маркировка круга. Однако она не является достаточной. Располагая только одной технической характеристикой инструмента, часто трудно или невозможно объяснить характер износа режущей поверхности абразивного круга, потерю его режущих свойств, ухудшение качества обработанной поверхности, снижение производительности шлифования и проч. С этой точки зрения рельеф режущей поверхности имеет исключительно важное значение, поскольку он определяется не только рецептурой изготовления круга, но также методом, применяемым инструментом и режимами правки перед шлифованием и зависит от условий процесса шлифования. Потеря кругом его режущих свойств связана с изменением состояния его режущей поверхности.

Анализ работ по изучению влияния состояния режущей поверхности на процесс шлифования показал, что, несмотря на постоянно возрастающий интерес к указанной проблеме, практически многие вопросы являются малоизученными. Поэтому целью работы явилось изучение влияния геометрии рельефа режущей поверхности шлифовальных кругов на процесс шлифования.

В работе были поставлены следующие задачи:

1. Изучение геометрии рельефа абразивных кругов различных характеристик.
2. Формирование рельефа режущей поверхности в процессе алмазной правки.
3. Исследование изменения рельефа режущей поверхности абразивных кругов в процессе шлифования различных материалов.
4. Исследование влияния рельефа режущей поверхности абразивных кругов на некоторые показатели качества обработанной поверхности.

Диссертация состоит из 7 глав.

В первой главе приводится методика экспериментального исследования рельефа режущей поверхности абразивного круга, разработанная на основании анализа литературных данных по существующим способам оценки рельефа режущей поверхности абразивных кругов и практики шлифования.

В настоящее время существует два разных подхода к описанию режущей поверхности шлифовального круга. В основе одного подхода лежит представление об упорядоченном расположении абразивных зерен в теле и на поверхности инструмента. Второе направление отличается

вероятностный подход к описанию режущего пространства абразивного инструмента.

В основе разработанной методики лежит представление о случайном характере расположения зерен в теле и на поверхности инструмента. Согласно вероятностному подходу режущую поверхность шлифовального круга можно представить в виде реализации однородного случайного поля. Ввиду трудности описания поверхности в трехмерном пространстве характер поверхности кругов оценивался на основе профилеграмм. В качестве параметров для оценки геометрии рельефа абразивной поверхности были выбраны те характеристики, которые оказывают непосредственное влияние на процесс абразивной обработки и отражают функциональные свойства абразивной поверхности наиболее выразительно и достаточно полно. Такими основными параметрами являются: среднее расстояние $l_{ср}$ между последовательно выступающими вершинами зерен на фиксированном уровне поверхности и длина и площадь контуров абразивных зерен на фиксированном уровне, оцениваемые коэффициентом η длины контактной линии профиля, а также изменение этих характеристик по высоте профиля.

Используя эти две основные характеристики профиля, можно судить и о некоторых других параметрах режущей поверхности, например, о высоте сглаживания рельефа профиля (уровень сечения профиля, для которого $\eta = 0,5$), разновысотности расположения зерен, о среднем количестве вершин зерен, выступающих над фиксированным уровнем и проч.

Для более полного выявления механизма резания и закономерностей процесса шлифования знание только средних значений параметров профиля режущей поверхности, несущих информацию о физико-геометрических свойствах сразу целой совокупности частиц, является недостаточным и необходимо прибегнуть к статистическим распределениям расстояний между зернами и длин поперечных сечений зерен на фиксированных уровнях. Такой анализ был, например, проведен для круга 39А40СМ1К и позволил установить некоторые индивидуальные особенности формирования его режущей поверхности после алмазной правки.

Стационарность и эргодичность профиля абразивной поверхности позволяют определять статистические характеристики рельефа путем осреднения по одной достаточно протяженной реализации, длина которой зависит от зернистости круга. Для кругов зернистостью 40 длина трассы измерения составляет 80 мм, для кругов зернистостью 25-60 мм и зернистостью (12-16)-30 мм. Столь значительные длины трасс измерения связаны с малой высотой измеряемого профиля (до 50 мкм) и большими значениями шагов между вершинами зерен (более 0,5 мм). Малая высота записи профиля позволила измерять активные

элементы рельефа, непосредственно участвующих в резании, с большими увеличениями и с малыми погрешностями. Увеличение по высоте профиля составляло 1600–1800 раз. Горизонтальное увеличение составляло от 30 до 650 раз.

Применение методов математической статистики позволило оценить точность и надежность определения статистических характеристик η и $\bar{x}$ в связи с ограниченной длиной трассы измерения.

В г л а в е в т о р о й дается описание устройства для профилирования рельефа режущей поверхности непосредственно на станке. Это позволяет записывать рельеф режущей поверхности в рабочем положении шлифовального круга, а также изучать изменение состояния режущей абразивной поверхности в процессе шлифования. Устройство сконструировано на базе универсального круглошлифовального станка модели 3А110.

Для уменьшения погрешности измерения профиля использовалась алмазная игла с малым углом при вершине конуса (55° вместо обычно применяемого угла в 90° или 120°) и с малым радиусом округления вершины (10 мкм). При натяге 650 мкм измерительное усилие иглы на поверхность круга составляло 0,2 гс. Скорость измерения соответствовала 1,06 и 5,57 мм/мин.

Использование в качестве датчиков полупроводниковых тензорезисторов типа КТД-110 позволило повысить общую чувствительность системы и иметь стабильное положение нулевых отметок гальванометров при достаточно больших степенях усиления сигнала.

Устройство обеспечивает высокую чувствительность и стабильность (повторяемость) записи рельефа шлифовальных кругов при измерении по одной и той же трассе на абразивной поверхности.

В г л а в е т р е т ь е й приводятся результаты экспериментального исследования рельефа режущей поверхности абразивных кругов разных характеристик. Изучалось влияние материала зерна, зернистости, твердости, рода связи, формы зерна и однородности зернового состава на геометрию рельефа абразивной поверхности. Перед началом каждого опыта шлифовальные круги правились алмазным карандашом Ц5 с поперечной подачей 0,01 мм/дв.ход, с продольной подачей, 0,175 мм/об.кр. и с тремя зачистными ходами.

Среди абразивных материалов для сравнения были выбраны электрокорунд белый повышенного качества Э9А, электрокорунд хромистый ЭХА, монокорунд М и карбид кремния зеленый К39. Результаты эксперимента показали, что контактная площадь рельефа и средний шаг между зернами для кругов зернистостью 40 на керамической связке твердостью СМ1 с корундовым зерном разного типа на всех уровнях

практически мало отличаются друг от друга. Для кругов из карбида кремния обнаружено существенное увеличение контактной площади, что следует связать с различием физико-механических свойств абразивного материала, а также свойств абразивных зерен в зависимости от их формы, что, в конечном итоге, проявляется в особенностях технологии спекания зерна и связки. Подобная закономерность была экспериментально подтверждена также на кругах меньшей зернистости. Контактная площадь рельефа поверхности круга из карбида кремния зернистостью 16 на 30-50% больше, чем у круга из электрокорунда белого ЭБА той же зернистости при одной и той же твердости СМ1.

Существенное влияние на геометрию рельефа абразивной поверхности оказывают твердость круга и его зернистость. Более мягкие круги имеют меньшую контактную площадь, большую поверхностную пористость; расстояния между зернами больше, чем у более твердых кругов.

Исследованиями установлено, что с увеличением зернистости кругов поверхностная пористость возрастает.

В работе показано, что при одной и той же твердости кругов рельеф абразивной поверхности зависит от вида связующего. Поверхностная пористость кругов на оксидитовой связке и разновысотность расположения их зерен в 2-3 раза больше, чем для кругов на керамической связке.

Круги с пластинчато-игольчатой формой имеют более сглаженный рельеф с большей контактной площадью и с меньшими средними шагами между зернами по сравнению с кругами изометричной формы. Форма зерен проявляется на разновысотности расположения вершин зерен. 75% пластинчатых зерен имеют заглубление вершины в интервале до 10 мкм от линии выступов, в то время как для изометричных и неизометричных зерен в этом интервале заглубления находится 60-65% вершин.

Исследование рельефа режущей поверхности кругов зернистостью 40 на керамической связке твердостью СМ1 из зерен ЭБ выявило, что круги с 60%-ным содержанием основной фракции имеют меньшую контактную площадь рельефа и большее среднее расстояние между зернами по сравнению с кругами, содержание основной фракции для которых находилось в пределах 45-50%.

Выполненное экспериментальное исследование позволило установить, что регулированием зернистости, твердости, рода связки, однородности зернового состава, вида абразивного материала и введением классификации зерен по форме можно в определенных пределах изменить некоторые геометрические параметры рельефа режущей поверхности

шлифовальных кругов и тем самым влиять направленным образом на режущие свойства шлифовальных кругов.

Глава четвертая посвящена исследованию формирования рельефа режущей поверхности шлифовального круга при его правке. Исследовалось влияние режимов и средств алмазной правки. В качестве средств правки были выбраны алмазный карандаш Ц5 и алмазный ролик. Режимы резания варьировались в широком диапазоне: от "тонкой" правки круга с продольной подачей 0,04 мм/об.кр. и поперечной подачей 0,005 мм/дв.ход до "грубой" правки с продольной подачей 1,4 мм/об.кр. и поперечной подачей 0,02 мм/дв. ход. Правке подвергались круги различных характеристик.

Результаты эксперимента по правке среднезернистых и мелкозернистых кругов алмазными карандашом и роликом показали, что правка карандашом позволяет регулировать рельеф на круге и его режущие свойства в значительном диапазоне, более широком по сравнению с правкой роликом. Это делает карандаш универсальным правящим инструментом в условиях серийного и индивидуального производства. При правке роликом диапазон изменения основных параметров геометрии рельефа несколько меньше. Так, на уровне 10 мкм контактная площадь в указанном диапазоне режимов правки изменялась следующим образом: при правке карандашом в 4 раза - от 4 до 16%; при правке роликом в 2,2 раза - от 7,5 до 17%. Средний шаг между зернами на том же уровне изменялся при правке карандашом в 1,7 раза - от 1,75 до 1,05 мм, а при правке роликом в 1,4 раза - от 1,4 до 1,0 мм.

В работе установлено, что изменение числа оборотов ролика в пределах от 200 до 1000 об/мин и продольной подачи от 0,11 до 0,5 мм/об.кр. практически не повлияло ни на величину контактной площади круга, ни на средний шаг между зернами. Следовательно, правка роликом обеспечивает выше стабильность рельефа даже в условиях некоторого колебания режимов правки, что особенно важно при изготовлении деталей в массовом производстве, т.к. это способствует однородности деталей по качеству шлифованной поверхности.

Анализ результатов эксперимента по правке среднезернистого круга КЗ940СМ1К показал, что наиболее значительное влияние продольной подачи наблюдается в диапазоне до 0,2 мм/об.кр., несколько слабее в диапазоне от 0,2 до 1 мм/об.кр. и более.

Поперечная подача при правке оказывает заметное влияние также в зоне малых подач до 0,01 мм/дв.ход. В зоне подач свыше 0,01 мм/дв.ход рельеф поверхности круга меняется незначительно.

Эксперименты по правке мелкозернистых кругов выявили, что возможности регулирования рельефа их режущей поверхности посредством

режимов правки несколько уже, чем среднезернистых, и, в основном, проявляются через изменение величины контактной площади рельефа при неизменной величине поверхностной пористости круга.

Анализ результатов по исследованию влияния условий правки на рельеф режущей поверхности абразивных кругов показал, что путем выбора правящих инструментов, режимов и условий правки можно регулировать и формировать вполне определенными рельеф режущей поверхности, обладающий требуемыми свойствами.

В главе пятой приводятся результаты исследования изменения рельефа режущей поверхности абразивного круга КЗ25МЗК при шлифовании титанового сплава ВТ-20; круга Э9А16СМ2К при шлифовании инструментальной стали Р9К5 и круга Э9А40СМ1К при шлифовании подшипниковой стали ШХ15. Шлифование производилось на универсальном круглошлифовальном прецизионном станке модели ЗА110, на режимах чистовой обработки с числом оборотов изделия $n = 230$ об/мин (сталь Р9К5 и ШХ15) и $n = 88$ об/мин (сплав ВТ-20); с числом оборотов шлифовального круга $n_{кр} = 2840$ об/мин (сталь Р9К5 и ШХ15) и $n_{кр} = 2450$ об/мин (сплав ВТ-20); продольной подачей 1645 мм/мин, и поперечной подачей 0,002 мм/кажд.ход.

Методика проведения эксперимента предусматривала различный исходный рельеф режущей поверхности перед шлифованием, созданный за счет изменения параметров характеристики круга, режимов и условий правки (см.таблицу):

Характер, шлифов. круга	Обработка матери-ал	№ режи-мов правки	Средст-ва правки	Режимы правки			При-ме-ча-ние
				прод. по-дача	попер. подача	Число зачис-тн.хо-дов	
				$S_{\text{прод.}}$ мм об.кр.	$S_{\text{поп.}}$ мм дв.ход		
КЗ25МЗК	ВТ-20	$\frac{1}{2}$	Алмазн. карандаш марки Ц5	0,05 1,4	0,005 0,01	без зачи-стно-го хода	Правка односторонняя
Э9А16СМ2К	Р9К5	$\frac{1}{2}$	Алмазн. ролик	0,175 0,175	0,01 0,01		
Э9А40СМ1К	ШХ15	1	Алмазн. карандаш марки Ц5	0,05	0,005	Два за-чис.хода без зачис-тн.хода	
		2		0,50	0,01		
		3		0,04	0,005		
		4		1,4	0,01		

С помощью специального приспособления замерялся линейный износ круга в его рабочем положении непосредственно на станке. Мощность, потребляемая из сети, записывалась с помощью ваттметра-самописца типа Н-377, включенного в цепь питания электродвигателя

шпинделя шлифовального станка. Величина сошлифованного слоя измерялась микрометром с ценой деления 0,01 мм.

Результаты эксперимента по шлифованию титанового сплава ВТ-20 кругом К325МКЗ показали, что шлифование шло со значительным износом абразивного круга (496 мкм при тонкой правке и 598 мкм при грубой правке). Типичным видом износа в этом случае является истирание и разрушение зерен КЗ и выпадение их из связки. Такой характер износа шлифовального круга отразился и на рельефе его режущей поверхности; уменьшение числа режущих зерен приводило к увеличению среднего шага между зернами и уменьшению величины относительной контактной площади. Средняя интенсивность съема сплава составила 413 мм³/мин (тонкая правка) и 429 мм³/мин (грубая правка). Разница в подготовке рельефа режущей поверхности после правки проявилась в начале работы: первоначальный износ при шлифовании тонкозаправленным кругом произошел в основном за счет значительного выпадения зерен из связки (средний шаг заметно увеличился, величина контактной площади несколько уменьшилась), а грубозаправленным кругом — в основном за счет притупления вершин зерен. Длительное шлифование привело к тому, что резание осуществлялось зернами, находящимися в матрице круга и не подвергшимися воздействию правящего инструмента.

Результаты эксперимента по шлифованию инструментальной стали Р9К5 кругом Э9А16СМ2К выявили, что основным видом износа являлось истирание и разрушение зерен. Износ круга, правленного алмазным карандашом, составил 84 мкм (сошлифовано 9.200 мм³ стали), а круга, правленного роликом, 98 мкм (сошлифовано 10.700 мм³ стали). Круг, правленный карандашом, работал в режиме самозатачивания — наряду с увеличением контактной площади, как результата затупления зерен, происходило увеличение среднего шага за счет выпадения затупленных зерен из связки. К концу шлифования интенсивность выпадения зерен настолько возросла, что рельеф круга стал резко отличаться от исходного за счет значительного увеличения среднего шага между зернами. Изменения в рельефе, созданном алмазным роликом, проявились лишь через увеличение контактной площади режущей поверхности при весьма незначительном изменении среднего шага вплоть до конца шлифования. Круг работал в режиме затупления зерна. Средняя интенсивность шлифования составила: после правки круга алмазным роликом 531 мм³/мин, а после правки круга алмазным карандашом — 427 мм³/мин, что на 24% меньше, чем в первом случае. В результате исследования субмикрорельефа абразивных зерен установлено, что основные отличия при правке роликом и карандашом мелкозернистого круга на керами-

ческой связке связаны с формированием не микрогеометрии рельефа, а с формированием субмикрорельефа на поверхности самих абразивных зерен. При правке роликом на поверхности зерна создается большее количество микрокромки, сколов и вершинок за счет того, что режущая поверхность формируется большим количеством алмазных зерен. Быстрое притупление более "острых" режущих вершинок в начале шлифования сменяется в дальнейшем довольно медленным истиранием и разрушением зерен при весьма незначительном выпадении их из связки. Разница в характере изменения состояния режущей поверхности в результате правки различными правящими инструментами отразилась не только на показателях процесса шлифования, но и на состоянии поверхностного слоя обработанных деталей.

Результаты эксперимента по шлифованию подшипниковой стали ШХ15 кругом 39А40СМ1К позволили установить, что тонкая правка круга, существенно изменяя исходную геометрию рельефа среднезернистого круга по сравнению с грубой и обычной правками, значительно определяет характер изменения состояния режущей поверхности в процессе шлифования и влияет на такие показатели процесса как линейный износ, мощность и производительность шлифования. Исходный рельеф тонкозаправленного круга отличает значительная величина контактной площади и уменьшение шага между зернами.

Анализ результатов эксперимента показал, что шлифование тонкозаправленным кругом шло в режиме затупления круга. Весь процесс резания в течение 29 мин осуществлялся одними и теми же зернами, истирающимися и выкрашивающимися по вершинам. Износ круга составил всего 25 мкм. Обычная и грубая правка способствуют работе круга в режиме самозатачивания. Изменения в рельефе складываются как из истирания вершин зерен, выкрашивания отдельных кусочков зерна, вырывания зерен из связки, так и вступления в работу новых зерен, благодаря созданной при правке разновысотности расположения их вершин. Износ круга составил 39 мкм (23,7 мин резания - обычная правка) и 52 мкм (30,1 мин резания - грубая правка). Мощность шлифования кругом, заправленным с малыми подачами, в 2 раза больше, чем кругом, заправленным с большими подачами.

Сопоставление результатов эксперимента по изучению влияния рельефа режущей поверхности круга на мощность шлифования позволило установить, что при шлифовании разных материалов абразивными кругами разных характеристик мощность шлифования определяется величиной контактной площади поверхности круга и средним шагом между зернами (что в конечном итоге определяет количество зерен, находящихся в зоне резания) по следующим зависимостям:

$$N_3 = 0,085 e^{13,5 \eta_{10}} \text{ , квт; } N_3 = \frac{0,8}{\ell_{\text{ср}10}} - 0,16, \text{ квт.}$$

В главе шестой рассмотрены особенности формирования субмикрорельефа абразивных зерен в кругах разных характеристик при разных условиях правки и в процессе шлифования различных материалов. Субмикрорельеф абразивного зерна оценивался средней длиной контактной линии зерна B_3 , определяемой как средняя суммарная величина кусков $\Delta \ell_i$, вырезанных профилем зерна на секущей линии, проведенной на высоте h_{31} , отсчитываемой от вершины зерна вглубь профиля, и средним количеством режущих элементов K_3 на фиксированном уровне зерна, а также изменением этих величин по высоте профиля.

В работе показано, что физико-механические свойства зерен карбида кремния и их форма способствуют увеличению числа режущих элементов на поверхности зерна и средней длины контактной линии зерна по сравнению с зернами из электрокорунда. Уменьшение номера зернистости, связанное с уменьшением размеров абразивных зерен, проявляется, в основном, в уменьшении средней длины контактной линии зерна, например, на уровне 5 мкм $B_3 = 60$ мкм для зернистости 16 и 80 мкм для зернистости 40. На зернах ЭБ пластинчатой формы установлено увеличение числа режущих элементов после правки по сравнению с зернами изометричной формы. На глубине до 5 мкм зерна изометричной формы не являются более "острыми", чем зерна пластинчатой формы. С увеличением высоты профиля зерна отмечается уменьшение B_3 для изометричной формы зерна по сравнению с пластинчатой; так B_{31} равно 150 мкм для изометричных зерен и 175 мкм - для пластинчатых (зернистость 40).

В работе отмечено, что существенное влияние на геометрию рельефа зерна оказывают условия и режимы правки. Правка с малыми подачами способствует значительному увеличению средней длины контактной линии зерна и увеличению числа режущих элементов на поверхности зерна, что справедливо для зерен из разных материалов и разной зернистости. Правка алмазным роликом при одинаковых режимах формирует на зерне большее число режущих кромок при практически одинаковой величине B_3 по сравнению с правкой карандашом.

В работе установлено, что субмикрорельеф на абразивном зерне определяет условия трения и деформации металла в рабочей зоне. На фотографиях обработанной поверхности сплава ВТ-20, полученных с электронного микроскопа, хорошо видно, что зерна непосредственно после правки производят микрорезание, а зерна, находящиеся в матрице круга и не подвергшиеся правке, дают и скоблят обрабатываемый материал, вырывает отдельные кусочки. Причиной этого явилось создание режущих кромок на зерне при правке и отсутствие этих кромок у зерен, полученных лишь в результате дробления зерна и не подвергшихся

ся правке. Об этом свидетельствуют параметры геометрии субмикрорельефа абразивных зерен, определенные непосредственно после правки и в процессе шлифования. Следствием же отсутствия режущего субмикрорельефа является усиленный режим трения, налипание материала и проч., отмеченные даже в условиях чистового шлифования мягким кругом.

Таким образом, отсутствие на зерне режущего рельефа приводит к значительному снижению режущей способности зерна и ухудшению качества обработанной поверхности.

В главе седьмой излагаются результаты исследования влияния рельефа режущей поверхности шлифовального круга на некоторые показатели качества обработанной поверхности. Для изучения состояния поверхностных слоев шлифованных образцов проводились измерения и контроль следующих параметров: шероховатости поверхности, наличия микротрещин, микроструктуры и микротвердости поверхностного слоя, рентгенографическое определение количества остаточного аустенита; электронномикроскопические исследования субмикрорельефа шлифованной поверхности и определение остаточных напряжений первого рода в поверхностных слоях образцов.

Как показали результаты экспериментов, шероховатость обработанной поверхности в процессе шлифования различных материалов не остается постоянной, а изменяется в пределах 2-3 разрядов. Правка с малыми подачами снижает величину параметра R_a по сравнению с правкой с большими подачами. Величина шероховатости поверхности как после правки карандашом, так и после правки роликом оказалась практически одинаковой.

Величина параметра R_a шероховатости обработанной поверхности деталей из разных материалов определяется параметрами геометрии рельефа режущей абразивной поверхности при малом влиянии режимов шлифования по сравнению с рельефом. Между параметрами R_a , η и ζ_{cp} в условиях эксперимента установлена связь, описываемая следующими уравнениями:

$$R_a = \frac{2}{3} \zeta_{cp.10}, \text{ мкм} ; \quad R_a = \frac{0,09}{\eta_{10}}, \text{ мкм.}$$

Анализ результатов эксперимента по исследованию влияния параметров геометрии режущей абразивной поверхности на величину остаточных напряжений показал, что между возникшими в процессе шлифования в поверхностных слоях колец остаточными напряжениями растяжения и величиной относительной контактной площади рельефа режущей поверхности существует зависимость, характер которой описывается следующими эмпирическими уравнениями:

$$\text{для стали Р9К5} \quad \sigma_2 = 7140 \eta_{10}^{3,1}, \text{ кг/мм}^2;$$

для стали ШХ15 $\sigma_2 = 2300 \tau_{10}^2$, кг/мм².

В процессе шлифования остаточные напряжения изменяются как по величине, так и по глубине распространения. Максимальная величина остаточных напряжений наблюдалась на глубине 10 мкм. Правка круга с малыми подачами и правка алмазным роликом способствовали увеличению остаточных напряжений в поверхностных слоях деталей. Так, максимальная величина остаточных напряжений в поверхностном слое колец из стали ШХ15, шлифованных тонкозаправленным кругом, равнялась 68 кг/мм², а грубозаправленным кругом – 42 кг/мм². В поверхностных слоях колец из стали Р9К5 после шлифования кругом, заправленным алмазным роликом, максимальная величина остаточных напряжений достигла 46 кг/мм², а заправленным карандашом – 30 кг/мм².

Исследованиями установлено, что существенные изменения микротвердости произошли в поверхностных слоях колец из стали ШХ15, прошлифованных тонкозаправленным кругом (до 660 кг/мм² вместо исходного значения в 800 кг/мм²) на глубину до 14 мкм от поверхности. Микротвердость в процессе шлифования изменялась как по абсолютному значению, так и по глубине распространения. Причиной возникновения структурных изменений поверхностного слоя и сопровождающих их развивающихся в поверхностном слое значительных остаточных напряжений и микротрещин явился форсированный режим трения, возникший в результате работы тонкозаправленного круга ЭРА40СМКВ в режиме затупления зерна. В поверхностных слоях колец из стали ШХ15 после шлифования обычнозаправленным кругом понижение твердости до 720 кг/мм² обнаружено лишь к концу шлифования, когда было сошлифовано 14.000 мм³ стали. Изменение микротвердости в поверхностных слоях образцов из стали Р9К5 не было обнаружено.

Результаты исследования количества остаточного аустенита в поверхностном слое показали, что в процессе шлифования как стали ШХ15, так и стали Р9К5 произошло увеличение содержания остаточного аустенита. Тонкая правка круга способствовала увеличению содержания остаточного аустенита в поверхностных слоях колец в начале шлифования в 1,3–1,5 раза, к концу шлифования до 3 раз по сравнению с грубой правкой. Правка круга алмазным роликом также способствует несколько большему (в 1,17–1,20 раза) увеличению количества остаточного аустенита в поверхностных слоях колец из стали Р9К5. Исследованиями установлено, что прямого влияния геометрического фактора на количество остаточного аустенита нет.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Рабочая поверхность абразивного круга отличается случайным характером пространственного расположения режущих зерен. Геометрические свойства рельефа режущей поверхности следует оценивать статистически.

Одними из возможных характеристик геометрии рельефа режущей поверхности являются среднее расстояние между зернами $\bar{l}_{cp}$ и коэффициент длины контактной линии профиля η , определенные на фиксированных уровнях, и их изменение по высоте профиля.

2. Основой экспериментального определения статистических характеристик геометрии рельефа режущей поверхности шлифовальных кругов может служить метод профилографирования поверхности алмазной иглой, ввиду его простоты, непосредственности и надежности получения данных.

Запись профиля рельефа абразивной поверхности следует производить на высоте профиля до 50 мкм, что позволяет записывать активные элементы рельефа, непосредственно участвующие в резании, с большими увеличениями и малыми погрешностями.

В связи с малой глубиной записи профиля и большими шагами между зернами длина трассы измерения должна соответствовать для кругов зернистостью 40-80 мкм, для кругов зернистостью 25-60 мкм, для кругов зернистостью (I2-I6)-30 мкм.

3. Состояние режущей поверхности абразивного круга, характеризующее геометрию его рельефа, зависит от всех параметров технической характеристики. Так, круги с зерном из Э9А имеют большую поверхностную пористость по сравнению с кругами из зерен КЗ. Поверхностная пористость кругов и разновысотность расположения зерен для кругов на бакелитовой связке значительно больше, чем для кругов на керамической связке. Контактная площадь поверхности круга растет с увеличением твердости круга и уменьшением его зернистости. Средний шаг между зернами больше для более мягких кругов, чем для более твердых и для кругов с большей зернистостью, чем для мелкозернистых. Пластинчатая форма зерен увеличивает контактную площадь круга по сравнению с изометричной. Повышение содержания основной фракции приводит к некоторому уменьшению контактной площади и увеличению среднего шага между зернами по сравнению с кругом с 45-50%-ным содержанием основной фракции.

4. Формирование рельефа режущей поверхности шлифовального круга осуществляется в процессе правки круга, позволяющей получить режущую поверхность шлифовального инструмента с требуемыми, вполне определенными характеристиками, а не просто очистить эту поверхность после работы с минимальной затратой времени.

Регулирование и формирование рельефа режущей поверхности абразивных инструментов можно осуществлять путем выбора правящих инструментов, режимов и условий правки. Правка алмазным роликом обеспечивает высокую стабильность геометрии рельефа, даже при некотором колебании режимов правки, что может способствовать однородности деталей по качеству шлифованной поверхности в условиях массового производства. Правка алмазным карандашом позволяет изменять рельеф на круге и режущие свойства в значительном диапазоне, что делает его более универсальным правящим инструментом в условиях серийного и индивидуального производства. Наиболее значительное влияние поперечной и продольной подачи на геометрию рельефа круга проявляется в зоне малых подач ($S_{\text{прод}}$ до 0,2 мм/об.кр; $S_{\text{поп.}}$ до 0,01 мм/дв.ход).

5. В процессе шлифования происходит изменение состояния рабочей поверхности круга, проявляющееся в изменении геометрии рельефа его режущей поверхности. Характер изменения рельефа режущей поверхности зависит, прежде всего, от условий взаимодействия обрабатываемого материала и абразивного инструмента, затем от первоначальной подготовки режущей поверхности. Так, при шлифовании сплава ВТ-20 кругом КЗ25МЗК происходило непрерывное изменение рельефа режущей поверхности в связи со значительным "осыпанием" круга. Тонкая правка круга ЭСА40СМ1К способствовала работе круга при шлифовании стали ШХ15 в режиме затупления зерен, а обычная правка - в режиме самозатачивания круга.

6. Микрорельеф абразивного зерна следует изучать не на абразивных зернах, находящихся вне поверхности круга, а на зернах, находящихся в связке круга и подвергшихся правке.

Поверхность абразивного зерна отличается сложным режущим субмикрорельефом.

7. Геометрический фактор является определяющим в формировании неровностей на шлифованной поверхности. Величина параметра R_a шероховатости обработанной поверхности деталей из разных материалов определяется параметрами геометрии рельефа режущей поверхности абразивного круга при малом влиянии режимов шлифования по сравнению с рельефом. Правка круга как алмазным карандашом, так и алмазным роликом дает практически одинаковую величину шероховатости. Правка круга с малыми режимами подачи способствует снижению величины шероховатости.

В процессе шлифования шероховатость обработанной поверхности не остается постоянной для любых условий шлифования, а изменяется в пределах двух-трех разрядов.

8. Относительная контактная площадь рельефа режущей поверхности, наряду с др. факторами, определяет тепловой режим и степень пласти-

ческих деформаций в зоне резания, а следовательно, величину остаточных напряжений и глубину их залегания.

В процессе шлифования остаточные напряжения изменяются как по величине, так и по глубине распространения. Максимальные по величине остаточные напряжения растяжения наблюдались на глубине 10 мкм.

Правка круга с малыми подачами и правка алмазным роликом способствовали увеличению остаточных напряжений в поверхностных слоях деталей.

9. Рельеф режущей поверхности оказывает влияние на количество остаточного аустенита, микротвердость и микротрещины в поверхностных слоях деталей, однако не непосредственно, а через изменение теплового режима в зоне шлифования за счет изменения условий геометрического контактирования абразивного инструмента и обрабатываемой детали.

Правка с малыми подачами без снижения интенсивности шлифования во времени приводит к увеличению количества остаточного аустенита до трех раз, значительному понижению микротвердости (до HRC=56 вместо HRC=61) и появлению микротрещин в поверхностных слоях колец из стали ХХ15. Правка круга алмазным роликом также способствует несколько большему (в 1,17-1,20 раза) увеличению количества остаточного аустенита в поверхностных слоях стали Р9Х5 по сравнению с правкой алмазным карандашом при шлифовании мелкозернистым кругом Э9А16СМ2К.

х х х

Материалы диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Попов С.А., Соколова Л.С. Влияние однородности зернового состава абразива и формы зерен на рельеф режущей поверхности шлифовальных кругов. Сб. "Абразивы" № 12, М., 1972.

2. Попов С.А., Соколова Л.С. Статистические характеристики рельефа рабочей поверхности абразивных инструментов. Межвузовский сборник "Вероятностно-статистические основы процессов шлифования и доводки", СЭПИ, Л., 1973.

3. Соколова Л.С. Устройство для профилографирования рельефа режущей поверхности шлифовального круга непосредственно на станке "Известия вузов. Машиностроение" № 6, М., 1973.

Л-75568. 15.05.1973 г.

Зак. 24. Тир. 150.

Группа полиграфических работ ОСИЗ ЦНИИТМАШ.

Шарикоподшипниковская, 4.