

ПРЕДИСЛОВИЕ

Основная задача современного машиностроительного производства состоит в повышении технического уровня, качества и конкурентноспособности выпускаемой продукции. Необходимо значительно повысить экономичность и производительность выпускаемой техники, ее надежность и долговечность.

Решению этой задачи, при механической обработке заготовок деталей машин, в значительной степени способствует повышение эффективности процесса шлифования — одного из наиболее распространенных технологических процессов финишной механической обработки деталей.

В общем машиностроении из всех металлорежущих станков 10...12% являются шлифовальными. На многих производствах этот процент еще выше. Например, в автомобильной промышленности — до 25%, а в подшипниковой — до 60%.

Задача отечественной школы технологии машиностроения заключается в возможно полном объяснении физической сущности процессов шлифования и явлений, его сопровождающих, а также в обобщении теоретического и экспериментального материалов, накопленных в области исследования процесса абразивной обработки, что необходимо для создания технологий высокоэффективного шлифования различных материалов.

В настоящее время повышение эффективности процесса шлифования, т. е. получение требуемых точности обрабатываемых деталей и качества их поверхностного слоя при максимальной производительности труда и минимальном расходе абразивного инструмента, осуществляется путем управления процессом на основе использования функциональных связей между производительностью труда, расходом абразивного инструмента и технологическими факторами, влияющими на параметры точности и качества

обработки деталей. Создаются новые СТМ на основе кубического нитрида бора, новые высокопористые круги, абразивный инструмент без связки и т. д. Внедряются новые технологические процессы, например высокоскоростное шлифование, глубинное фасонное шлифование, ленточное глубинное шлифование и др.

Различными вопросами обработки и создания новых шлифовальных кругов занимаются научные школы под руководством В. И. Аверченкова, В. Ф. Безъязычного, Д. Г. Евсеева, А. В. Королева, И. В. Крагельского, З. И. Кремня, В. Ф. Максарова, А. А. Маталина, А. Н. Мартынова, Ю. К. Новоселова, В. М. Оробинского, А. Н. Резникова, В. К. Старкова, Ю. С. Степанова, А. Г. Суслова, Л. В. Худобина, А. В. Якимова, П. И. Ящерицына и др.

Цель данной книги — систематизировать и обобщить имеющиеся в технической литературе материалы, научно-производственный опыт НИИ и машиностроительных предприятий, а также результаты исследований авторов в области высокоэффективного шлифования материалов абразивными, алмазными и эльборовыми кругами. Авторы выражают искреннюю признательность проф. З. И. Кремню и проф. В. Г. Юрьеву за ценные замечания и помощь в работе над книгой.

СОВРЕМЕННОЕ СОСТОЯНИЕ И ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

1.1. ОБЩИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЯ О ХАРАКТЕРЕ ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ВЫХОДНЫЕ ПАРАМЕТРЫ ПРОЦЕССА ШЛИФОВАНИЯ

В современном машиностроении все шире применяются высокопрочные, нержавеющие, жаропрочные и другие стали и сплавы, обладающие специальными физико-механическими свойствами. Обработка их резанием представляет значительные трудности. Широкое распространение шлифования как метода окончательной обработки заготовок ответственных деталей машин требует соответствующего повышения эффективности этого процесса. Одним из наиболее перспективных направлений для решения этой задачи является повышение скорости вращения круга. Результаты фундаментальных теоретических и экспериментальных исследований в области шлифования, полученные в работах отечественных и зарубежных авторов, и накопленный практический опыт показали большое влияние скорости резания на выходные параметры процесса шлифования. Реализация преимуществ, полученных при увеличении скорости, позволила резко повысить эффективность операции шлифования.

Скорость резания при шлифовании, в отличие от лезвийной обработки, существенно не изменялась для большинства операций со времен создания в конце XIX столетия первого шлифовального станка и вплоть до настоящего времени находилась в пределах 30...35 м/с. Только такие предельные скорости обеспечивались прочностью шлифовальных кругов на разрыв.

Идея увеличения скорости резания при шлифовании не новая. Еще в 1931 г. М. Е. Борнеман, а в 1935 г. К. Круг провели ряд исследований, которые показали, что с увеличением скорости резания уменьшаются мгновенные сечения срезов и силы резания. В 1939 г. П. Е. Дьяченко показал, что с ростом скорости шлифовального круга с 21 до 31 м/с при постоянной силе прижима круга к заготовке уменьшаются составляющие силы резания и показатель

шероховатости поверхности R_a , увеличивается съем металла. В Советском Союзе теоретические основы для дальнейших исследований в области скоростного шлифования были заложены в сороковых — шестидесятых годах в работах А. М. Карташова, В. Д. Кузнецова, Г. Б. Лурье, Е. Н. Маслова, П. И. Ящерицына. Было установлено, что увеличение скорости резания приводит к уменьшению толщины среза каждой режущей кромкой круга и увеличению контактной температуры шлифования. Уменьшение толщины среза способствует уменьшению силы резания, износа шлифовального круга и шероховатости обработанной поверхности. Во многих работах были неточности и противоречия. Изменение сопротивления резанию при увеличении скорости объяснялось уменьшением пластической деформации металла из-за эффекта «охрупчивания» или размягчением металла в зоне резания под действием высоких температур.

В эти же годы в результате обширных экспериментальных исследований были получены практические рекомендации и на их основе осуществлено внедрение в производство круглого наружного шлифования со скоростями резания 50...60 м/с. Однако по ряду причин (необходимость модернизации шлифовальных станков для увеличения частоты вращения шпинделя, для обеспечения их заградительными устройствами и более сложной системой охлаждения; нехватка скоростных шлифовальных кругов; отсутствие научно обоснованных рекомендаций по определению областей рационального применения повышенных скоростей резания) практическое внедрение в производство скоростного шлифования не получило в нашей стране достаточно широкого распространения нигде, кроме подшипниковой и автомобильной промышленности.

За рубежом, за исключением США и ФРГ, до начала шестидесятых годов исследования по увеличению скорости резания при шлифовании свыше 30...33 м/с практически не велись. В 1947 г. в США для операции шлифования шеек коленчатых валов были применены керамические шлифовальные круги, позволяющие работать при скорости резания 43 м/с, а на операции резьбошлифования — 61 м/с. Для плоского обдирочного шлифования слябов и биллетов в конце пятидесятых годов были изготовлены круги на бакелитовой связке, выдерживающие скорость резания до 65 м/с, что обеспечило большой съем металла [4, 27, 49]. Наиболее фундаментальные исследования процесса высокоскоростного шлифования сталей и сплавов были выполнены в Высшей технической школе в Аахене (ФРГ) профессорами Х. Опитцем, К. Гюрингом, Г. Кругом, В. Эрнстом и др. [169, 177, 179, 185, 186]. Изучению

данного вопроса посвящены многие современные работы японских исследователей [184, 189, 205].

Для инструментальной промышленности в настоящее время увеличивается производство сталей повышенной производительности Р9К5, Р9К10, Р9Ф5, Р9К5Ф5 и др. (ГОСТ 9373-73), предназначенных для обработки труднообрабатываемых материалов, применение которых позволяет повысить стойкость инструмента по сравнению с инструментом из стали Р18. Применение инструмента из стали Р9К5 и Р9К10 вместо стали Р18 обеспечивает повышение стойкости инструмента в 1,5...2 раза, что соответствует повышению производительности на 10...15%.

Вместе с тем обработка шлифованием новых быстрорежущих сталей этих марок значительно сложнее, чем стали Р18, что приводит к трудностям при заточке и переточке инструмента и тем самым сдерживает их применение. Трудности при шлифовании этих сталей объясняются присутствием карбидов ванадия (MeC), твердость которых приближается к твердости абразивных материалов [7, 15, 16, 17]. На обработку шлифованием быстрорежущих сталей оказывают также влияние размеры карбидов и неравномерность их распределения [1, 30, 43, 57, 79, 83]. Для полного удаления обезуглероженного слоя с рабочих поверхностей инструментов, изготовленных из быстрорежущих сталей с повышенным содержанием кобальта и молибдена, припуск на шлифование и заточку по рекомендации ЦНИИТМАШ должен быть большим, чем для стали Р18, в 1,5...2 раза [1]. Заточка металлорежущих инструментов из быстрорежущих сталей Р6М5, РКФ4К5, Р10К10Ф3М4, Р9Ф56, Р9К5 и им подобных кругами из электрокорунда и монокорунда имеет существенные недостатки (низкая производительность заточки; шероховатость обработанной поверхности, не отвечающей требованиям ГОСТ, наличие структурных изменений поверхностного слоя). В связи с этим в настоящее время для заточки и переточки металлорежущих инструментов повышенной производительности из быстрорежущих сталей, легированных ванадием, молибденом и кобальтом, все шире применяют круги из эльбора. Эти круги обладают высокой режущей способностью, большой стойкостью и остротой режущих зерен, стабильным и равномерным износом, в результате чего уменьшается выделение тепла в зоне шлифования и повышается качество металла поверхностного слоя затачиваемых инструментов.

Высокое качество поверхности, острота режущих кромок, отсутствие прижогов, точность геометрических параметров обеспечивают повышение стойкости инструментов из быстрорежущих

сталей после заточки их кругами из эльбора в 1,5...2 раза. Повышение стойкости металлорежущего инструмента в результате заточки его кругами из эльбора не только окупает некоторое повышение стоимости такой заточки по сравнению с заточкой кругами из электрокорунда белого или монокорунда, но и позволяет получить значительный экономический эффект.

Как показывают результаты обследования предприятий инструментальной промышленности, в настоящее время заточка инструмента из быстрорежущих сталей производится в основном при скоростях резания 20...25 м/с. Одним из наиболее перспективных направлений повышения производительности шлифования и заточки инструмента также является увеличение скорости вращения круга.

Однако встречающаяся иногда тенденция к повышению скорости круга на всех операциях шлифования — ошибочна. Дальнейшее развитие шлифования и опыт его внедрения на производстве показали, что далеко не всегда увеличение скорости резания приводит к повышению эффективности процесса. При этом появляется ряд не только положительных, но и отрицательных явлений, таких как увеличение мощности приводов, контактной температуры, центробежных сил, вибраций от неуравновешенных масс, циклической нагрузки на круг и др. Все это потребовало разработки и создания новых конструкций шлифовальных станков и технологий изготовления абразивного инструмента [2, 9, 19, 23, 24, 30, 66] и др., что привело к положительным результатам.

Таким образом, при изучении процесса шлифования, с точки зрения его технологических возможностей, следует рассматривать вопрос выбора рациональных скоростей резания, т. е. наиболее эффективных для каждой конкретной операции.

Преимущества высокоскоростного шлифования можно использовать при любом методе шлифования. Однако следует иметь в виду, что, в зависимости от используемого метода, кинематические закономерности и технические возможности применяемых станков создают различные условия обработки и характерные отличия в методах. Рассмотрим подробнее основные отличия высокоскоростного плоского шлифования от круглого.

По данным работ [35, 49, 50] увеличение скорости резания при круглом наружном шлифовании с 35 м/с до 50 м/с позволило пропорционально увеличить глубину шлифования, или подачу, и тем самым добиться увеличения производительности обработки. При этом качество шлифованных поверхностей оставалось примерно постоянным, если выдерживалось соотношение скоростей круга и

изделия $V_k/V_{\text{и}} = 60$. На операциях плоского шлифования периферией круга на станках с возвратно-поступательным движением прямоугольного стола этого соотношения достичь нельзя в силу ограниченных технических возможностей гидропривода стола, уменьшающих диапазон изменения скоростей изделия. Кроме того, плоскошлифовальные скоростные станки ($V_k \leq 60$ м/с), выпуск которых освоен отечественной промышленностью, имеют существенные недостатки, для устранения которых необходимы научно обоснованные рекомендации по определению области рационального применения повышенных скоростей резания.

Очевидно, на операциях плоского шлифования, так же как и при круглом шлифовании, высокие скорости не всегда будут эффективны. Необходимо найти область рационального применения высоких скоростей резания, разработать технологические рекомендации по их применению и на основе этих рекомендаций определить оптимальные условия операции в виде рабочих циклов плоского шлифования конкретных заготовок.

Первым шагом для решения такой задачи является изучение физической основы процесса высокоскоростного шлифования с целью определения его преимуществ и технологических возможностей, что в методическом плане осуществляется моделированием процесса шлифования микрорезанием единичным абразивным зерном в широком диапазоне скоростей резания. Такой подход позволяет достичь основной цели исследований — повышения эффективности процесса шлифования разных сталей и сплавов электрокорундовыми и эльборовыми кругами путем применения высоких скоростей резания и назначения рациональных рабочих циклов обработки. Под повышением эффективности процесса шлифования понимается увеличение производительности обработки, повышение качества поверхности, точность размеров заготовки, периода стойкости шлифовального круга и снижение себестоимости всей операции.

1.2. АНАЛИЗ ВОЗМОЖНОСТЕЙ УВЕЛИЧЕНИЯ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ОБРАБОТКИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОМ ШЛИФОВАНИИ

Производительность любой, в том числе и шлифовальной, операции определяется количеством заготовок, обработанных в единицу времени на данном станке, и зависит от скорости съема припуска с заготовки. Большинство исследователей [41, 50, 72, 90]

считают, что увеличение скорости резания позволяет одновременно увеличить подачу (скорость съема металла) и тем самым уменьшить основное время обработки. При этом возможно изменение периода стойкости круга и, соответственно, времени обслуживания, затрачиваемого на его правку.

Для количественной оценки возможностей увеличения съема металла при высокоскоростном шлифовании приведем анализ уравнения средней толщины среза, снимаемого одним абразивным зерном на рабочей поверхности круга,

$$a_z = \frac{V_n}{60 \cdot V_k \pm 2 \cdot V_n} \cdot l_\phi \cdot \sqrt{t_\phi} \cdot \sqrt{\frac{D+d}{D \cdot d}} \cdot \frac{S}{B}, \text{ мкм}, \quad (1.1)$$

или упрощенный вариант этой зависимости:

$$a_z = 8 \cdot \sqrt{\frac{Q_{уд}}{C \cdot V_k}} \cdot \sqrt{\frac{D+d}{D \cdot d}}, \text{ мкм}. \quad (1.2)$$

Из приведенных уравнений видно, что если с увеличением скорости круга повышать глубину резания или подачу (скорость съема припуска), то толщина среза остается постоянной.

Известно [4, 21, 29, 66, 95, 102, 106, 109], что с увеличением скорости круга увеличивается количество режущих кромок на его рабочей поверхности, по отношению к кромкам, совершающим только работу упругой и пластической деформации. Это обстоятельство не учитывается в приведенных выше уравнениях. Кроме того, в зависимости от скорости резания изменяются сопротивление металла срезу и работа трения, при этом следует учитывать, что процесс резания при шлифовании происходит в нагретом слое металла [40, 41, 46, 53, 78, 105, 112, 121, 133], а контактная температура при шлифовании также зависит от скорости резания [1, 17, 18, 22, 30, 48, 69, 86, 101, 111, 113, 116, 120, 122, 149, 161, 166].

Изложенными выше причинами и можно объяснить различие в экспериментальных данных по определению возможности увеличения производительности при высокоскоростном шлифовании, см. табл. 1.1.

Как указывается в работах, выполненных во ВНИИАШ [48, 50, 103, 138], применение скоростного шлифования (до 60 м/с) позволяет увеличить скорость съема металла при постоянной скорости круга за счет одновременного увеличения скорости заготовки, продольной и поперечной подач. При этом качество шлифованных поверхностей остается неизменным. Аналогичные результаты при обработке конструкционных сталей, со скоростями резания до 50...60 м/с, получены в других работах [22, 30, 45, 49, 105, 172].

Т а б л и ц а 1.1

**Повышение производительности шлифования
конструкционных сталей электрокорундовыми кругами
на керамической связке при увеличении скорости резания**

Автор, источник	Скорость резания, м/с					
	35	50	60	80	90	120
А. М. Карташев [50]	1,0	1,43	—	—	—	—
В. Д. Кузнецов [68]	1,0	1,43	—	—	—	—
М. С. Наерман [86]	1,0	1,43	—	—	—	—
Г. Б. Лурье [73]	1,0	1,60	—	—	—	—
П. И. Ящерицын [166]	1,0	1,50	—	—	—	—
С. Н. Корчак [57]	1,0	1,90	—	—	—	—
Г. Опитц [185]	1,0	1,60	2,80	—	6,0	—
В. Эрст [160]	1,0	—	5,0	—	—	—
К. Гюринг [35]	1,0	—	2,5	4,0	5,0	12,0
Г. Фогт [193]	1,0	—	3,0	—	—	—
Т. Сенодзаки [189]	1,0	—	3,0	—	—	—

Примечание: производительность при $V_k = 30...35$ м/с принята за единицу.

Т а б л и ц а 1.2

**Влияние скорости резания на съем металла при шлифовании различных
сталей с постоянным радиальным усилием**

Обрабатываемые стали	Удельный съем металла, мм ³ /мин		Обрабатываемые стали	Удельный съем металла, мм ³ /мин	
	$V_k = 35$ м/с	$V_k = 50$ м/с		$V_k = 35$ м/с	$V_k = 50$ м/с
45	78	140	12ХН3А	68	78
20	70	132	38ХМ0А	50	77
50Г	68	123	38ХСА	56	68
20Х	71	112	30ХГТ	54	66
45Х	62	82	18ХНВА	50	59
20ХН3А	57	81	30НГНА	46	55

Примечание: $P_y = 1200$ Н, $V_n = 30$ м/мин, круг 24А50С17К5 [138].

Влияние скорости резания на съем металла при шлифовании различных по обрабатываемости сталей приведено в работе [138] (табл. 1.2). Анализ выполненных исследований показывает, что эффективность от увеличения скорости круга различна при обработке разных материалов. Объяснять полученные результаты только влиянием температуры на удаляемый слой металла и его разупрочнением неправильно. По-видимому, сказывается также

уменьшение коэффициента трения абразивного зерна и связи круга, сопротивление металла резанию, различие в составе СОТЖ, системе ее подвода, давления и др. Однако небольшой диапазон исследуемых скоростей резания (35...50 м/с) не позволяет сделать конкретные выводы. Из результатов, приведенных в табл. 1.2, видно, что при шлифовании сталей 20 и 45 увеличение скорости резания в 1,43 раза приводит к увеличению скорости съема металла в 1,8...1,9 раза, а при шлифовании сталей 18ХНВА, 30ХГНА и 30ХГТ — всего лишь в 1,2 раза. Таким образом, для легкошлифуемых металлов возможность увеличения скорости съема металла значительно больше, чем для трудношлифуемых, что можно объяснить быстрым затуплением круга при шлифовании последних.

В табл. 1.3 приведены данные [160], которые показывают значительно большие возможности высокоскоростного шлифования, с точки зрения увеличения скорости съема металла. Предельные значения скоростей съема металла получены при врезном круглом наружном шлифовании нормализованной стали 45 при скоростях резания 30 и 60 м/с. Ограничения для предельной врезной подачи при скорости 30 м/с — вибрации и огранка, при скорости 60 м/с — появление прижогов. Эффект получен за счет следующего:

- одновременно с увеличением скорости резания увеличивается скорость заготовки;
- используется усовершенствование системы охлаждения заготовки.

Это усовершенствование заключается в отклонении воздушного потока от зоны обработки и подачи СОТЖ под повышенным

Таблица 1.3

Предельные скорости съема металла при круглом наружном шлифовании нормализованной стали 45 с различными скоростями резания и условиями охлаждения [160]

Характеристика круга и ее отечественный аналог	Предельная скорость съема металла, $Q_{пр}$, мм ³ /мм·с				
	$V_k = 30$ м/с, $V_n =$ $= 18$ м/мин	$V_k = 60$ м/с, $V_n =$ $= 18$ м/мин	$V_k = 60$ м/с, $V_n =$ $= 60$ м/мин	$V_k = 60$ м/с, $V_n =$ $= 18$ м/мин	$V_k = 30$ м/с, $V_n =$ $= 18$ м/мин
ЕК60 L6V _x (24A25CM2K6)	2	2	4–5	8	12
ЕК60 J0t _x Y _x (24A25M36K)	3	3	6	10	15
Охлаждение	Эмульсия поливом	Эмульсия поливом	Эмульсия поливом	Эмульсия + отклонение потока воздуха	Эмульсия + давление 10 атм

Таблица 1.4

Влияние скорости резания на предельную скорость съема металла ($Q_{пр}$, мм³/мм·с) при шлифовании различных сталей

Обрабатываемый материал и отечественный аналог	Скорость резания, м/с				
	20	40	60	80	90
CK45 N (сталь 45, нормализ.)	8	23	50	90	114
X10 Gni MoTi 1810 (X18H10T)	8	20	35	65	100
S 6-5-2 P6M5 (HRC 63,5)	7	22	47	80	105
S 12-1-14 P12Ф5М (HRC 64)	5	18	36	60	73
100 G M _n 6 ШХ15СГ (HRC 61)	7	22	48	85	110

Примечание: круг 24A16CM27K5, $V_w/V_n = 60$, СОТЖ — масло [176].

давлением. За счет этого получается дополнительный эффект, который позволил увеличить предельный съем металла в 5...6 раз по сравнению с обычным шлифованием. К сожалению, рекомендации автора ограничены малым диапазоном скоростей резания и одним исследуемым материалом.

В работе [176] выполнено исследование предельных значений скоростей съема металла при шлифовании различных по обрабатываемости сталей в диапазоне скоростей резания 20...90 м/с. На круглошлифовальном станке шлифовались образцы с возрастающей врезной подачей и с измерением составляющих сил резания. Предельная производительность рассчитывалась по предельному значению врезной подачи в момент скачкообразного изменения износа круга и уменьшения составляющих силы резания. Результаты шлифования различных по обрабатываемости сталей приведены в табл. 1.4.

Анализ данных показывает, что предельная производительность при всех исследуемых скоростях резания практически не зависит от обрабатываемости материала. Кроме того, при постоянной скорости резания предельная производительность для различных сталей отличается на 15...50%, т. е. стали 45, X18H10T и P6M5 обрабатываются примерно одинаково во всем исследуемом диапазоне скоростей резания.

Выполненные в последнее время работы фирмы Гюринг «Автоматизация по исследованию предельных значений скорости съема металла при шлифовании различных по обрабатываемости сталей и сплавов в широком диапазоне скоростей (20...300 м/с)» показали возможности увеличения съема в десятки раз. Несмотря на то, что данные экспериментов в анализируемых работах различны, они свидетельствуют о больших резервах повышения производительности при шлифовании разных по обрабатываемости материалов.

Эффективность применения высокоскоростного шлифования рассмотрена в работах [30, 35, 43, 50, 66, 86, 94, 138], в которых на основании теоретических исследований доказывается, что увеличение скорости круга должно привести к пропорциональному уменьшению силы резания, увеличению съема металла на единицу силы резания и уменьшению шероховатости поверхности. Уменьшение силы резания и шероховатости заготовки является следствием уменьшения размеров удаляемых стружек при увеличении скорости круга. Если допустить, что удельная мощность шлифования постоянна, то станет очевидным, что наибольшие преимущества от применения высоких скоростей круга заключаются в пропорциональном увеличении интенсивности съема материала при тех же силах резания. Это предположение согласуется с результатом, полученным в работе [49], в которой установлено, что применение высоких скоростей круга позволяет получить интенсивность съема материала при круглом шлифовании, сопоставимую с интенсивностью съема при точении. Однако в работе [49] установлено, что имеется некоторый практически допустимый предел максимальной скорости круга, выше которого заметно возрастают дополнительные затраты на оборудование и устройства, обеспечивающие безопасность работы.

Таким образом, из изложенного выше видно, что увеличение скорости круга позволяет увеличить скорость съема металла. Степень увеличения съема металла зависит не только от значения скорости резания, но и от других условий шлифования (мощности и жесткости станка, условий охлаждения зоны шлифования, износа круга и др.), а также от ограничений по точности и качеству шлифованных поверхностей. Этим обстоятельством объясняются различия в значениях предельных скоростей съема, полученных разными исследователями. Практическое использование полученных данных затруднительно, потому что все они являются чисто экспериментальными, пригодными только для конкретных условий шлифования.

1.3. ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ КРУГА НА СИЛУ РЕЗАНИЯ, КОНТАКТНУЮ ТЕМПЕРАТУРУ И КАЧЕСТВО ШЛИФОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТИ

Процесс резания является сложным комплексом физико-химических явлений (механических, тепловых, электрических, диффузионных, адгезионных и др.), которые сопровождают взаимодействие инструмента с материалом обрабатываемой заготовки в условиях больших контактных давлений и температур.

Работами В. Д. Кузнецова, М. И. Большаниной, М. И. Клушина и др. [53, 60, 68, 99, 107] подтверждается, что 95% от всей общей энергии шлифования расходуется на трение и около 5% — на диспергирование металла в тончайших поверхностных слоях шлифуемых материалов с одной стороны и на поверхности абразивных зерен кругов с другой. В настоящее время считается установленным также, что деформация в процессе резания идет путем сдвига. Для упрощения расчетов принято считать, что сдвиги при резании идут в основном в плоскости максимальных касательных напряжений, наклон которой к направлению резания определяется углом сдвига [53, 73, 78, 105, 130]. Однако экспериментами доказано [40, 47, 92, 95, 99, 108, 115, 121, 128], что область сдвига при шлифовании не ограничивается одной плоскостью, а представляет собой определенную зону, размеры которой уменьшаются с увеличением скорости резания.

Наиболее полными характеристиками работы трения при шлифовании для разных кругов и в разных стадиях их затупления являются составляющие силы резания P_z и P_y , а также температура, возникающая в зоне контакта зерна с металлом. Сила резания при шлифовании изменяется в широком диапазоне в зависимости от толщины среза, скорости резания и других технологических условий обработки, материала заготовки и характеристики абразивного инструмента. С увеличением скорости круга отношение P_z/P_y , косвенно характеризующее коэффициент трения вершин абразивных зерен о металл, уменьшается, что объясняется увеличением скорости скольжения и уменьшением глубины резания, приходящейся на вершину каждой режущей кромки [30].

В работах [43, 74, 90, 103, 117, 138, 151, 166] показано, что повышение скорости круга до 60...80...120 м/с приводит к снижению составляющих силы резания и шероховатости шлифованной поверхности при практически неизменной геометрической точности, что создает значительный резерв для повышения производительности шлифования. Это объясняется тем, что с увеличением скорости круга увеличивается число контактов зерен с обрабатываемой поверхностью в единицу времени и, следовательно, уменьшается толщина среза и усилие, приходящееся на одно зерно, но повышается температура шлифования, что приводит к увеличению мощности и теплообразования при внешнем трении, в результате чего металл в зоне резания пластифицируется и его сопротивление резанию уменьшается [8, 17, 172]. Если же одновременно с увеличением скорости резания увеличивать скорость съема металла, то значение составляющих силы резания увеличивается.

Возможными причинами, которые приводят к уменьшению тангенциальной силы, являются изменения величин силы трения и температуры в деформируемом объеме и стружке [98, 99, 196]. В работе [204] показано, что коэффициент трения сапфира и рубина по стали увеличивается при уменьшении скорости скольжения от 50 до 1,0 м/с. Основой рубина и сапфира является минерал корунд (Al_2O_3) [19], следовательно, эту зависимость можно отнести и к электрокорунду. Данные работ [17, 52, 197] подтверждают этот вывод. Так, трение электрокорунда со сталью ШХ-15 в диапазоне скоростей 20...80 м/с уменьшается в 2...2,5 раза. Поскольку эльбор имеет сходную с рубином кристаллическую решетку, а по термостойкости, твердости и химической инертности, по отношению ко всем обрабатываемым материалам, значительно превосходит электрокорунд [140, 159], то такой же вывод можно сделать и относительно эльбора. Действительно, с увеличением температуры коэффициент трения нитрида бора снижается, достигая при температуре 600°C значения 0,15 [74]. Пленки нитрида бора при окислении обеспечивают хорошую смазку до 900°C [74]. Это весьма существенное обстоятельство должно играть определенную роль при работе инструментом из эльбора. Для анализа эффективности применения эльбора при обработке быстрорежущих сталей важное значение имеют данные, приведенные в работе [75]. Коэффициент трения эльбора со сталью Р9Ф5 при изменении скорости скольжения от 0,15 до 25 м/с снижается до величины 0,03. Поскольку величина силы трения зерна о поверхность металла составляет значительную часть тангенциальной составляющей силы резания [94, 179, 205], ее уменьшение должно привести к уменьшению силы резания с увеличением скорости. В работах [172, 197] приведены следующие данные: при увеличении скорости обработки стали от 0,1 до 130 м/с (при $\gamma = 0^\circ$) коэффициент трения изменяется от 0,6 до 0,18. Уменьшение средних значений силы резания улучшает выходные параметры процесса шлифования: увеличивает стойкость круга, скорость съема припуска и уменьшает упругие деформации в технологической системе. Увеличение скорости вращения круга с 35 до 120 м/с уменьшает радиальную составляющую силы резания P_y в 1,5...2,0 раза, а тангенциальную P_z — в 2,0...3,0 раза [138, 176, 177].

Исследования фирмы Нортон показали [193], что при увеличении V_k с 30 м/с до 60 м/с силы резания и шероховатости обработанной поверхности уменьшаются в 2 раза, а износ круга уменьшается на 25%. По данным Х. Опитца [185, 186] силы резания уменьшаются на 80% при скорости круга 90 м/с по сравнению с

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru