

УДК 621.922

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИЙ ШЛИФОВАНИЯ ЗА СЧЕТ УПРАВЛЕНИЯ ФОРМОЙ КРУГОВ

© 2018 П.М. Салов<sup>1</sup>, А.Ф. Денисенко<sup>2</sup>, Д.П. Салова<sup>3</sup>, С.С. Сайкин<sup>1</sup>, Н.В. Мулюхин<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, г. Чебоксары

<sup>2</sup>Самарский государственный технический университет

<sup>3</sup>ОАО «Электроприбор», г. Чебоксары

Статья поступила в редакцию 25.06.2018

В статье приведены результаты исследования совершенствования процессов формообразования поверхностей деталей, имеющих глубокий профиль, а также глубоких отверстий за счет управления износом инструмента и его формой. При обработке этих поверхностей, а также в условиях малой жесткости технологической системы, изнашивание круга проявляется тремя механизмами: кромочным, приработочным и естественным. Кромочный износ – это первоначальное повышенное разрушение кромок и выступов режущей поверхности. Приработочный износ происходит по большей поверхности круга, он связан с неравномерной нагрузкой по сечениям. При нормальном прохождении процесса этот механизм вырождается в естественный. Естественный износ характерен для условий работы, когда форма круга приобретает квазистабильный вид оптимального изнашивания. Существование форм естественного износа при трении и резании является общеизвестным фактом. Например, при доводке резца, обеспечивающей оптимальную для конкретных условий работы форму, стойкость его существенно возрастает. При шлифовании глубоких отверстий, когда жесткость технологической системы (ТС) мала, форма круга из цилиндрической трансформируется в конусообразную. Придание кругам изначально конусообразных форм позволяет обеспечить качественно новые процессы полустогового и чистового шлифования. Не меньшие эффекты получены нами при плоском и бесцентровом круглом шлифовании напроход.

*Ключевые слова:* приработываемость, глубина профиля, деформации, цикл, правка, раскатка, форма, точность, шероховатость.

При обеспечении сложно-профильных поверхностей заготовки существенно сложнее управлять процессом.

В работе доказано, что обеспечение оптимального припуска по контуру теоретического профиля детали и применение эффективной правки кругов позволяет существенно уменьшить доли кромочного и приработочного износов.

Целью работы является совершенствование технологий обработки поверхностей, формообразование которых связано с относительно большим приработочным износом шлифовальных кругов. К таким поверхностям относятся глубокие отверстия, когда значительные деформации в технологической системе (ТС) предполагают изменения положения круга в пространстве.

*Салов Петр Михайлович, доктор технических наук, профессор кафедры технологии машиностроения.*

*E-mail: salov-pt@yandex.ru*

*Денисенко Александр Федорович, доктор технических наук, заведующий кафедрой автоматизированных станочных и инструментальных систем.*

*E-mail: ask@samgtu.ru*

*Салова Дина Петровна, кандидат технических наук, главный технолог ОАО «Электроприбор».*

*E-mail: sqt@elpribor.ru*

*Сайкин Сергей Семенович, кандидат физико-математических наук, профессор кафедры высшей математики и прикладной механики*

*Мулюхин Николай Владимирович, ассистент кафедры технологии машиностроения E-mail: muliukhin@mail.ru*

Приработанный круг имеет яйцевидную форму. Значительные трудности возникают при формообразовании сложно-профильных поверхностей, к таким относят зубчатые и шлицевые.

Задачами исследований являлись: анализ существующих методов обработки на предмет их совершенствования или замены на другие; обработка условий правки кругов; обработка условий правки кругов; расчет припусков под обработку по сечениям контура детали при различных схемах их удаления; составление 3D модели припуска; опытно-промышленная проверка и внедрение в производство предложенных мероприятий.

Современное производство предполагает внедрение процессов, ориентированных на выпуск деталей небольшими партиями на универсальных станках, в том числе восстанавливаемых на ремонтных предприятиях. В этом случае весьма велика роль финишных операций, обеспечивающих необходимую точность размеров, формы и расположения, а также качество обрабатываемых поверхностей.

На предприятии ЗАО «Чебокомплект», специализирующемся на ремонте и изготовлении тракторной и сельскохозяйственной техники, широко используется врезное профильное шлифование шлицевых валов и зубчатых колес с модулем  $m=3...8$  мм, 7...9 степени точности. Под шлифование поверхности предварительно

обрабатываются модифицированными червячными фрезами.

В качестве оборудования используются специальные и специализированные станки, работающие методом копирования, использующие в основном электрокорундовые шлифовальные круги из карбидов кремния зеленого и черного, с зёрнами из СВС материалов.

По рекомендациям [1, 2] правка кругов осуществляется методом накатывания роликами из быстрорежущей стали, а также алмазными карандашами. Ролики изготавливаются по технологиям, описанным в работах [1, 2]. После правки накаткой круги на бакелитовой связке прирабатываются при заниженной подаче, что необходимо для их самозатачивания. Круги на керамической связке прирабатывались при заниженной глубине на отдельных образцах, что исключает появление на деталях глубоких рисок. В результате используемой технологии обеспечивается шероховатость поверхностей зубьев  $Ra\ 1,25$ .

Шлицшлифование выполняется профильным кругом, формирующим всю канавку. Шероховатость центрирующих поверхностей –  $Ra=0,8\ \text{мкм}$ , не центрирующих –  $Ra = 1,6\ \text{мкм}$  и  $Ra = 3,2\ \text{мкм}$ .

В результате апробации технологии установлено, что целесообразно использовать электрокорундовые круги с открытой структурой – 8-10 на керамической связке зернистостью F46 или F60, твердостью, соответственно, М, N и К, L. В этом случае вероятность появления прижогов весьма мала. Однако удельный расход их больше, чем со структурой 7. Было выявлено также, что кромкостойкость при правке накатными роликами меньше, чем при правке алмазными карандашами.

Для азотированных сталей используются круги из карбида кремния. Настройка станков, правка кругов, отработка рабочих циклов выполняются по рекомендациям, приведенным в работах [3-5]. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости применяют Пермол – 5% эмульсия [6].

Используя рекомендации [4, 5] при зубошлифовании, были апробированы несколько методов удаления припуска профиля впадины, отличающиеся снятием черного припуска [5]. Первый метод: радиальная подача – двойной ход, поворот – двойной ход – поворот – двойной ход и так далее до снятия всего черного припуска с периодической правкой круга. При втором методе в каждой впадине поочередно вышлифовывали черновой припуск за несколько проходов, затем правили круг и т.д. Первый метод оказался более эффективным, в первую очередь за счет увеличения стойкости кругов.

Применялись и другие методы удаления припуска: по сторонам зуба с перекрытием срединной части впадины или дополнительным шлифованием срединной части.

Во всех известных методах под шлифование назначают профиль, эквивалентный теоретическому, не учитывая припуска по контуру впадины. Однако известно, что в условиях работы зерен, расположенных на разных участках фасонного (профильного) круга, неодинаковы: при радиальном врезании круга зёрна, расположенные на наклонных участках, удаляют меньший объем единичного среза, чем на цилиндрическом [2, 7, 9-14].

Известны работы [7-9], в которых рекомендуется применять фасонный инструмент, имеющий равномерный оптимальный износ по всей длине режущей кромки. Эта равномерность обеспечивается за счет обеспечения равных условий работы всех участков кромки [7-9]. Рекомендуется, чтобы, например, червячная или модульная фрезы обеспечивали под шлифование такой припуск, при удалении которого круг будет изнашиваться равномерно [7, 9].

Опытно-промышленная проверка показала, что хотя модифицированная по указанным рекомендациям фреза несколько менее производительна и имеет большую стоимость, чем стандартная, но положительный эффект при последующем шлифовании существенно перекрывает эти потери [10]. Производительность шлифовальной операции возрастает в 3...4 раза, в первую очередь за счет сокращения числа правок. Для этого необходимо использовать круг, полностью перекрывающий впадину, и работать по схеме, обеспечивающей поочередное вышлифовывание черного припуска в каждой впадине за несколько проходов, что позволяет резко уменьшить доли краевого и приработочного износов [9, 10, 13].

Следует подчеркнуть следующее правило: чем больше выступающих кромок участвует в формировании фасонного профиля, тем больше кромочные и приработочные износы. Кроме того, усложняется обеспечение требуемого качества обработанной поверхности.

Широкая номенклатура и малая серийность производства предполагает при обеспечении высокой точности и качества обработанных поверхностей использование универсального оборудования и инструментария. Так, например, на предприятиях «Чебокомплект» и Центральном авторемонтном заводе (г. Пермь) были проведены исследования по обеспечению качества обработки отверстий в восстанавливаемых ответственных деталях при замене хонингования раскаткой. Это целесообразно в тех случаях, когда заготовка жесткая и обрабатываемая поверхность не работает в режиме подшипника скольжения. При этом необходимо учитывать недостатки раскатки: практически не улучшается геометрическая точность отверстий и невысокая стойкость накатных роликов и шариков

при твердости обрабатываемой поверхности выше HRC 55. В связи с этим, геометрическая точность отверстия под раскатку должна быть обеспечена внутренним шлифованием, чего сложно добиться при ограниченной жесткости технологической системы. В работах [10-13] предложены условия внутреннего шлифования, обеспечивающее высокую производительность процесса и высокое качество обрабатываемой поверхности. Наибольший эффект достигается при конусообразной форме круга, а на этапе выхаживания – при прерывистой рабочей поверхности [2,7,10-13]. Продольная образующая круга при работе должна быть параллельна продольной подаче. Указанные рекомендации позволили получить высокую точность отверстий, что дает возможность на окончательной операции применить раскатку.

В таблицах 1, 2 приведены результаты внедрения новых технологий при получении точных деталей за счет: кругов конусообразной формы; новых методов правки кругов, исключая их повышенный кромочный и прирабочный износ; замены хонингования на раскатку. Конусообразность кругов обеспечивалась за счет правки методом обкатки, при котором в конце цикла отжатие в технологической системе правки было близко к уровню отжатия в ТС при работе [12,13]. Циклы правки и работы круга предусматривают ускоренное врезание до указанного уровня, что обеспечивает процесс правки с продольной подачей и процесс шлифования с контактом всей образующей круга с заготовкой (при относительно высокой жесткости ТС заготовки).

Принципы назначения припусков по контуру сложных профилей и эффективность их вышлифовывания кругами оптимальных форм изложены в работах [7-13].

Эффективность работы кругами квазиоптимальной формы обеспечивается их большей работоспособностью, меньшим износом, большей стойкостью, меньшими затратами на правку и, при правильной эксплуатации - отсутствием зарезов и большей геометрической точностью [2,7,13,14].

### ВЫВОДЫ ПО РАБОТЕ

1. *Widmer, E.* Schleifen and Werkzeug-Schleifen // Technica, 1983. №6. S.441-443
2. *Салов, П.М.* Рациональное использование рабочей поверхности абразивных кругов/ П.М.Салов, Д.П.Салова - Чебоксары: Чебокс.политехн.ин-т (филиал) МГОУ, 2010,-331с.
3. *Авраамов, А.А.* Обработка на шлицшлифовальных станках: Учебное пособие/ А.А.Авраамов,

- В.И.Артемов. - М.: Машиностроение, 1982. - 39 с.
4. *Боровский, Г.В.* Профильное шлифование/ Г.В. Боровский, В.Л. Белостоцкий; под общ.ред. Л.Н. Филимонова. - Л.:Машиностроение, 1987. - 160 с.
  5. *Кремень, З.И.* Технология шлифования в машиностроении / З.И. Кремень, В.Г. Юрьев, А.Ф. Бабошкин. - СПб: Политехника, 2007. - 424 с.
  6. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: Справочник / Л.В.Худобин, А.П.Бабичев, Е.М.Булыжёв и др. / Под общ.ред.Л.В.Худобина.- М.: Машиностроение,2006.-544с.
  7. *Салов, П.М.* Принципы самоорганизации износа шлифовальных кругов/ П.М.Салов, Б.А.Кравченко.- Самара: Самар.гос.техн.ун-т, 2001. - 118 с.
  8. *Чкалова, О.Н.* Основы научных исследований/ О.Н.Чкалова. - Киев: Вища школа, 1978. -120 с.
  9. Салов, П.М. Использование синергетических принципов для оптимизации формы режущего инструмента / П.М.Салов // Вестник Чуваш.ун-та. 2004, № 2. С. 108-115.
  10. *Салов, П.М.* Реализация принципов естественной прирабатываемости инструмента с заготовкой / П.М. Салов// в сборн. «Современные технологии в машиностроении и литейном производстве», матер. I-ой междунар. научно-практ. конференции. - Чебоксары: Чув. гос. ун-т, 2015. – С.211-215.
  11. Внутреннее шлифование с продольной подачей/ *П.М Салов, Д.П. Салова, С.С. Сайкин и др.*// Чуваш. гос. ун-т. – Чебоксары: 2012. Деп. в ВИНТИ 22.06.12. №286-В 2012. – 56с.
  12. *Виноградова, Т.Г.* Повышение эффективности шлифования глубоких отверстий путем управления перебегом и формой круга при учете теплонапряженности процесса: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01/ Самарский гос. техн. ун-т. – Самара, 2013. – 170 с.
  13. *Салова, Д.П.* Моделирование профиля рабочей поверхности шлифовального круга с использованием принципов естественной прирабатываемости: Дис. канд. техн. наук: 05.03.01/ Самарский гос. техн. ун-т. – Самара, 2007. – 231 с.
  14. *Носов Н.В., Кравченко Б.А.* Технологические основы проектирования абразивных инструментов. – М.: Машиностроение-1, 2003. – 257с.

Таблица 1. Эффективность использования новых технологий при изготовлении зубчатых колес

№	Характеристика детали, отверстия	Виды обработки	Припуск, мм	Качество точности	Шероховатость, Ra, мкм	Коэффициенты эффективности
1	Шестерня, сталь 35ХС HRC 38...42 $D \times l = 60 \times 122$ (мм)	Предварительное шлифование цилиндрическим кругом 25AF60	0,3	8-7	1,25-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Окончательное шлифование цилиндрическим кругом 91AF90	0,2	6	0,63-0,32	$\frac{0,5}{2,0}$
		Предварительное шлифование цилиндрическим кругом 25AF60	0,3	8-7	1,25-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Предварительное хонингование АБХ100/80	0,15	7-6	0,8-0,5	$\frac{2,0}{1,5}$
		Окончательное хонингование АБХ63/50	0,07	6	0,50-0,25	$\frac{1,5}{2,0}$
		Предварительное шлифование цилиндрическим кругом 25AF60	0,3	8-7	1,25-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Предварительное хонингование АБХ100x80	0,15	7-6	0,8-0,5	$\frac{2,0}{1,5}$
		Раскатка	0,008	7-6	0,50-0,25	$\frac{3,0}{2,0}$
		Шлифование коническим кругом 25AF60	0,2	6	0,8-0,5	$\frac{2,0}{1,5}$
2	Блок шестерен, сталь 38ХА HRC 52...56 $D \times l = (30-50) \times (110-180)$ (мм)	Предварительное шлифование цилиндрическим кругом 25AF60	0,25	7	1,25-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Раскатка	0,004	7	0,40-0,32	$\frac{3,0}{2,0}$
		Предварительное шлифование коническим кругом 25AF60	0,2	6	0,8-0,5	$\frac{1,0}{1,0}$
		Раскатка	0,006	6	0,40-0,25	$\frac{3,0}{2,0}$
3	Колесо, Ст.18ХГТ, HRC 58...62 $D \times l = 50 \times 60$ (мм)	Предварительное шлифование коническим кругом 25AF60	0,25	6	0,63-0,50	$\frac{1,0}{1,0}$
		Раскатка	0,003	6	0,32-0,20	$\frac{3,0}{2,0}$

Примечание:  $D$  и  $l$  – диаметр и длина отверстия; коэффициенты: в числителе – показатель увеличения производительности, в знаменателе – показатель уменьшения шероховатости

**Таблица 2.** Использование квазиоптимальной формы кругов при обеспечении точных поверхностей в типовых деталях

№	Характеристика детали, отверстия	Виды обработки	Припуск, мм	Квалитет точности	Шероховатость, Ra, мкм	Коэффициенты эффективности
1	Гильза ,сталь ШХ15 HRC 59-63 $D \times l = 10 \times 50$ (мм)	Шлифование цилиндрическим кругом 25AF60;	0,3	8	1,6-1,0	$\frac{1,0}{1,0}$
		Хонингование АБХ 100/80	0,07	7	0,63-0,40	$\frac{2,0}{3,5}$
		Хонингование АБХ28/20	0.02	7-6	0,20-0,125	$\frac{1,5}{3,0}$
		Шлифование коническим кругом 25AF60	0,25	7	1,25-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Хонингование АБХ63/50	0,05	7	0,40-0,25	$\frac{1,5}{1,5}$
2	Ролик, сталь ШХ15 HRC 58-62 $D \times l = 15 \times 25$ (мм)	Шлифование коническим кругом 91AF60	0,2	7	1,0-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Хонингование АБХ63/50	0,02	6-7	0,80-0,63	$\frac{2,0}{2,0}$
3	Блок цилиндров, СЧ 24-44 НВ 205 $D \times l = 105 \times 220$ (мм)	Шлифование конических кругов	0,2	7	0,50-0,25	$\frac{1,0}{1,0}$
		63CF60 Хонингование АБХ50/40	0,03	7	0,63-0,40	$\frac{2,0}{2,0}$
4	Гильза цилиндра Ст.38ХМЮА HRC 59-63 $D \times l = 120 \times 500$ (мм)	Шлифование коническим кругом 24AF60	0,2	7	1,25-0,63	$\frac{1,0}{1,0}$
		Хонингование АБХ100/80	0,08	6-7	0,8-0,4	$\frac{2,0}{2,0}$
		Хонингование АБХ50/40	0,02	6	0,25-0,16	$\frac{2,0}{2,0}$
5	Цилиндр гидроусилителя, СЧ18-36 НВ 200 $D \times l = 22 \times 110$ (мм)	Шлифование коническим кругом 54CF60	0,2	6-7	0,63-0,50	$\frac{1,0}{1,0}$
		Хонингование АБХ50/40	0,04	6	0,4-0,2	$\frac{2,0}{2,0}$

**IMPROVEMENT OF GRINDING TECHNOLOGIES  
FOR THE MANAGEMENT ACCOUNT OF THE CIRCLE FORM**

© 2018 P.M. Salov<sup>1</sup>, A.F. Denisenko<sup>2</sup>, D.P. Salova<sup>3</sup>, S.S. Saikin<sup>1</sup>, N.V. Muliukhin<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Chuvash State University named after I.N. Ulyanov, Cheboksary

<sup>2</sup> Samara State Technical University

<sup>3</sup> JSC «Electropribor», Cheboksary

In the article results of researches of perfection of processes of a shaping of surfaces of details, release of a deep profile, and also deep apertures due to management of deterioration of the tool and its form are resulted. When processing these surfaces, and also in conditions of low rigidity of the technological system, the wear of the circle is manifested by three mechanisms: edge, run-in and natural. Edge wear is the initial increased fracture of the edges and protrusions of the cutting surface. Run-in wear occurs over a large surface of the circle, it is associated with an uneven load across the sections. With a normal passage of the process, this mechanism degenerates into a natural one. Natural wear is characteristic for working conditions, when the shape of the circle acquires a quasi-stable form of optimal wear. The existence of forms of natural wear and tear during friction and cutting is a well-known fact. For example, when the tool is adjusted to provide the optimal shape for the particular working conditions, its resistance significantly increases. When grinding deep holes, when the rigidity is small, the shape of the circle from the cylindrical is transformed into a cone-conformal. Making circles initially cone-shaped forms allows to provide qualitatively new processes of semi-finished and fine grinding. No less effects were obtained by us with flat and centreless round grinding.

*Keywords:* workability, profile depth, deformation, cycle, correction, rolling, shape, accuracy, roughness.

---

*Petr Salov, Doctor of Technical Sciences, Professor at the Machine-Building Technology Department.*

*E-mail: salov-pm@yandex.ru*

*Alexander Denisenko, Doctor of Technical Sciences, Head at the Automated Machine Tools and Tool Systems Department.*

*E-mail: ask@samgtu.ru*

*Dina Salova, Candidate of Technical Sciences, Chief Technologist of JSC "Elektropribor". E-mail: sqt@elpribor.ru*

*Sergey Saikin, Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Professor at the Higher Mathematics and Applied Mechanics Department.*

*Nikolai Mulyukhin, Assistant Lecturer at the Machine-Building Technology Department. E-mail: muliukhin@mail.ru*