

## ОСНОВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ ПРАВЯЩЕГО ИНСТРУМЕНТА НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ПРОЦЕССА ПРАВКИ ШЛИФОВАЛЬНЫХ КРУГОВ

© 2019

**С.В. Мурашкин**, кандидат технических наук, доцент,  
доцент кафедры «Нанотехнологии, материаловедение и механика»  
**А.С. Селиванов**, кандидат технических наук, доцент,  
заместитель ректора – директор Института машиностроения  
**В.И. Малышев** кандидат технических наук, профессор  
Тольяттинский государственный университет, Тольятти (Россия)

**Ключевые слова:** ультразвуковая правка круга; абразивные зерна; микросколы; сила правки; износ правящего инструмента; рельеф рабочей поверхности круга.

**Аннотация:** Разработана методика исследования влияния осевых ультразвуковых колебаний стержневого алмазного правящего инструмента (ПИ) в процессе правки шлифовального круга: на нормальную составляющую  $P_y$  силы правки; на износ алмазов ПИ; на формирование рельефа рабочей поверхности круга (РПК). Параметры рельефа РПК изучали методами: ощупывания на специальном профилографе при помощи алмазной иглы (параметры – относительная опорная длина  $t_p$  на фиксированном уровне  $p$  и средний шаг между зернами); оптической микроскопии с помощью микроскопа модели МБС-2 (параметр – относительная опорная поверхность  $\eta$  шлифовального круга). Параллельно проводили фрактографическое исследование рельефа РПК на сканирующем электронном микроскопе LEO 1455VP.

Показано, что в условиях ультразвуковой правки (УЗП) круга износ ПИ практически не оказывает влияния на изменение относительной опорной поверхности  $\eta$  рельефа РПК. Из этого следует, что УЗП способна обеспечить более высокую стабильность режущей способности круга, а ПИ способен работать вплоть до полного износа.

Приведены рекомендации по выбору параметров ультразвуковой правки:

1. Частоту колебаний рекомендуется выбирать из определенных по ГОСТ 16165-80 частот:  $(18 \pm 1,26)$  кГц;  $(22 \pm 1,54)$  кГц;  $(44 \pm 3,08)$  кГц;  $(66 \pm 4,62)$  кГц.

2. Амплитуду  $A$  вынужденных колебаний ПИ целесообразно назначать свыше 15...20 мкм.

3. При выборе глубины правки  $t_n$  следует учитывать условие обязательного периодического прерывания контакта ПИ с РПК в соответствии с неравенством:  $0 \leq t_n \leq 2A$ .

### ВВЕДЕНИЕ

Для операций абразивной обработки в условиях автоматизированного серийного и массового производства серьезной проблемой является не только достижение заданного уровня качества обработанных поверхностей, но и обеспечение его высокой стабильности при обработке всей партии деталей [1–3]. Дело в том, что возрастающий износ правящего инструмента (ПИ) в процессе его эксплуатации способствует постепенному увеличению площадок на вершинах абразивных зерен круга после правки, что соответственно приводит к изменению основных показателей процесса шлифования [4; 5]. С.Н. Корчак одним из первых предложил учитывать при расчете составляющих  $P_y$  и  $P_z$  силы шлифования размеры площадок на вершинах зерен [6]. S. Malkin, представляя зависимость силы шлифования от состояния рельефа рабочей поверхности круга (РПК), отметил, что предельно допустимое значение его относительной опорной поверхности  $\eta$  не должно превышать 2...6 %, в зависимости от условий шлифования и шлифуемого металла [7]. Чем выше значение относительной опорной поверхности круга  $\eta$ , тем больше абразивных зерен на РПК имеют затупленные вершины. Автор сделал вывод о целесообразности формирования рельефа РПК с относительно большим количеством микрокромов на абразивных зернах [7; 8].

Известно [9–11], что управляемое формирование развитого рельефа РПК возможно с помощью ультразвуковой правки (УЗП), заключающейся в наложении на ПИ вынужденных механических ультразвуковых коле-

баний (УЗК). Однако эффективность процесса шлифования характеризуется не только режущей способностью шлифовального круга [12], но и комплексом показателей процесса его правки [4; 5; 13], что в научной литературе освещено весьма недостаточно.

Цель исследования – определение влияния УЗК ПИ на комплекс выходных показателей процесса правки: силу правки, износ правящего инструмента, параметры рельефа РПК.

### МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование влияния УЗК на составляющую  $P_y$  силы правки проводили на плоскошлифовальном станке модели 3701, оснащенном специальным динамометром с регистрирующей аппаратурой и технологическим комплексом УЗП круга, реализующим как обычную правку (ОП), так и правку с наложением УЗК на ПИ. Правку шлифовального круга 1–200×25×76 91A40НСМ16К20 ГОСТ 2424-83 (~91A46K6V ГОСТ Р 52781-2007) выполняли однокристалльным алмазным карандашом 3908-0054 ГОСТ 607-80. В зону правки подавали смазочно-охлаждающую жидкость (СОЖ) (2,5%-ная эмульсия Укринол-1). Режим правки: скорость подача  $V_k=(27; 35; 45)$  м/с; продольная подача  $S_p=0,014...0,063$  мм/об; глубина правки  $t_n=0,01...0,05$  мм/дв. ход; амплитуда колебаний правящего инструмента  $A=0...18$  мкм; частота колебаний правящего инструмента  $f=(16,5; 22,3; 33,3)$  кГц.

Исследование влияния УЗК на износ алмазов ПИ при правке проводили на торце круглошлифовальном

станке модели 3Т161. В качестве ПИ для обеспечения постоянства площади износа использовали правящий карандаш, оснащенный поликристаллическим алмазом в виде столбика цилиндрической формы диаметром 1,4 мм. Осевой износ рабочей части ПИ измеряли с точностью ±1 мкм. Режим правки круга 1–750×80×305 92А40НСМ27К11 ГОСТ 2424-83 (~92А46Л7V ГОСТ Р52781-2007):  $V_k=45$  м/с;  $t_n=0,02$  мм/дв. ход;  $S_n=0,05$  м/мин. Эксперименты выполняли с подачей СОЖ, затем повторяли их в режиме «сухой» правки без СОЖ.

Исследование влияния УЗК на формирование рельефа РПК 91А40НСМ16К20 (~91А46К6V) осуществляли вышеуказанным ПИ, оснащенный поликристаллическим алмазом цилиндрической формы. Режим правки:  $V_k=45$  м/с;  $S_n=0,086$  м/мин;  $t_n=0,02$  мм/дв. ход;  $A=0...18$  мкм и  $f=(16,5; 22,3; 33,3)$  кГц. Рельеф РПК после правки на станке 3701 фиксировали на специальном профилографе при помощи алмазной иглы с углом при вершине  $(50\pm 5)^\circ$  и радиусом округления 2...4 мкм. Обработку профилограмм производили на уровнях  $p$  сечения профиля (2,5; 5; 10; 20; 30; 40) мкм, а затем рассчитывали относительную опорную длину  $t_p$  на фиксированном уровне  $p$  по формуле

$$t_p = \frac{\sum_{p} V_p}{L}$$

и средний шаг между зернами по формуле

$$l_p = \frac{L}{n_p},$$

где  $L$  – базовая длина профилограмм, мм;  
 $n_p$  – число зерен-выступов на фиксированном уровне  $p$ , шт;  
 $\sum_{p} V_p$  – сумма длин отрезков зерен-выступов на уровне  $p$  в пределах  $L$ , мм.

Относительную опорную поверхность  $\eta$  шлифовального круга изучали с помощью микроскопа модели МБС-2. После визуального измерения размеров площадок на вершинах абразивных зерен круга вычисляли  $\eta$  по формуле

$$\eta = \frac{\sum S_B}{S_{сет}} \cdot 100\%,$$

где  $\sum S_B$  – сумма площадей контактных площадок на вершинах абразивных зерен круга, попавших в пределы сетки микроскопа, мм<sup>2</sup>;  
 $S_{сет}$  – площадь сетки микроскопа, мм<sup>2</sup>.

### РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Как показали результаты экспериментов, с повышением скорости круга  $V_k$ , продольной подачи  $S_n$  и глубины правки  $t_n$  значения  $P_y$  во всех случаях возрастают (рис. 1) как при наложении УЗК на ПИ, так и без них.

Главная особенность заключается в значительном (в 3–5 раз) снижении силы  $P_y$  при наложении на правящий инструмент УЗК (рис. 2). Разница в показателях при ОП и УЗП сохраняется в исследованном диапазоне продольной подачи  $S_n$ , глубины  $t_n$  и скорости  $V_k$ .

Из рис. 2 а, где приведена зависимость между составляющей  $P_y$  силы правки и амплитудно-частотной характеристикой правки, следует, что амплитуда УЗК ПИ оказывает значимое влияние на радиальную составляющую  $P_y$  силы правки. Так, если при  $A=0$ , что соответствует ОП, значение  $P_y$  составило около 15 Н, то при УЗП с ростом амплитуды  $A$  до 5...6 мкм следует интенсивное ее снижение до 5 Н. При дальнейшем увеличении амплитуды колебаний темп падения силы  $P_y$  снижается и при  $A>10...12$  мкм практически стабилизируется. Увеличение частоты колебаний ПИ также способствует снижению силы правки (рис. 2 б). При увеличении частоты с 15 до 33 кГц значения составляющей  $P_y$  силы правки снизилось почти в 2 раза.

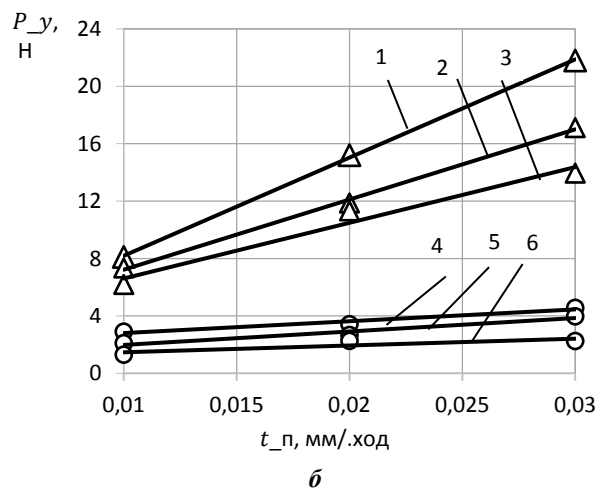
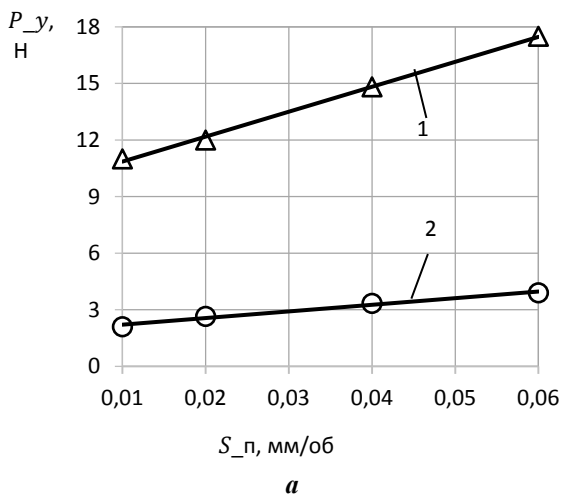


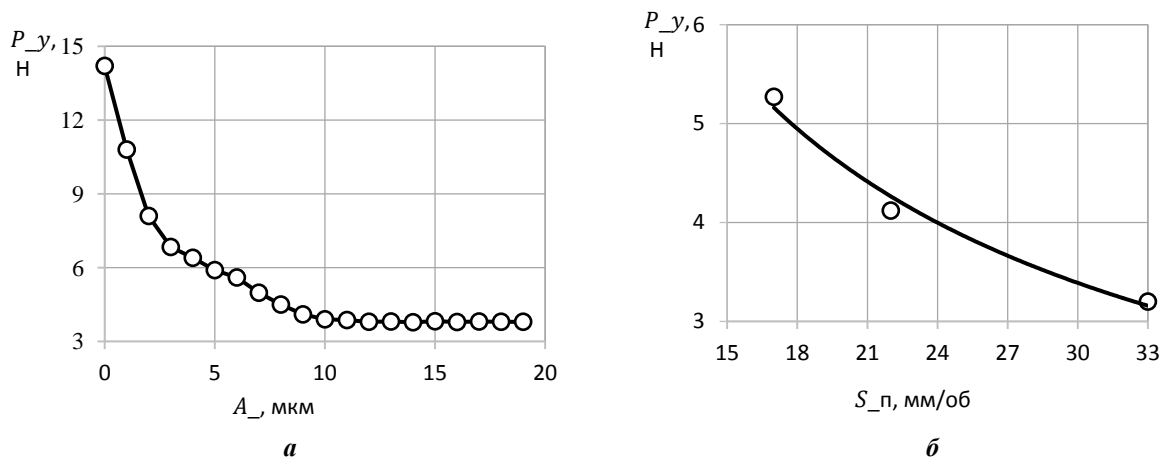
Рис. 1. Влияние режима правки на составляющую  $P_y$  силы правки:

$a$  – влияние продольной подачи  $S_n$  ПИ: 1 – при ОП; 2 – при УЗП;

$б$  – влияние глубины  $t_n$  и скорости  $V_k$  правки: 1–3 – при ОП; 4–6 – при УЗП;

1, 4 – при  $V_k=43$  м/с; 2, 5 – при  $V_k=35$  м/с; 3, 6 – при  $V_k=27$  м/с; УЗП при  $A=13$  мкм,  $f=22,3$  кГц;

$\Delta, \circ$  – эксперимент; — – аппроксимация



**Рис. 2.** Зависимости составляющей  $P_y$  силы правки:  
 а – от амплитуды  $A$  колебаний ПИ при  $f=22,3$  кГц;  
 б – от частоты  $f$  колебаний ПИ при  $A=6$  мкм

Можно полагать, что именно меньшие значения силы  $P_y$  при УЗП оказывают положительное воздействие на износостойкость ПИ. На рис. 3 приведены результаты измерения износа ПИ при правке с УЗК и без них. Так, наложение УЗК на правящий карандаш существенно, почти в 1,4 раза по сравнению с ОП, уменьшило его линейный износ (рис. 3 а) при правке с подачей СОЖ и в 1,86 раза при «сухой». Снижение износа ПИ положительным образом отразилось на удельной производительности УЗП, выраженной отношением объема снятого при правке абразивного материала круга к массе изношенного алмазосодержащего слоя ПИ (рис. 3 б). Отсутствие СОЖ при правке в меньшей степени сказалось на снижении износостойкости ПИ, работающего в условиях воздействия УЗК, чем при ОП.

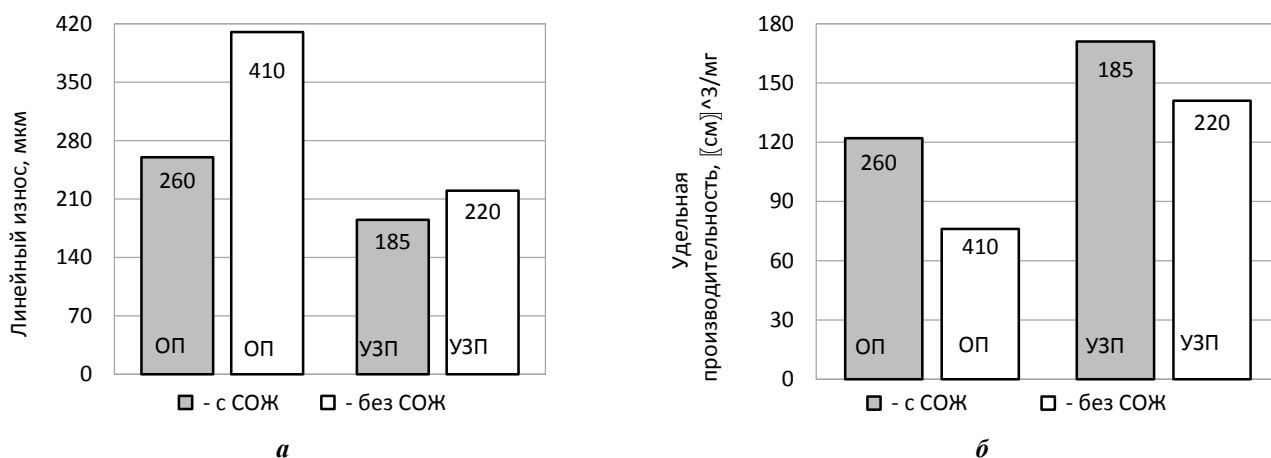
В целом следует отметить, что УЗП круга обеспечивает более высокую износостойкость ПИ по сравнению с ОП, как с подачей СОЖ, так и без СОЖ. Это указывает на перспективность применения УЗП в операциях шлифования с ограниченным применением

СОЖ, что согласуется с данными других исследователей [13–15].

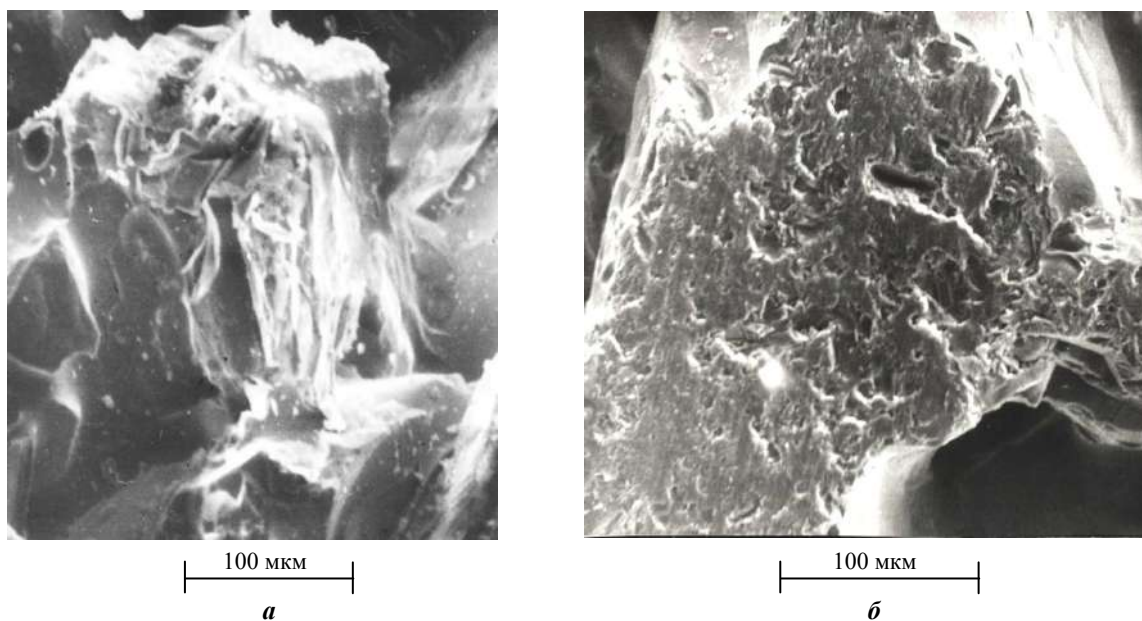
Выполненное на сканирующем электронном микроскопе *LEO 1455VP* фрактографическое исследование рельефа РПК, прошедшего правку (рис. 4), показывает наличие на РПК определенного количества хрупко разрушенных абразивных зерен с образованными микросколами и микротрещинами (рис. 4 а), а также зерен с относительно плоскими вершинами и даже следами пластического оттеснения, оставленными алмазом ПИ (рис. 4 б).

Можно полагать, что от количественного соотношения зерен с микросколами и относительно плоскими площадками на РПК зависит режущая способность шлифовального круга.

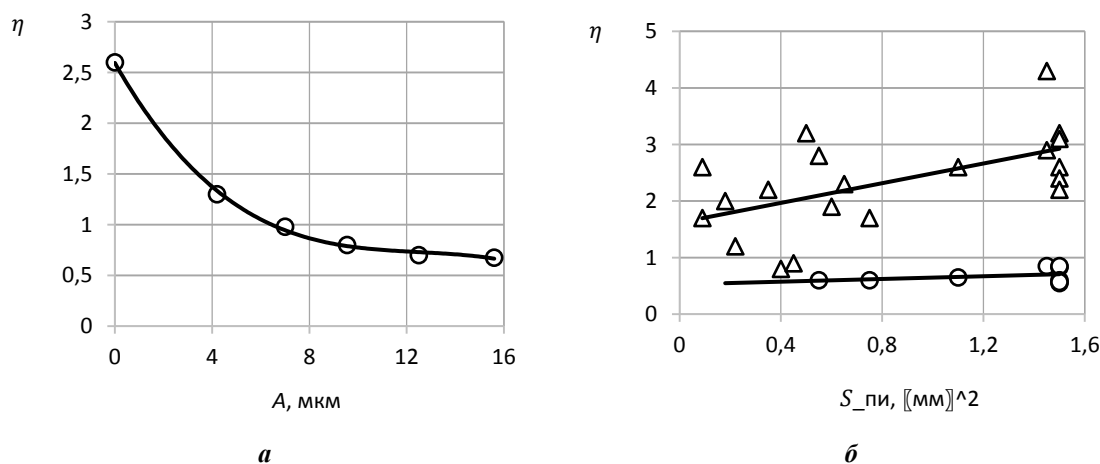
На рис. 5 в графическом виде приведены результаты обработки профилограмм РПК после ОП и УЗП. Как следует из рис. 5а, увеличение амплитуды до 10 мкм обеспечило снижение  $\eta$  примерно в 4,3 раза с 2,70 до 0,75 %. Следовательно, за счет УЗП, изменяя только



**Рис. 3.** Эксплуатационные показатели ПИ:  
 а – линейный износ; б – удельная производительность правки:  
 $V_k=50$  м/с;  $t=0,02$  мм/дв.ход;  $S_n=0,04$  мм/об



**Рис. 4.** Характер разрушения зерен в процессе правки: а – микросколы на зерне после УЗП; б – площадка на вершине зерна после ОП



**Рис. 5.** Влияние амплитуды  $A$  колебаний и площади  $S_{\text{пн}}$  контактной поверхности ПИ на величину опорной поверхности  $\eta$  круга:  
 1 – ОП, 2 – УЗП; а – при  $f=22,3$  кГц; б – при  $A=13$  мкм и  $f=22,3$  кГц

амплитуду колебаний ПИ, можно в широких пределах регулировать величину относительной опорной поверхности  $\eta$  круга и таким образом управлять выходными показателями процесса шлифования.

В практике абразивной обработки, в условиях автоматизированного производства, критерием стойкости правящего инструмента, как правило, является достижение величины  $0,5 \dots 1,0 \text{ мм}^2$  площадки износа на его вершине [9; 10; 16]. Поэтому определенный интерес представляет связь между износом вершины ПИ и величиной относительной опорной поверхности РПК, характеризующей режущую способность круга.

Из рис. 5б видно, что увеличение размера площадки износа  $S_{\text{пн}}$  на рабочей вершине ПИ при обычной правке напрямую сказывается на возрастании величины относительной опорной поверхности  $\eta$  заправленного рельефа РПК. Средние значения  $\eta$  для исследованных тех-

нологических условий ОП оказались примерно в 4 раза больше, чем после УЗП. Обращает на себя внимание более высокая стабильность экспериментальных значений  $\eta$ , полученных после УЗП (рис. 5б), по сравнению с ОП круга. Судя по графику  $\eta(S_{\text{пн}})$ , при УЗП износ ПИ практически не оказывает негативного влияния на изменение параметра  $\eta$  рельефа РПК, поскольку с увеличением  $S_{\text{пн}}$  с  $0,5$  до  $1,5 \text{ мм}^2$ , т. е. в 3 раза, изменения  $\eta$  практически не отмечено. Из этого следует, что УЗП способна обеспечить более высокую стабильность режущей способности круга, а ПИ способен работать вплоть до полного износа, по сравнению с ПИ при ОП.

Из приведенных результатов следует, что наложение УЗК на ПИ снижает силу правки, износ инструмента и, что особенно важно, способствует повышению режущей способности шлифовального круга за счет изменения основных параметров РПК. Это связано с более

сложным механизмом формирования рельефа РПК при УЗП, чем при обычной правке. Кроме обычных движений, задаваемых элементами режима правки:  $V_k$ ,  $S_{II}$  и  $t_{II}$ , ПИ совершает дополнительное движение по нормали к РПК с амплитудой  $A$  и частотой  $f$ , периодически изменяя направление и относительную скорость взаимодействия с абразивными зёрнами. В результате напряжения в абразивных зёрнах при контакте с алмазом могут достигать величин, превышающих критические при меньшей глубине правки (подробный расчет сил и напряжений, возникающих при УЗП, рассмотрен авторами в работе [17]). Во-первых, за счет ударно-импульсного воздействия правящего алмаза на абразивные зёрна при УЗП в последних образуются многочисленные микросколы и относительно острые режущие кромки (динамическая составляющая рельефа РПК) [17; 18]. Во-вторых, в результате интерференции синусоидальных траекторий алмазов ПИ за каждый оборот круга на РПК формируется определенный рельеф в виде чередующихся впадин и выступов (геометрическая составляющая рельефа), что также снижает относительную опорную поверхность  $\eta$  [19; 20].

В целом на РПК после УЗП образуется существенно большее по сравнению с ОП число зёрен с наличием микросколов, возрастающее с увеличением амплитуды колебаний ПИ [17].

Результаты экспериментального исследования и опыт применения УЗП дали возможность сформировать основные рекомендации по назначению рациональных с точки зрения получения высокой режущей способности круга основных параметров УЗП: частоты, амплитуды колебаний и глубины правки.

Частоту колебаний рекомендуется выбирать из определенных по ГОСТ 16165-80 частот:  $(18 \pm 1,26)$  кГц;  $(22 \pm 1,54)$  кГц;  $(44 \pm 3,08)$  кГц;  $(66 \pm 4,62)$  кГц. В указанном диапазоне частот можно обеспечить необходимую прочность колебательных систем и конструировать правящие устройства, обладающие высоким ресурсом работы.

При выборе глубины правки  $t_{II}$  следует учитывать условие обязательного периодического прерывания контакта ПИ с РПК в соответствии с неравенством  $0 \leq t_{II} \leq 2A$ .

Амплитуда  $A$  вынужденных колебаний ПИ является важным управляющим параметром, так как возможность ее регулирования в ультразвуковой колебательной системе относительно проста. Результаты производственных испытаний УЗП и результаты экспериментальных исследований показали, что амплитуду целесообразно назначать свыше 15...20 мкм.

### ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

Управление режущей способностью шлифовального круга возможно путем формирования относительно острых режущих кромок на абразивных зёрнах круга непосредственно на шлифовальном станке за счет ультразвуковой правки. Установлена эффективность применения технологии ультразвуковой правки шлифовальных кругов на операциях круглого, внутреннего и бесцентрового шлифования, заключающаяся в существенном снижении расхода алмазного правящего и шлифовального инструментов, повышении стабильности основных выходных показателей шлифования (шероховатости обработанной поверхности и стабильности размеров деталей).

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На операции шлифования вторичного вала (нитроцементированная сталь 20ХГНМ HRC 58...60) в механосборочном производстве ПАО «АВТОВАЗ» одним из авторов данной работы разработана и внедрена технология ультразвуковой правки шлифовальных кругов, которая позволила повысить стойкость шлифовального круга 91A40НСМ27K11 между правками в 1,9 раза, снизить необходимую глубину правки в 1,7 раза и уменьшить расход шлифовального инструмента в 3 раза (с 12 000 до 36 000 дет/круг). Кроме того, сокращен расход правящего инструмента (увеличен ресурс работы алмазной гребенки до 70 раз) и обеспечена его надежная эксплуатация до полного износа.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Hashimoto F., Gallego I., Oliveira J.F.G., Barrenetxea D., Takahashi M., Sakakibara K., Stalfelt H.D., Stadt G., Ogawa K. Advances in centerless grinding technology // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2012. Vol. 61. № 2. P. 747–770.
2. Wegener K., Bleicher F., Krajnik P., Hoffmeister H.W., Brecher C. Recent developments in grinding machines // CIRP Annals – Manufacturing Technology. 2017. Vol. 66. № 2. P. 779–802.
3. Zhanga Y.Z., Xu X.P. Influence of surface topography evolution of grinding wheel on the optimal material removal rate in grinding process of cemented carbide // International Journal of Refractory Metals and Hard Materials. 2019. Vol. 80. P. 130–143.
4. Palmer J., Ghadbeigi H., Novovic D., Curtis D. An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing // Journal of Manufacturing Processes. 2018. Vol. 31. P. 348–355.
5. Kadivara M., Azarhoushang B., Shamaray S., Krajnik R. The effect of dressing parameters on micro-grinding of titanium alloy // Precision Engineering. 2018. Vol. 51. P. 176–185.
6. Корчак С.Н. Производительность процесса шлифования стальных деталей. М.: Машиностроение, 1974. 275 с.
7. Malkin S., Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives. New York: John Wiley & Sons, 1989. 290 p.
8. Malkin S., Guo C. Grinding Technology. Theory and application of machining with abrasives. 2nd ed. New York: Industrial Press, 2008. 372 p.
9. Богачев Ю.Ю., Бабенко М.Г. Исследование стойкости рабочей поверхности шлифовального круга и правящего алмазного инструмента // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Машиностроение, материаловедение. 2015. Т. 17. № 2. С. 21–29.
10. Малышев В.И., Мурашкин С.В., Попов А.Н. Влияние ультразвуковой правки круга на качество шлифованных поверхностей в условиях автоматизированного производства // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. 2010. № 3. С. 101–105.
11. Yanga Z., Zhang S., Zhang Z., Zhang Y., Hu J., Li K., Zhao B., Zhang Y. Experimental research on laser-ultrasonic vibration synergic dressing of diamond wheel //

- Journal of Materials Processing Technology. 2019. Vol. 269. P. 182–189.
12. Wegener K., Hoffmeister H.W., Karpuschewski B., Kuster F., Hahmann W.C., Rabiey M. Conditioning and monitoring of grinding wheels // *CIRP Annals – Manufacturing Technology*. 2011. Vol. 60. № 2. P. 757–777.
  13. Berlyaev B.V. The Effect of Ultrasonic Wheel Dressing on the Grinding Process // *Machines & Tooling Melton Mowbray*. 1978. Vol. 49. № 11. P. 53–54.
  14. Tawakoli T., Westkaemper E., Rasifard A. Ultrasonic Assisted Dressing of Vitrified CBN Grinding Wheel // *40<sup>th</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*. Liverpool: Liverpool University, 2007. P. 121–125.
  15. Киселев Е.С. Интенсификация процессов механической обработки рациональным использованием энергии ультразвукового поля. Ульяновск: УлГТУ, 2003. 186 с.
  16. Малышев В.И., Мурашкин С.В., Селиванов А.С. Ультразвуковая правка, как средство повышения эффективности шлифования в условиях массового производства // *Сборник научных трудов SWorld*. 2012. Т. 7. № 3. С. 52–60.
  17. Малышев В.И., Мурашкин С.В. Определение количества объёмно-разрушаемых абразивных зёрен шлифовального круга при ультразвуковой правке // *Вектор науки Тольяттинского государственного университета*. 2011. № 3. С. 60–65.
  18. Григорян М.А. Разрушение зёрен, взаимодействующих абразивных инструментов при правке // *Машиностроитель*. 2007. № 6. С. 30–34.
  19. Fedoseev O.B. The Effect of Noise on Grinding Cycles // *Journal of Engineering for Industry*. 1991. Vol. 113. № 4. P. 474–476.
  20. Schwarz K.E. Zerspanungsvorgauge und Schleifergebnis beim Abrichten von Grinding // *Journal of Manufacturing Science and Engineering*. 2001. Vol. 123. P. 319–324.
  6. Korchak S.N. *Proizvoditelnost protsessa shlifovaniya stalnykh detaley* [Productivity of process of grinding of steel details]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1974. 275 p.
  7. Malkin S., *Grinding Technology: Theory and Applications of Machining with Abrasives*. New York, John Wiley & Sons Publ., 1989. 290 p.
  8. Malkin S., Guo C. *Grinding Technology. Theory and application of machining with abrasives*. 2nd ed. New York, Industrial Press Publ., 2008. 372 p.
  9. Bogachev Yu.Yu., Babenko M.G. Study of the resistance of the working surface of the grinding wheel and dressing diamond tool. *Vestnik Permskogo natsionalnogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Mashinostroenie, materialovedenie*, 2015, vol. 17, no. 2, pp. 21–29.
  10. Malyshev V.I., Murashkin S.V., Popov A.N. Effect of ultrasound on edit the terms of quality polished surfaces under automated production. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2010, no. 3, pp. 101–105.
  11. Yanga Z., Zhang S., Zhang Z., Zhang Y., Hu J., Li K., Zhao B., Zhang Y. Experimental research on laser-ultrasonic vibration synergic dressing of diamond wheel. *Journal of Materials Processing Technology*, 2019, vol. 269, pp. 182–189.
  12. Wegener K., Hoffmeister H.W., Karpuschewski B., Kuster F., Hahmann W.C., Rabiey M. Conditioning and monitoring of grinding wheels. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2011, vol. 60, no. 2, pp. 757–777.
  13. Berlyaev B.V. The Effect of Ultrasonic Wheel Dressing on the Grinding Process. *Machines & Tooling Melton Mowbray*, 1978, vol. 49, no. 11, pp. 53–54.
  14. Tawakoli T., Westkaemper E., Rasifard A. Ultrasonic Assisted Dressing of Vitrified CBN Grinding Wheel. *40<sup>th</sup> CIRP International Seminar on Manufacturing Systems*. Liverpool, Liverpool University Publ., 2007, pp. 121–125.
  15. Kiselev E.S. *Intensifikatsiya protsessov mekhanicheskoy obrabotki ratsionalnym ispolzovaniem energii ultrazvukovogo polya* [Intensification of the processes of mechanical treatment using the efficient use of ultrasonic field energy]. Ulyanovsk, UIGTU Publ., 2003. 186 p.
  16. Malyshev V.I., Murashkin S.V., Selivanov A.S. Ultrasonic dressing of the grinding circle, as means of increase of efficiency of grinding in the conditions of mass production. *Sbornik nauchnykh trudov SWorld*, 2012, vol. 7, no. 3, pp. 52–60.
  17. Malyshev V.I., Murashkin S.V. Definition of quantity volume-destroyed abrasive grains of the grinding circle at to ultrasonic editing. *Vektor nauki Tolyattinskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2011, no. 3, pp. 60–65.
  18. Grigoryan M.A. The destruction of grains of interacting abrasive tools during dressing. *Mashinostroitel*, 2007, no. 6, pp. 30–34.
  19. Fedoseev O.B. The Effect of Noise on Grinding Cycles. *Journal of Engineering for Industry*, 1991, vol. 113, no. 4, pp. 474–476.
  20. Schwarz K.E. Zerspanungsvorgauge und Schleifergebnis beim Abrichten von Grinding. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 2001, vol. 123, pp. 319–324.

## REFERENCES

1. Hashimoto F., Gallego I., Oliveira J.F.G., Barrenetxea D., Takahashi M., Sakakibara K., Stafelt H.D., Staadt G., Ogawa K. Advances in centerless grinding technology. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2012, vol. 61, no. 2, pp. 747–770.
2. Wegener K., Bleicher F., Krajnik P., Hoffmeister H.W., Brecher C. Recent developments in grinding machines. *CIRP Annals – Manufacturing Technology*, 2017, vol. 66, no. 2, pp. 779–802.
3. Zhanga Y.Z., Xu X.P. Influence of surface topography evolution of grinding wheel on the optimal material removal rate in grinding process of cemented carbide. *International Journal of Refractory Metals and Hard Materials*, 2019, vol. 80, pp. 130–143.
4. Palmer J., Ghadbeigi H., Novovic D., Curtis D. An experimental study of the effects of dressing parameters on the topography of grinding wheels during roller dressing. *Journal of Manufacturing Processes*, 2018, vol. 31, pp. 348–355.
5. Kadivara M., Azarhoushang B., Shamaray S., Krajnik R. The effect of dressing parameters on micro-grinding of titanium alloy. *Precision Engineering*, 2018, vol. 51, pp. 176–185.

KEY ASPECTS OF INFLUENCE OF ULTRASONIC VIBRATIONS OF A DRESSING TOOL  
ON THE EFFICIENCY OF THE PROCESS OF WHEEL DRESSING

© 2019

**S.V. Murashkin**, PhD (Engineering), Associate Professor,  
assistant professor of Chair “Nanotechnologies, Material Science and Mechanics”

**A.S. Selivanov**, PhD (Engineering), Associate Professor,  
Deputy Rector – Director of Mechanical Engineering Institute

**V.I. Malyshev**, PhD (Engineering), Professor  
*Togliatti State University, Togliatti (Russia)*

*Keywords:* ultrasonic wheel dressing; abrasive grains; microchips; dressing force; dressing tool wear; wheel working surface texture.

*Abstract:* The authors developed the technique of the study of influence of axial ultrasonic vibrations of a core diamond dressing tool (DT) in the process of dressing of a grinding wheel: on the normal component  $P_y$  of dressing force, on the wear of the dressing tool diamonds, on the formation of the wheel working surface texture (WWS). The WWS texture parameters were studied by the following methods: sensing on a profile recording instrument using a diamond stylus (parameters are the bearing length ratio  $t_p$  at the fixed level  $p$  and the mean pitch between grains); optical microscopy using the MBS-2 microscope (parameters are the bearing surface ratio  $\eta$  of a grinding wheel). In parallel, the authors carried out the fractographic study of the WWS texture using the *LEO 1455VP* scanning electron microscope.

The study shows that in the condition of ultrasonic dressing (UD) of a wheel, the DT wear slightly influences the changes in the bearing surface ratio  $\eta$  of the WWS texture. Therefore, the ultrasonic dressing can ensure higher stability of cutting power of a wheel and the DT can work up to wear-out.

The authors give recommendations on the selection of the ultrasonic dressing parameters:

1. It is recommended to select the oscillation frequency from the frequencies specified by the State All-Union standard 16165-80: (18±1.26) kHz; (22±1.54) kHz; (44±3.08) kHz; (66±4.62) kHz.

2. It is impractical to specify the DT amplitude of forced oscillations  $A$  higher than 15...20 micron.

3. When selecting the dressing depth  $t_n$  it is necessary to consider the condition of mandatory intermittent interruption of contact of DT with WWS according to the inequality:  $0 \leq t_n \leq 2A$ .