

# Повышение эффективности процессов шлифования высокопористыми кругами оригинальной отечественной разработки

Григорьев С. Н., Боровский Г. В., Костров С. В., Рябцев С. А., Старков В. К.

Одним из приоритетных направлений интенсификации машиностроительного производства, связанного с механической обработкой резанием, является создание инновационных высокопроизводительных гибких технологий с использованием современного оборудования и режущего инструмента, максимально отвечающего требованиям по производительности и качеству обработки. Однако в последние годы интенсивная модернизация отечественного машиностроения осуществляется, к сожалению, преимущественно за счет приобретения и освоения импортных технологий и оборудования.

В настоящее время практически во всех отраслях машиностроения и металлургического производства и преимущественно на предприятиях ОПК эксплуатируются шлифовальные станки европейских производителей – фирм Германии, Австрии, Франции, Швейцарии и других стран.

Эффективная работа указанного оборудования обеспечивается с использованием импортных высокопористых шлифовальных кругов повышенного качества, которые в России не производятся.

Целью проекта «Разработка технологий изготовления и конструкций широкой номенклатуры высокопористых высокоструктурных шлифовальных кругов для сверхвысокопроизводительного шлифования», сокращенно, «Абразив», выполняемого в рамках ФЦП «Национальная технологическая база», является повышение производительности и сокращение затрат российских предприятий при финишной обработке наиболее ответственных деталей машиностроения за счет разработки экологически безопасной технологии и освоения производства в России высокопористого высокоструктурного абразивного инструмента различного технологического назначения.

В результате выполненных работ совместно ОАО «ВНИИИНСТРУМЕНТ»,

ОАО «Волжский абразивный завод» (ОАО «ВАЗ») и МГТУ «Станкин»\* создается и внедряется в промышленность новый отечественный высокотехнологичный абразивный инструмент с повышенной структурностью, который превосходит по многим потребительским свойствам лучшие мировые аналоги.

Использование новых высокопористых шлифовальных кругов различных типоразмеров и характеристик позволяет повысить эффективность таких ответственных процессов, как шлифование зубчатых колес и обработка профильным глубинным шлифованием турбинных лопаток авиационных дви-

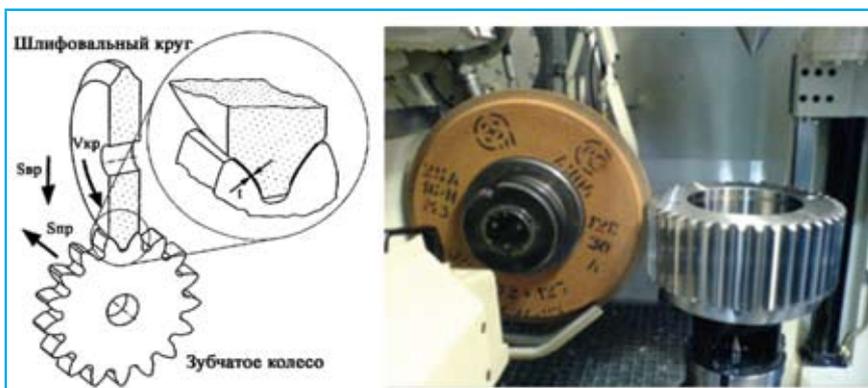


Рис. 1. Шлифование зубчатых колес методом копирования

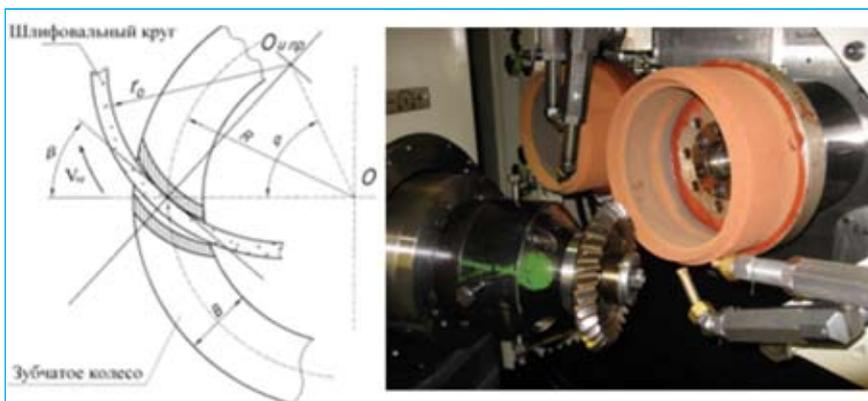


Рис. 2. Шлифование зубчатых колес по схеме периодического обката

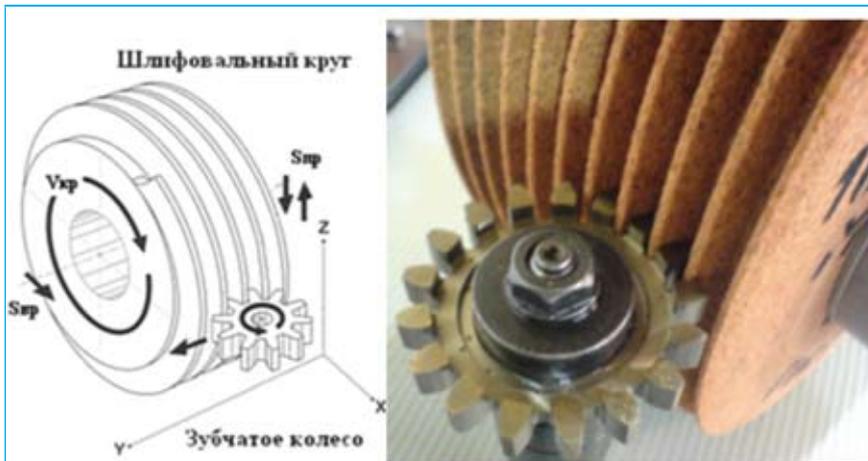


Рис. 3. Шлифование зубчатых колес по схеме непрерывного обката.

гателей и наземных газоперекачивающих установок.

При обработке зубчатых колес абразивными кругами с повышенной структурностью и пористостью использовались различные схемы шлифования: метод копирования, или профильного шлифования и метод обката с периодическим или непрерывным делением.

Эффективность реализации технологий зубошлифования в значительной степени определяется оптимальностью выбора характеристики высокопористых высокоструктурных кругов и качеством их изготовления.

Шлифование зубчатых колес по схеме копирования (рис. 1) осуществляется на зубошлифовальных станках фирм Gleason – Pfauter, Hofler, Niles, Oral, Oerlikon, Liebherr.

Для этого процесса используются высокопористые шлифовальные круги прямого и конического профиля из электрокорунда белого зернистостью F60...F120, твердостью E...L, со структурами 12...14.

Шлифование зубчатых колес по схеме периодического обката (рис. 2) осуществляется на зубошлифовальных станках фирм Klingelberg-Oerlikon, Gleason.

Используются высокопористые шлифовальные круги кольцевого или чашечного профиля из электрокорунда белого зернистостью F80...F120, твердостью E...K, со структурами 12...14.

Шлифование зубчатых колес по схеме непрерывного обката (рис. 3) осуществляется на зубошлифовальных станках фирм Reishauer, Liebherr и др.

Используются высокопористые шлифовальные круги со специальным червячным профилем из электрокорунда белого зернистостью F80...F120, твердостью E...I, со структурами 10...14.

**Проведенные испытания и опыт применения новых высокопористых шлифовальных кругов дают основание сделать следующее заключение: высокопористые шлифовальные круги оригинальной разработки показали себя эффективным инструментом для шлифования зубчатых колес по различным технологическим схемам, обеспечивая их точную и качественную обработку.**

В частности, новый инструмент является альтернативой зарубежным аналогам фирм Winterthur (Австрия), Carborundum Electrite (Чехия), которые применялись при профильном шлифовании, шлифовании методом обката с

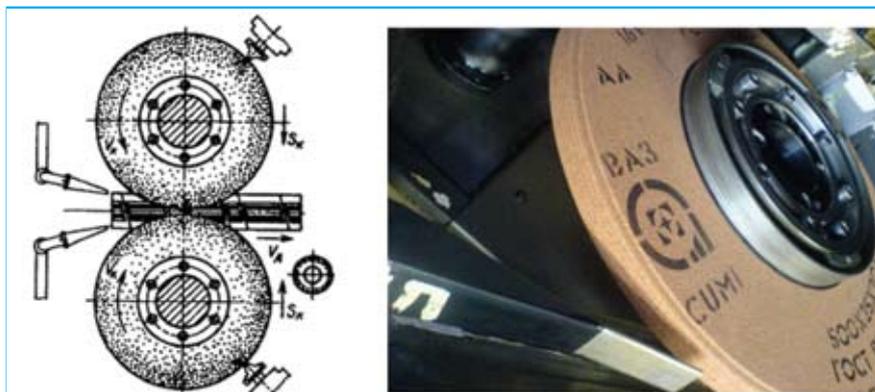
единичным и непрерывным делением.

Применение шлифовального круга с повышенной структурностью и пористостью позволяет повысить производительность обкатного шлифования за счет увеличения подачи на врезание в 2 раза, при этом обеспечиваются все требования по точности геометрии и качеству обработки зубчатого колеса.

Предложена и реализована новая технология формообразования конических зубчатых колес с круговым зубом шлифованием из заготовки без ее предварительного зубофрезерования (шлифование «по целому»). Опыт применения новой технологии показал, что шлифование «по целому» позволяет сократить технологический цикл изготовления зубчатых колес по времени не менее, чем в 3 раза, снижая их себестоимость за счет исключения затрат на операцию зубофрезерования, соответствующий инструмент и его эксплуатацию.

Применение нового инструмента рекомендуется для зубошлифования по указанным технологическим схемам зубчатых колес также и других типовых размеров и характеристик.

При формообразовании сложного профиля замков турбинных лопаток



**Рис. 4. Пример двустороннего профильного глубинного шлифования «елочного» профиля хвостовика турбинных лопаток авиационных двигателей**

газотурбинных двигателей и энергетических установок в России и за рубежом, как правило, применяется технология глубинного шлифования.

Замена глубинным шлифованием процессов фрезерования и протягивания, применяющихся для профилирования указанных деталей, обеспечивает:

- увеличение производительности по скорости съема металла до 100 мм<sup>3</sup>/ (мм·с) и более;
- повышение точности формируемого профиля на 30 %;
- снижение шероховатости обработанной поверхности до 2 раз ( $R_a = 0,8... 1,25 \text{ мкм}$ );

– улучшение физико-механического состояния поверхностного слоя обработанных деталей и повышение их сопротивления усталости и долговечности в эксплуатации на 12...15 %.

Профильное глубинное шлифование турбинных лопаток газотурбинных авиационных двигателей из жаропрочных сплавов различных марок (рис. 4) выполняется на специальных профильно-шлифовальных станках с ЧПУ фирм Elb-Shliff, Blohm и отечественном оборудовании.

Для этих целей используются высокопористые шлифовальные круги прямого профиля с наружным диамет-

ром 400–500 мм и высотой до 32 мм из электрокорунда белого зернистостью F80–F100, с твердостью от F до H, со структурами 12–16 (рис. 4).

При профильном глубинном шлифовании «елочного» профиля хвостовика рабочих лопаток были испытаны высокопористые круги с характеристикой 25A F80 G 16 V, изготовленные по новой технологии на ОАО «ВАЗ».

В процессе работы были опробованы различные варианты сочетаний режимов шлифования и правки круга. Анализировались потребляемая мощность и стабильность процесса, характер работы шлифовальных кругов и качество обработки, включая шероховатость обработанной поверхности и наличие на ней дефектов в виде сколов, прижогов и микротрещин, микроструктуру, наклеп и остаточные напряжения в поверхностном слое.

Результаты испытаний сравнивались с данными по работоспособности аналогов, изготовленных на заводе «Ильич» (г. Санкт-Петербург) и на фирмах Tyrolit (Австрия) и CGW (Израиль).

Было установлено, что высокоресурсные круги производства ОАО «ВАЗ» обеспечивают при профильном глубинном шлифовании лучшие тех-

нико-экономические показатели, чем отечественный аналог завода "Ильич" и зарубежные аналоги фирм "Tyrolit" и CGW: новый инструмент обеспечил эффективную и надежную работу на форсированном режиме глубинного шлифования, который в 2,3 раза превосходит по производительности процесса оптимальный режим обработки кругом завода "Ильич" и почти на 40 % производительность шлифования зарубежными аналогами.

На режимах профильного глубинного шлифования хвостовика лопатки, который рекомендован и используется для шлифовальных кругов фирмы Tyrolit, новым отечественным инструментом обеспечивается мощность процесса на 30...40 % меньше, чем австрийским кругом, и до 35 % меньше, чем кругом израильской фирмы CGW.

Выявлено также, что достоинством нового инструмента является возможность использования эффективных по производительности режимов шлифования с экономичными по расходу абразива условиями правки алмазным роликом. Затраты на абразив снижаются до 2,5 раз по сравнению с обработкой кругами завода "Ильич" и более чем в 5 раз относительно шлифования кругами фирм Tyrolit и CGW.

Ресурс эксплуатации нового инструмента до его полного износа при оптимальных условиях по количеству обработанных деталей возрастает в 3 раза.

Качество обработки елочного профиля хвостовиков лопаток на режимах глубинного шлифования новыми высоко-

структурными кругами с повышенной производительностью полностью соответствует техническим требованиям по шероховатости обработанной поверхности, отсутствию дефектов, микроструктурному состоянию и наклепу поверхностного слоя, а также по величине и характеру распределения сжимающих остаточных напряжений.

В целом наиболее эффективный режим глубинного шлифования с точки зрения стабильности формирования и оптимальности свойств поверхностного слоя детали и рекомендуемый для нового инструмента по производительности примерно на треть превышает режим, ранее рекомендованный для зарубежных кругов.

По результатам проведенных испытаний был выполнен технико-экономический анализ работоспособности шлифовальных кругов, изготовленных по различным технологиям и различными производителями. При этом важно было оценить перспективы использования нового отечественного инструмента на операциях профильного глубинного шлифования хвостовиков турбинных лопаток, на которых уже много лет доминирует высокопористый инструмент австрийской фирмы Tyrolit.

Сравнительная оценка работоспособности шлифовальных кругов выполнялась по потребляемой мощности по проходам на различных режимах обработки и правки инструмента, по машинному времени операции, возможному количеству деталей, обработанных кругом до его полного износа,

и стоимости затрат на абразив на операцию трехпроходного шлифования одной детали.

Полученные расчетные данные технико-экономического анализа процессов шлифования кругами различных производителей при разных вариантах обработки приведены в таблице 1.

Новые высокопористые шлифовальные круги с наружным диаметром 500 мм и высотой до 175 мм из электрокорунда белого зернистостью F46–F80, твердостью от F до H, со структурами 12 – 16 эффективно используются при профильном глубинном шлифовании хвостовиков турбинных лопаток наземных газоперекачивающих установок на профилешлифовальных станках с ЧПУ фирм Mägerle и Elb-Shliff.

Производственными испытаниями установлено, что высокопористые шлифовальные круги с характеристикой 25A F60 F-G 14 V производства ОАО «Волжский абразивный завод» удовлетворяют требованиям директивной технологии профильного глубинного шлифования хвостовиков турбинных лопаток и обеспечивают стабильную работу по износу рабочих поверхностей, производительности и качеству обработки за весь период стойкости. По результатам испытаний двух кругов до полного износа никаких отклонений в их работоспособности не выявлено.

По совокупности факторов, характеризующих работоспособность и стоимость инструмента, новые отечественные круги превосходят зарубежные аналоги (см. табл.).

| № п/п | Характеристика круга и его производитель   | Режимы шлифования по трем проходам |                          |                              | Технико-экономические показатели процесса |                   |       |                |       |                |       |
|-------|--|------------------------------------|--------------------------|------------------------------|---|-------------------|-------|----------------|-------|----------------|-------|
|       |  | t, мм                              | V <sub>ст</sub> , мм/мин | S <sub>р</sub> , мкм/об. кр. | τ <sub>м</sub> , мин                      | Q <sub>м</sub>    |       | n <sub>д</sub> |       | q <sub>с</sub> |       |
|       |  |                                    |                          |                              |   | мин <sup>-1</sup> | %     | шт.            | %     | руб/дет.       | %     |
| 1     | <b>25A 12P 3I32 10</b> завод «Ильич»   | 2,85                               | 150                      | 0,5                          | 0,524                                     | 1,908             | 100   | 471            | 100   | 7,1            | 100   |
|       |  | 0,5                                | 250                      | 0,2                          |   |                   |       |                |       |                |       |
|       |  | 0,05                               | 310                      | без правки                   |   |                   |       |                |       |                |       |
| 2     | <b>F13 A70 GG 21 V</b> Фирма <b>Tyrolit</b> (Австрия)<br><b>A35 S41 IVY 80F 16V</b> Фирма <b>CGW</b> (Израиль)<br><b>25A F80 G 16 V</b> Проект «Абразив» | 2,85                               | 300                      | 0,6                          | 0,312                                     | 3,205             | 168   | 619            | 131,4 | 14,85          | 207,4 |
|       |  | 0,5                                | 350                      | 0,4                          |   |                   |       |                |       | 14,69          | 205,2 |
|       |  | 0,05                               | 500                      | без правки                   |   |                   |       |                |       | 6,46           | 90,2  |
| 3     | <b>F13 A70 GG 21 V</b> Фирма <b>Tyrolit</b> (Австрия)<br><b>A35 S41 IVY 80F 16V</b> Фирма <b>CGW</b> (Израиль)<br><b>25A F80 G 16 V</b> Проект «Абразив» | 2,85                               | 400                      | 0,6                          | 0,242                                     | 4,132             | 216,6 | 815            | 173   | 11,27          | 157,4 |
|       |  | 0,5                                | 450                      | 0,4                          |   |                   |       |                |       | 11,15          | 155,7 |
|       |  | 0,05                               | 600                      | без правки                   |   |                   |       |                |       | 4,90           | 68,4  |
| 4     | <b>25A F80 G 16 V</b> Проект «Абразив»   | 2,85                               | 400                      | 0,6                          | 0,225                                     | 4,444             | 232,9 | 846            | 179,6 | 4,72           | 65,9  |
|       |  | 0,5                                | 500                      | 0,4                          |   |                   |       |                |       |                |       |
|       |  | 0,05                               | 700                      | без правки                   |   |                   |       |                |       |                |       |
| 5     | <b>25A F80 G 16 V</b> Проект «Абразив»   | 2,85                               | 400                      | 0,4                          | 0,234                                     | 4,273             | 223,9 | 1390           | 295,1 | 2,88           | 40,2  |
|       |  | 0,5                                | 500                      | 0,2                          |   |                   |       |                |       |                |       |
|       |  | 0,05                               | 600                      | без правки                   |   |                   |       |                |       |                |       |
| 6     | <b>25A F80 G 16 V</b> Проект «Абразив»   | 2,85                               | 400                      | 0,6                          | 0,234                                     | 4,273             | 232,9 | 846            | 179,9 | 4,72           | 65,9  |
|       |  | 0,5                                | 500                      | 0,4                          |   |                   |       |                |       |                |       |
|       |  | 0,05                               | 600                      | без правки                   |   |                   |       |                |       |                |       |

t, мм – глубина шлифования за проход в мм;  
V<sub>ст</sub>, мм/мин – скорость подачи стола в мм/мин;  
S<sub>р</sub>, мкм/об. кр. – подача правки в мм на оборот круга;

τ<sub>м</sub>, мин – машинное время мин;  
Q<sub>м</sub> – производительность обработки в штуках в минуту;  
n<sub>д</sub> – количество деталей, обработанных одним кругом  
q<sub>с</sub> – стоимость обработки детали с учетом стоимости круга

