

## УДК 621.9



**Г.П. Кремнев,**  
к.т.н., доцент,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет



**В.Б. Наддачин,**  
к.т.н., доцент,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет



**Anatoliy Nitsa,**  
Senior project  
engineer, Principal  
Engineer Scroll Labs,  
Bolingbrook, Illinois,  
USA



**В.Ф. Соколов,**  
к.т.н., ст.  
преподаватель,  
Одеський  
національний  
політехнічний  
університет

## УПРАВЛЕНИЕ ПАРАМЕТРАМИ КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТИ ДЕТАЛЕЙ ПРИ ИХ ШЛИФОВАНИИ

*Г.П. Кремнев, В.Б. Наддачин, А. Ница, В.Ф. Соколов. Управление параметрами качества поверхности деталей при их шлифовании.* Рассматриваются вопросы формирования волнистости и шероховатости поверхности при шлифовании абразивными кругами прогрессивных конструкций

*G.P. Kremnev, V.B. Naddachyn, A. Nitsa, V.F. Sokolov. Control of the parameters of surface quality parts at their grinding.* The issues of formation of waviness and roughness in grinding abrasive wheels progressive designs are analyzed.

**Введение.** Шлифование – универсальный метод обработки деталей машин, обеспечивающий требуемую точность и качество поверхности, однако в связи с колебаниями припуска, коробление деталей при термообработке, дисбалансом круга и колебаниями твердости и структуры абразивного инструмента при шлифовании имеет место появление прижогов, трещин, растягивающих напряжений, а шероховатость и волнистость поверхности превосходят установленные для них значения.

Прижоги возникают в результате чрезмерного нагрева шлифуемых поверхностей. Они снижают износостойкость трущихся пар, изгибающую и контактную прочность. Наличие прижогов на рабочей поверхности резьбы передачи «винт-гайка качения», например, приводит к снижению твердости HRCс 60 до 50 единиц и долговечности пары в два раза[7].

Опыт ученых и производителей показывает, что повышение точности шлифуемых деталей, снижение высоты волн и шероховатости поверхности может существенно изменить эксплуатационные показатели поверхностей трения.

Связь параметров точности и шероховатости поверхности хорошо изучена и описана количественно и качественно в литературе. Волнистость поверхности менее изучена. По данным [7] высота волны лежит в пределах от 1 до 4,5 мкм в зависимости от условий плоского шлифования.

Требования современных машин, станков, их узлов, например, подшипников, диктуют необходимость обеспечить высоту волнистости в пределах 0,4...1,6 мкм, т.к. волнистость отрицательно влияет в большинстве случаев на эксплуатационные свойства деталей машин, и высоту волн нужно уменьшать тем больше, чем ответственней данная поверхность детали, так как волнистость влияет на величину фактического контакта сопряженных поверхностей. Снижение высоты волнистости на рабочих поверхностях подшипников качения с 1,4 до 0,3 мкм повышает срок их службы в 2,5 раза [2].

По данным ВНИИПП при уменьшении в подшипниках высоты волнистости с 1,5...2,5 мкм до 0,1...0,5 мкм шум становится меньшим на 25...35%.

На долю относительных колебаний инструмента и заготовки, вызванных овальностью шеек ротора электродвигателя шлифовальной бабки, приходится от 10 до 16% суммарных перемещений в станке [3].

Отклонения формы и волнистость сокращают фактическую площадь контакта, что в результате снижает жесткость соединений и машины в целом [4]. Наличие отклонения от круглости одной из сопрягаемых цилиндрических деталей приводит к увеличению перемещений в стыке в 1,4...1,7 раза по сравнению с соединениями идеальной формы, ухудшается герметичность стыков, растут потери энергии.

Анализ многочисленных источников литературы показывает, что одной из основных причин, вызывающих указанные выше колебания параметров качества шлифованной поверхности и точности, является конструкция и характеристика абразивного инструмента и условия его эксплуатации [1, 2, 3].

Обоснование конструкции шлифовального круга для уменьшения прижогов, снижения высоты волн и шероховатости поверхности

Уменьшение прижогов при шлифовании или их полное исключение может быть обеспечено путем управления процессом образования тепла на основе активных и пассивных методов.

Активные методы управления на основе систем автоматического управления и регулирования шлифованием подробно рассмотрены в работе [7].

К пассивным методам могут быть отнесены методы шлифования прерывистыми, композиционными, крупнопористыми кругами, а также кругами, зерна которых прошли определенную термическую обработку.

Рассмотрим более подробно первые два вида кругов. Прерывистый шлифовальный круг имеет на рабочей поверхности ряд чередующихся выступов и впадин, число которых и их форма определяются расчетным путем по условиям процесса шлифования [6].

Композиционные круги изготовлены из одного абразивного материала одной зернистости, а их рабочая поверхность состоит из чередующихся участков различной структуры или твердости, размер, форма и количество которых установлены по технологическим признакам (например, основа круга 24A25CM1 6K5, а вставки – 24A25BM1 13K5).

Такая неоднородность рабочей поверхности приводит к неравномерному износу отдельных участков круга, который происходит в процессе работы самопроизвольно, и на рабочей поверхности инструмента появляются разрывы. Т.е. шлифовальный круг становится как-бы прерывистым, обладая всеми его преимуществами и одновременно являясь более технологичным в изготовлении, потому что чередующиеся участки получены при формировании инструмента на специализированном предприятии, а не механообработкой.

Шлифование прерывистыми кругами производится с определенными интервалами, при этом продолжительность резания между интервалами должна быть меньше времени теплового насыщения металла. При обработке прерывистыми кругами температура в зоне резания может быть снижена на 30...40%, а режущая способность и общая стойкость повышена вдвое по сравнению со шлифованием кругами обычной конструкции. Шероховатость поверхности при работе на производительных режимах прерывистыми кругами формируется, в основном, режущим контуром круга, и превышает в 1,5...2 раза величину, полученную обычными сплошными кругами.

Исследования контактных температур при шлифовании конструкционных сталей композиционными кругами на различных режимах показали, что температура может быть снижена на 20...30% по отношению к полученной при шлифовании кругами обычной конструкции

при сохранении показателей качества поверхности и некотором повышении производительности процесса.

При шлифовании как прерывистыми, так и композиционными кругами заметно уменьшается активная мощность, что связано со значительным уменьшением работы трения абразивных зерен о поверхность металла и некоторым повышением работы резания.

На кафедре «Технология машиностроения» Одесского национального политехнического университета были проведены экспериментальные исследования процесса плоского шлифования качественных сталей прерывистыми и композиционными кругами. Они проводились на плоскошлифовальном станке 3Г71 на образцах из закаленной стали ШХ15 кругами ПП 250x20x76 24A25 различной структуры, твердости, формы и количества пазов и вставок.

В ходе исследований измеряли мощность шлифования, мгновенную контактную температуру, микротвердость и параметры упрочнения поверхностного слоя металла, шероховатость и волнистость поверхности, амплитуду и частоту колебаний системы СПИД шлифовального станка.

Результаты исследований некоторых параметров качества поверхности подтверждают высказанные выше предположения об эффективности применения новых абразивных инструментов. Так, измерения микротвердости поверхности показали, что при шлифовании кругами обычной конструкции (сплошными), в тонком подповерхностном слое металла (порядка 0,05...0,1 мм) имеется зона отпуска, в которой перепад микротвердости достигает двух раз. После шлифования прерывистыми и композиционными кругами на поверхности металла имеется также некоторая зона отпуска, однако величина ее значительно меньше предыдущей.

Рентгеноструктурный анализ образцов, шлифованных различными кругами, показал (табл. 1), что по величине напряжений 2 рода, проценту остаточного аустенита и уширению интерференционных линий круги новой конструкции обеспечивают получение поверхностей без прижогов в достаточно широком диапазоне режимов резания ( $t$  – до 0,05 мм;  $V_{дет}$  – до 0,3 м/с;  $S_{п}$  – до 3,6 мм/ход).

В процессе шлифования прерывистыми и композиционными кругами возникают вынужденные высокочастотные колебания шпиндельного узла. При определенных сочетаниях амплитуд и частот колебаний, зависящих от числа пазов или вставок, их протяженности и режимов обработки, на шлифуемой поверхности формируются волнистость и шероховатость поверхности по величине превосходящие значения, полученные обычными сплошными кругами.

Таблица 1

Режим шлифования	Характеристика круга	Характеристика поверхностного слоя			
		$V_{110}$	$V_{220}$	$\frac{\Delta\alpha}{\alpha} \cdot 10^4$	% остаточного аустенита
$V_{дет} = 0,5$ м/с $t = 0,05$ мм $S_{п} = 3,6$ мм/ход	сплошной	58,1	184	21,8	36,5
	прерывистый	33,9	130	25,8	19,6
	композиционный	35,6	147	32,5	18,8
$V_{дет} = 0,3$ м/с $t = 0,05$ мм $S_{п} = 3,6$ мм/ход	сплошной	39,5	145	24	35,6
	прерывистый	34,8	133	25,8	29

Формообразующая точка на периферии круга (режущее зерно) в плоскости сечения, перпендикулярном оси шпинделя, описывает сложную кривую. Огибающая семейства дуг с радиусом  $R_{кр}$ , образованных в разных сечениях формообразующими точками, представляют собой волнистость шлифованной поверхности.

Основными способами уменьшения волнистости являются: уменьшение амплитуды колебаний инструмента или детали путем установки виброгасящих устройств на инструмент, повышение жесткости технологической системы, установка станка на вибраторы, либо снижение режимов обработки. Эти способы рекомендуются при шлифовании сплошными кругами.

При обработке кругами с прерывистой режущей поверхностью, создающих высокочастотные колебания, эти способы мало приемлемы. Наиболее эффективен в этих условиях способ, состоящий в следующем. Наиболее эффективным, в этих условиях предлагается следующий способ. Формообразующая точка круга в зависимости от режима обработки и конструкции круга, влияющих на амплитуду и частоты возникающих колебаний, может описывать различные сложные траектории, и при определенных условиях будет дважды проходить через одну и ту же точку поверхности, срезая при этом дополнительно слой металла. Такое явление уменьшения высоты волн называется самоперерезанием волн [8]. Обоснуем условия обеспечения такого явления.

Координаты профиля поверхности, образованной периферией прерывистого круга в процессе плоского шлифования, можно представить в таком виде:

$$y_{\Sigma} = y_{огиб.дин.} + y_{огиб.дин.},$$

где  $U_{\text{огиб.дин.}}$  – огибающая семейства дуг с радиусом  $R_{\text{кр}}$ , связанная с динамикой процесса шлифования;

$U_{\text{огиб.кин.}}$  – кривая, зависящая от конструкции круга и кинематики его перемещения, т.е. формирование микронеровностей зависит от величины выступов и впадин на круге.

где  $U_{\text{огиб.кин.}} = f(V_{\text{д}}; \omega_{\text{кр}}; R; l_1 \text{ и } l_2)$  является функцией от нескольких параметров.

При этом высота  $H$  и шаг  $S$  микронеровностей определяется следующим образом [7]:

$$H = \frac{V_{\text{д}}^2 \cdot l_2^2}{8 \cdot \omega_{\text{кр}}^2 \cdot R \cdot \left( \frac{V_{\text{д}}}{\omega_{\text{кр}}} \pm R \right)^2}$$

$$S = \frac{V_{\text{д}} \cdot (l_1 + l_2)}{\omega_{\text{кр}} \cdot R}$$

где  $V_{\text{д}}$  – скорость перемещения детали, мм/мин;

$\omega_{\text{кр}}$  – угловая скорость вращения круга, рад/с;

$R$  – радиус круга, мм;

$l_1$  и  $l_2$  – протяженность выступов и впадин поверхности прерывистого круга, мм.

Проведенный расчет высоты  $H$  и шага  $S$  микронеровностей показал, что они являются величиной второго порядка малости по сравнению с величиной волнистости, полученной от динамической составляющей, и ими можно пренебречь. Таким образом, можно предположить, что параметры волнистости, возникающие при шлифовании прерывистым и композиционным кругом, будут зависеть только от динамической составляющей:

$$U_{\text{в}}(x_{\text{в}}) \cong U_{\text{огиб.дин.}}$$

По результатам проведенных исследований установлено, что динамическая составляющая будет зависеть от следующих параметров:

$$\begin{cases} y_{\text{в.дин.}} = f(B_{\text{в.г.}}; U_{\text{г.}}; \omega_{\text{в.г.}}; \omega_{\text{с.г.}}; R; V_{\text{д}}) \\ x_{\text{в.дин.}} = f(A_{\text{г.г.}}; U_{\text{г.г.}}; \omega_{\text{в.г.}}; \omega_{\text{с.г.}}; R; V_{\text{д}}) \end{cases}$$

В приведенных выше уравнениях принято, что  $A_{\text{г.г.}}$  и  $B_{\text{в.г.}}$  – амплитуды колебаний (горизонтальная и вертикальная), зависящие от сил резания и величины дисбаланса круга;

$U_{z_i}$  и  $U_{y_i}$  – амплитуды вынужденных колебаний, зависящие от величины ударной нагрузки и вызванные наличием прерывистости процесса резания;

$\omega_{C_i}$  и  $\omega_{B_i}$  – частоты колебаний, вызванные дисбалансом и прерывистостью процесса резания (соответственно);

$V_d$  – продольная подача стола;

$R$  – радиус круга.

Для данного процесса  $A_{Г_i}$ ;  $B_{B_i}$ ;  $\omega_{C_i}$ ;  $\omega_{B_i}$  и  $R$  – величины не изменяющиеся, а отсюда следует, что режимы обработки и связанные с ними амплитуды колебаний определяют рельеф поверхности;

$$\begin{cases} y_{B_{\text{рез}}} \cong f(U_{y_i}; V_d) \\ x_{B_{\text{рез}}} \cong f(U_{z_i}; V_d) \end{cases}$$

При определенных сочетаниях величин амплитуд ( $A_{Г_i}$ ;  $B_{B_i}$ ;  $U_{z_i}$ ;  $U_{y_i}$ ), частот ( $\omega_{C_i}$ ;  $\omega_{B_i}$ ), радиуса круга  $R$  и скорости детали  $V_d$  формообразующая точка периферии круга относительно поверхности обрабатываемой детали может двигаться по синусоиде (рис. 1а) или совершать петлеобразное движение (рис. 1б). В последнем случае наступает эффект самоперерезания волн, т.к. при одном и том же шаге  $S$  круг проходит два раза через одну и ту же точку поверхности и срезает дополнительный объем металла. Оставшаяся часть неровностей имеет значительно меньшую высоту  $h$ , чем параметр синусоиды  $H$ .

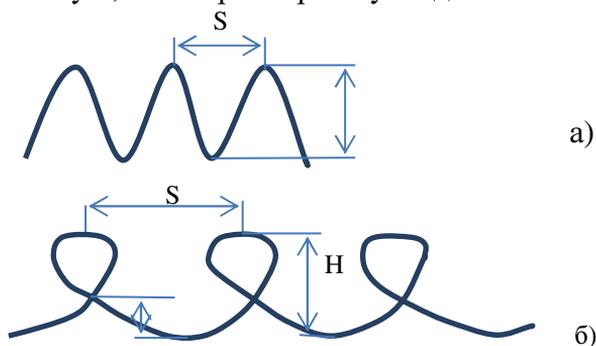


Рис. 1. Траектория движения формообразующей точки круга:  
а) синусоидальная, б) петлеобразная

Расчет параметров волнистости (высоты  $W$  и шага  $S$ ) был произведен по специально разработанной программе и приведен в таблице 2.

Таблиця 2

Количество выступов прерывистого круга	Режим шлифования		Параметры волнистости	
	$V_d$ , м/с	t, мм	W, мм	S, мм
8	0,05	0,01	0,0019	1,1
	0,28	0,05	0,0106	6,24
12	0,05	0,01	0,0008	1,06
	0,28	0,05	0,005	6,35

С увеличением скорости движения  $V_d$  растет высота и шаг волны, а с увеличением количества режущих выступов на круге высота волны уменьшается примерно вдвое.

Полученные результаты расчетов согласуются с выводами, приведенными в [7].

Анализ приведенных расчетов показывает, что движением формообразующей точки круга в зависимости от его конструкции, режимов обработки и их сочетаний можно управлять, т.е. задавать ее траекторию движения в зависимости от прогнозируемых параметров волнистости шлифуемой поверхности.

Крупнопористые круги имеют динамические характеристики, не отличающиеся от присущих обычным по размеру шлифовальным кругам, но наличие крупных пор как бы способствует прерывания процесса резания металла на весьма малый отрезок времени и по этой причине – снижению температуры в зоне шлифования [9].

Оптимальной конструкцией крупнопористого круга будет такая, у которой поры получены при соотношении размера зерна абразива и порообразователя как 1:1,5. Такие поры называются крупными, и они составляют примерно 50% от общего числа пор.

Наличие большого числа крупных пор повышает режущую способность шлифовального круга, например, при шлифовании стали ШХ15 на 15...40% в зависимости от режима шлифования.

Мгновенная контактная температура при шлифовании крупнопористыми кругами может быть снижена на 15...20% при шлифовании закаленных высокопрочных сталей и инструментальных материалов, что в ряде конкретных ситуаций позволяет получить поверхность без прижогов.

Одним из достоинств этих кругов является то, что даже в условиях интенсивных нагрузок, имеющих место при черновом шлифовании, не наблюдается заметного роста шероховатости поверхности. Очевидно,

стружка и другие отходы процесса свободно размещаются в крупных порах и легко удаляются оттуда, отсутствует засаливание рабочей поверхности шлифовального круга и в конце периода стойкости инструмента не наблюдается характерный повышенный уровень вибраций.

В таблице 3 приведены результаты сравнительных исследований шероховатости поверхности деталей из стали ШХ15 (HRC 60) после плоского шлифования различными кругами на режимах производительного и чистового шлифования. Анализ данных показывает, что минимальная шероховатость поверхности обеспечивается крупнопористыми кругами. Композиционные круги способствуют формированию шероховатости поверхности, по величине, не отличающейся от полученной обычным сплошным кругом.

Таблица 3

Шероховатость плоской поверхности после шлифования кругами различных характеристик ( $V_{кр} = 35$  м/с; без СОТС).

Характеристика круга	Скорость детали $V_d$ , м/с	Шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	
		$t=0,01$ мм; $S_{поп.}=0,3$ мм/ход	$t=0,05$ мм; $S_{поп.}=3,6$ мм/ход
24A25CM1 6K5	0,05	0,3	0,5
	0,28	0,31	0,84
Крупнопористый 24A25CM1 6K5	0,05	0,2	0,27
	0,28	0,28	0,38
Композиционный с основой 24A25CM1 6K5 и 12 вставками шириной 30 мм 24A25BM1 13K5	0,05	0,26	0,54
	0,28	0,35	0,72
Прерывистый 24A25CM1 6K5n=12 пазов, ширина паза 22 мм	0,05	0,81	1,24
	0,28	0,97	1,48

В силу ударного воздействия при входе в контакт с обрабатываемой поверхностью режущего выступа прерывистого круга шероховатость поверхности растет в 2...3 раза.

Таким образом, рассматривая полученные результаты, можно сделать выводы о предпочтительности применения крупнопористых и композиционных шлифовальных кругов для достижения требуемого качества поверхности, если величины контактных температур в зоне резания не вызывают появления прижогов.

При врезном шлифовании деталей величины контактных температур значительно превышают те, что получены на глубинах и подачах, приведенных в таблице 3. По этой причине шлифование сплошными кругами ведется с пониженной производительностью. В связи с выше сказанным, целесообразно было бы использовать прерывистые или композиционные круги для производительного шлифования с пониженными контактными температурами, при этом управляя параметрами шероховатости и волнистости за счет конструкции инструмента.

В таблице 4 приведены результаты шероховатости поверхности и волнистости после врезного шлифования стали ШХ 15 прерывистым и композиционным кругом с 12 пазами или вставками, при этом уменьшение количества пазов или вставок до 8 или 4 ухудшает параметры качества поверхности, т.к. эффект перерезания имеет место при  $n=12$ .

Таблица 4

Шероховатость и волнистость плоской поверхности после шлифования различными кругами ( $N_{кр}=35$  м/с;  $S_{поп}=0$ ; без СОТС)

Характеристика круга	Скорость детали $V_d$ , м/с	Глубина резания $t$ , мм	Шероховатость поверхности $R_a$ , мкм	Волнистость поверхности $W_z$ , мкм
Прерывистый 24A25CM1 6K5 $n=12$ пазов, ширина паза 22 мм	0,05	0,01	0,32	0,71
		0,05	0,54	3,16
	0,28	0,01	0,60	4,0
		0,05	0,75	2,21
Композиционный с основой 24A25CM1 6K5 и 12 вставками шириной 30 мм 24A25BM1 13K5	0,05	0,01	0,44	1,18
		0,05	0,62	6,83
	0,28	0,01	0,46	0,84
		0,05	0,78	3,26

#### Опыт шлифования деталей машин и приборов прогрессивными инструментами

При изготовлении инструментальной оснастки, например штампов, операции шлифования являются самыми ответственными операциями технологического процесса, обеспечивающими качество продукции и ее долговечность.

Детали штампов подвергаются в процессе эксплуатации действию повышенных напряжений, чаще всего изгиба и кручения, они работают в

условиях многократного приложения изменяющейся по знаку нагрузки. В результате таких условий эксплуатации происходит преждевременная поломка инструмента, выкрашивается его режущая кромка, появляются усталостные трещины.

Одной из основных причин выхода штампов из строя является наличие прижогов на шлифованных поверхностях, крупных и грубых рисок, задиров. С уменьшением шероховатости поверхности на рабочих поверхностях штампа снижается налипание обрабатываемого металла на них, не образуется заусенец на деталях и повышается стойкость штампа.

Внедрение прерывистых шлифовальных кругов взамен обычных при изготовлении штампов позволяет повысить производительность труда в 1,7 раза на операциях шлифования и увеличить стойкость штампов на 3%. На операциях шлифования исключены прижоги поверхности, стабилизированы параметры волнистости и шероховатости поверхности.

Применение композиционных и крупнопористых кругов на операциях шлифования инструментальной оснастки позволяет повысить производительность труда в 1,5 раза, а долговечность готовой продукции – на 2%.

Таким образом, применение прерывистых, композиционных и крупнопористых кругов при шлифовании деталей инструментальной оснастки обеспечивает высокое качество изделий.

В приборостроении и промышленности средств связи находят широкое применение магнитные головки различного назначения.

Магнитные головки – это точное изделие, имеющее отклонение от плоскостности в пределах 0,5...1,0 мкм, шероховатость рабочих поверхностей  $R_a=0,02...0,05$  мкм и минимальные искажения магнитных свойств сердечников, изготовленных обычно из пермаллоя различных марок.

При изготовлении магнитных головок брак продукции достигает 12...15%, при этом основная его доля образуется на операциях шлифования плоскостей или рабочей поверхности головки. Наибольшее количество брака имеет место при шлифовании головок абразивными кругами с крупными зёрнами традиционной конструкции.

Для финишной обработки магнитных головок применяют шлифовальные круги на глифталевых связках, но они имеют низкую размерную стойкость, требуют частых правок и, самое главное, не предназначены для шлифования на производительных режимах.

Предпринята была попытка применить при шлифовании вязких пластичных материалов, а к ним относятся и пермаллои, крупнопористые круги таких характеристик: 63С6СМ2 15К10 и 63СМ40С1 20К10. Эти

круги имеют более высокую размерную стойкость в сравнении с глифталевыми и обеспечивают шероховатость поверхности  $R_a$  в пределах  $0,1...0,3$  мкм, степень наклепа поверхности 1,5, коэффициент съема металла  $0,8...0,9$ .

Опыт применения таких кругов на приборостроительных заводах показывает, что они эффективны на операциях предварительного и чистового шлифования перед отделкой поверхности головок. Наличие в круге крупных пор, а также некоторого повышения номера структуры приводит к тому, что уменьшается объем зерен и более рационально располагаются оставшиеся. Эти круги не засаливаются и работают с частичным самозатачиванием. Применение при шлифовании указанными выше кругами новых прогрессивных СОТС позволяет примерно вдвое снизить шероховатость поверхности и работать на режимах  $V_{кр} = 25$  м/с;  $t = 0,005...0,01$  мм;  $S_{поп.} = 0,3...1,0$  мм/ход; припуск до  $0,2$  мм.

Проводимые исследования были направлены на разработку такой конструкции кругов для шлифования магнитных головок, которые могли бы обеспечить высокое качество и более высокую производительность по сравнению с кругами М40, что сегодня необходимо при изготовлении головок с корпусами из неметаллических материалов. Для поставленной цели были изготовлены круги 63С12М39К10, 63С16М39К10 и 63С16М39К3.

В этих кругах увеличен размер зерен, твердость кругов понижена до М3, номер структуры 9 и сохранены крупные поры.

Коэффициент съема материала такими кругами достигает 1, размерная стойкость вдвое выше, чем у кругов М40, а шероховатость поверхности  $R_a = 0,13...0,16$  мкм.

Наиболее рациональной характеристикой круга является 63С16М39К10, режим работы:  $V_{кр} = 25$  м/с;  $t = 0,005$  мм;  $S_{поп.} = 0,3$  мм/ход;  $V_{дет} = 0,25$  м/с.

Таким образом, предложен комплект прогрессивных крупнопористых шлифовальных кругов повышенных номеров структуры для шлифования современных конструкций магнитных головок с высокой производительностью и обеспечивающих требования к качеству поверхности.

**Выводы.** В работе рассмотрены возможности повышения качества поверхности при шлифовании сталей и сплавов прерывистыми, композиционными и крупнопористыми кругами и показаны пути ее реализации. Установлено, что в широком диапазоне режимов шлифования (на примере плоского шлифования) можно вести процесс без прижогов,

обеспечивая при этом достаточно малую высоту микронеровностей и волн.

Описан метод самоперерезания волн при шлифовании прерывистыми кругами, позволяющий в зависимости от конструкции круга, режимов шлифования и их сочетания обеспечивать заданную высоту волн. Метод экспериментально проверен и внедрен в практику шлифования.

Предложены конструкции крупнопористых кругов для финишной обработки магнитных головок, обеспечивающие малую высоту микронеровностей, минимальное искажение кристаллической решетки магнитомягких материалов и максимальное сохранение их магнитных свойств.

### Литература

1. Технологія машинобудування: підручник /П.П. Мельничук, А.І. Боровик, П.А. Лінчевський, Ю.В. Петраков; ЖДТУ.- Житомир: ЖДТУ, 2005.- 884 с.
2. Лизогуб В.А., Фигантер А.М. Деформация дорожек качения подшипников при монтаже шпинделей станков. Станки и инструмент, 1970, №9, С.28-31.
3. Кутчер Р.И., Павлов А.Г. Баланс вибрационных возмущений, создаваемых электродвигателями в станках. Изв. вузов. Машиностроение, 1977, №11, С.189-191.
4. Демкин Н.Б., Рыжов Э.В. Качество поверхности и контакт деталей машин. М.: Машиностроение, 1981.- 224 с.
5. Решетов Д.Н. Жесткость станков.- В кн. Жесткость металлорежущих станков. М.: Машгиз, 1962, С.21-35.
6. Якимов А.В. Оптимизация процесса шлифования. М.: Машиностроение, 1975.- 176 с.
7. Управление процессом шлифования. Киев: Техника, 1983.-184 с.
8. Прилуцкий В.А. Технологические методы снижения волнистости поверхностей. М.: Машиностроение, 1978.- 136 с.
9. Попов С.А., Ананьян Р.В. Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 1980.- 79 с.

*Надійшла до редакції 27.01.2015*