

Научная статья

УДК 621.923

DOI: 10.36652/0042-4633-2023-102-7-585-589

Импортозамещение шлифовальных кругов

Жанна Владимировна Вараткова

ООО "Волгашлиф Плюс", г. Рыбинск, Россия, volgashlif@mail.ru

Аннотация. Рассматриваются отечественные разработки высокоструктурных шлифовальных кругов с повышенной пористостью как фактор импортозамещения инструмента для зарубежных шлифовальных станков. Подтверждена эффективность их применения. Приведены технологические особенности и рекомендации по назначению оптимальных характеристик кругов.

Ключевые слова: импортозамещение, высокоструктурный шлифовальный круг, пористость, абразив, характеристика круга.

Для цитирования: Вараткова Ж. В. Импортозамещение шлифовальных кругов // Вестник машиностроения. 2023. Т. 102. № 7. С. 585—589. DOI: 10.36652/0042-4633-2023-102-7-585-589.

Original article

Import substitution of grinding wheels

Zhanna V. Varatkova

ООО Volgashlif Plus, Rybinsk, Russia, volgashlif@mail.ru

Abstract. Domestic developments of highly structured grinding wheels with increased porosity are considered as a factor in import substitution of tools for foreign grinding machines. The effectiveness of their application is confirmed. Technological features and recommendations for the appointment of the optimal characteristics of the wheels are given.

Keywords: import substitution, high-structured grinding wheel, porosity, abrasive, characteristics of the grinding wheel.

Необходимость импортозамещения шлифовальных кругов стала актуальной в России с 2014 г. Отечественный инструмент необходим в первую очередь для оснащения зарубежных высокопроизводительных и высокоточных специализированных станков разного технологического назначения. На это же время пришелся первый опыт изготовления на ООО "Волгашлиф Плюс" отечественных аналогов кругов фирмы Tyrolit (Австрия) диамет-

ром 300 мм и высотой от 15 до 30 мм с характеристиками SU33A602GG11VBI и SU33F602HH10VK8. Инструмент предназначался для многокоординатного профильного глубинного шлифования блоков сопловых лопаток из жаропрочного никелевого сплава ЖС6У-ВИ на станках с ЧПУ мод. MFP-050.65.65 фирмы Mägerle (Швейцария).

Проанализировав технологический процесс глубинного шлифования и технические требования к

обработанной детали, заменили две характеристики австрийских кругов и разработали высокоструктурный инструмент с повышенной пористостью специального состава с характеристиками 25A F60 G 14 V и 25A F60 H 13 V.

Производственные испытания отечественных аналогов кругов провели на заводских режимах многопроходного глубинного шлифования и правки, принятых для австрийских кругов: скорость обработки $22\div 27$ м/с; постоянная скорость детали на всех проходах 500 мм/мин, глубина врезания круга изменялась от $1\div 1,5$ мм на черновых проходах до $0,1\div 0,5$ мм на полустистовых проходах и 0,05 мм на финишном проходе. Обработку проводили при интенсивном охлаждении зоны резания с непрерывной правкой круга алмазным профильным роликом фирмы Wendt (ФРГ) с подачей 0,6 мкм/об. кр. Последний проход выполняли без правки.

Работоспособность отечественных и зарубежных кругов сравнивали по токовой нагрузке на шпинделе станка, точности профиля и шероховатости шлифованной поверхности деталей, а также наличию прижогов, микротрещин и микроструктурных изменений. По указанным критериям была подтверждена идентичность их работоспособности, но применение качественных и более дешевых отечественных кругов по оценке заводских специалистов обеспечило хорошую экономию.

К настоящему времени в ООО "Волгашлиф Плюс" накоплен большой опыт разработки новых составов инструмента и технологии его изготовления для эффективного импортозамещения шлифовальных кругов различных типоразмеров и характеристик ведущих зарубежных производителей Tyrolit и Winterthur (Австрия), Saint-Gobain (Франция) (известная фирма Norton входит в ее состав), Burka-Kosmos (ФРГ) и др.

Основная номенклатура абразивного инструмента, поставляемого из-за рубежа, предназначена для обработки, преимущественно на импортном

оборудовании, сложнофасонных и ответственных высокоточных деталей и экстремальных условий эксплуатации. Это, например, профильное глубинное шлифование деталей горячего тракта газотурбинных двигателей из жаропрочных никелевых сплавов на станках фирм Elb-Schliff, Blohm, Mägerle и др., шлифование методами копирования и обката цилиндрических и конических тяжело нагруженных зубчатых колес на станках фирм Gleason-Pfauter, Höffler, Klingelberg-Oerlikon, Kapp-Niles, Liechler и др., а также другие операции, на которых необходима повышенная стойкость инструмента и гарантия высокопроизводительной и бездефектной обработки.

Наибольшая востребованность и сложность импортозамещения наблюдаются на операциях профильного глубинного шлифования деталей газотурбинных двигателей. Это обусловлено большой номенклатурой применяемых трудношлифуемых сплавов с различной обрабатываемостью резанием, необходимостью работы круга одной характеристики на режимах от черного до чистового шлифования при обеспечении жестких требований по шероховатости обработанной поверхности, ее наклепу, отсутствию микротрещин и прижогов. Так как съем металла происходит с принудительной непрерывной правкой сложнопрофильной рабочей поверхности круга, то его твердость должна гарантировать повышенную кромкостойкость и не инициировать избыточное давление на шлифуемую поверхность. Применительно к инструменту $\varnothing 300$ мм, которым оснащаются современные многокоординатные станки, выбор оптимальной характеристики особенно актуален, так как ресурс круга до 4 раз меньше ресурса аналогичных кругов $\varnothing 500$ мм [1].

В табл. 1 приведены характеристики зарубежного инструмента, для замены которого изготовлены и внедрены отечественные аналоги для разных операций шлифования. Использовать маркировку за-

Таблица 1

Характеристики зарубежного инструмента

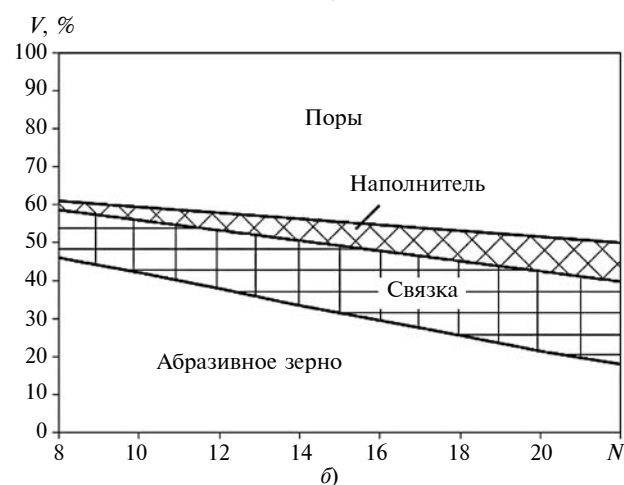
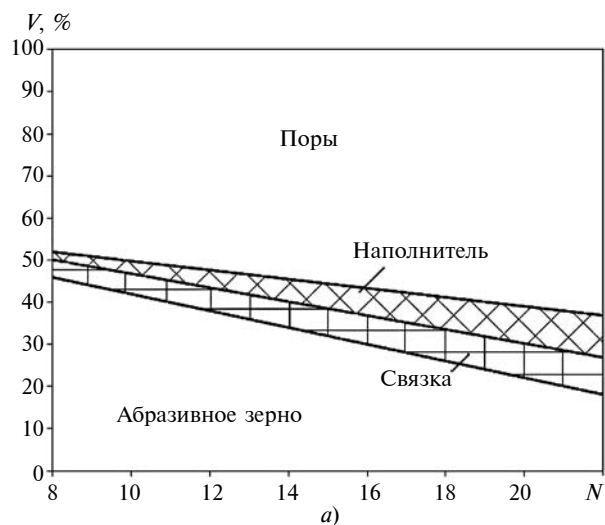
Обработка	Характеристика круга	Фирма-производитель
Профильное глубинное шлифование деталей из жаропрочных никелевых сплавов	SU 33A 542 GG 11 V01, SU 33A 602 HH 10 VK8, SU 33 702 GG 11 V01, SU 33A 1002 II 11 VB1	TYROLIT (Австрия)
Шлифование цилиндрических зубчатых колес методом копирования	93A60F15VP601W, 54A80H15VPMF604 EKW 70/80 H/I 10 V10, ISK13w 70/80 I 10 V 3TGP80F10VS3PF GF60/80 13VXP MOS	WINTERTHUR (Австрия) BURKA-KOSMOS (ФРГ) NORTON QUNTUM (США) NORTON (США) BUTZBACHER (ФРГ)
Шлифование конических зубчатых колес методом обката с единичным делением кольцевыми кругами	701TD80Jot104VPTA	
Зубошлифование методом непрерывного обката	HA/PA F80 J 11 V	SAINT-GABAIN (Франция)
Резьбошлифование шарико-винтовой пары	5CXP80G12VC8NP	NORTON ALTOS (США)
Шлифование деталей с износостойким корундовым покрытием	11C80F13VPmf	WINTERTHUR (Австрия)

рубежного круга и прежде всего его характеристику как основу создания отечественных аналогов практически невозможно ввиду зашифрованности полезной информации (см. табл. 1): разнообразия марок абразива (модификаций) и обозначений абразива одного вида. Зарубежные фирмы применяют разные методы измерения твердости кругов, различные составы керамических связок, связующих, порообразователей, наполнителей и т. д. [2]. Отметим, что даже при удачной расшифровке характеристики импортного круга воспроизвести его фактические эксплуатационные свойства, необходимые для конкретной операции шлифования, не всегда получается. Связано это с тем, что любая характеристика абразивного инструмента может оставаться постоянной при различных составах его абразивной массы и, соответственно, работоспособности.

По ГОСТ Р 52781—2007 в характеристику шлифовального круга следует включать, например, типоразмер, марку абразива, его зернистость, твердость, номер структуры, тип связки, рабочую скорость инструмента и класс неуравновешенности. Действующий стандарт по ключевым параметрам характеристики шлифовального круга репрезентативно отображает его состав только для инструмента нормальных структур с номерами 5—9. В этом случае рецептурный состав абразивной массы (зерно, связка и клеящий компонент), который обеспечивает заданную характеристику круга, соответствует необходимому объему формуемой заготовки.

При изготовлении шлифовальных кругов нормальных структур практически отсутствуют условия для управления его эксплуатационными свойствами, что возможно только улучшением качества входящих в их состав компонентов. В инструменте со структурой номеров 10—12, который называют "высокопористым", объем порового пространства можно увеличить на 20÷25 % в зависимости от твердости круга уменьшением количества зерен. Поэтому высокопористые круги приобрели заметные преимущества и возможности повышения эффективности процесса шлифования [3]. Этот тип инструмента, изготовленный за рубежом, стали использовать и в нашей стране.

Успешное импортозамещение высокопористых кругов стало возможным в результате разработки отечественного инструмента нового поколения — высокоструктурных шлифовальных кругов с повышенной пористостью. Структуру нового инструмента можно повысить до номеров 16—22 уменьшением объемного содержания зерен до 30÷16 %. В этом случае в формуемой абразивной массе остается до 35 % "свободного" пространства, что технологически позволяет увеличить общую пористость круга (открытую и закрытую) до 80 % [2, 4].



Соотношение объемов зерен, связки, невыгорающего наполнителя и пор в инструменте твердостью F (а) и О (б)

Изменение соотношений объемов V зерен, связки, невыгорающих наполнителей и пор в инструменте с твердостью F и О приведено на рисунке, а и б соответственно. Анализ рисунков показал, что в представленном диапазоне номеров N структуры от 8 до 22 объемное содержание зерна уменьшается в 2,55 раз, а сопутствующее повышение пористости в 1,3 раза зависит только от твердости. Такая закономерность связана с повышенным содержанием керамической связки, количество которой в шлифовальном круге больше возрастает в зависимости от его твердости, чем от увеличения структурности.

В высокоструктурном инструменте кроме необходимых рабочих компонентов — зерен и связки, появляется дополнительный компонент — невыгорающий наполнитель, объемное содержание которого варьируется от 2 до 10 % с тенденцией увеличения пропорционально возрастанию структурности. Однако опыт шлифования высокоструктурными кругами показал, что наличие наполните-

ля в инструменте явно не влияет ни на процесс, ни на его результаты.

В табл. 2 приведены некоторые расчетные характеристики шлифовального круга, прямо связанные с увеличением номера структуры от 6 до 22. По данным табл. 2 можно констатировать, что если объем абразивных зерен в инструменте уменьшается в 2,8 раза, то их количество уменьшается в 2 раза, а среднее расстояние между ними увеличивается в 1,4 раза. Отметим еще одно важное достоинство: с увеличением структурности даже для твердых кругов объем пор, приходящихся на 1 зерно, возрастает в 2,65 раз. Указанные особенности строения кругов с повышенной структурностью в сочетании с высокой пористостью определяют их эффективность при шлифовании.

Практическая реализация технологии изготовления абразивного инструмента с высокими номерами структуры и повышенной пористостью является чрезвычайно трудной задачей. Необходимо, например, обеспечить устойчивость абразивной массы заготовки круга при высокотемпературном обжиге, т. е. ее деформационную усадку, которая заметно возрастает с увеличением номера структуры. Абразивное зерно и керамическая связка являются базовыми элементами прочного объемного каркаса, и при уменьшении содержания абразива деформация круга при обжиге может достигать 30 %. Если не принять необходимые меры по укреплению состава твердыми дисперсными наполнителями, то рассчитанный по навеске абразивной массы номер структуры круга может уменьшиться на 3–5 номеров.

Структурность шлифовального круга является приоритетным фактором повышения его режущей способности. Снижение количества абразивных зерен в контактной зоне шлифования и пропорциональное увеличение расстояний между ними на рабочей поверхности инструмента создают предпосылки для преодоления так называемого "порога резания" и увеличения числа режущих зерен. Установлено, например, что при повышении структурности с 10 до 24 число режущих зерен 25A F80 уве-

личивается с 79,2 до 95,3 % от их общего числа. При этом заметно уменьшается доля абразива, не участвующего в полезной работе удаления шлифуемого материала, и соответственно снижаются давление круга на деталь и ее нагрев.

Повышенная пористость высокоструктурных кругов формируется введением в состав абразивной массы комбинации порообразователей в виде выгорающих при обжиге молотых фруктовых косточек разного состава и дисперсности и микросфер с закрытой порой также разной природы и размеров [4, 5]. Абразивная масса высокоструктурных шлифовальных кругов представляет собой сложную композицию твердых и жидких компонентов, плотность которых может изменяться до 10 раз, с различными физико-химическими свойствами и дисперсностью. Большое значение для обеспечения однородности состава и прочности формируемой заготовки круга имеет регламент смешивания массы. Оптимальным вариантом является повышение прочности заготовки до 4 раз, что очень важно для мягких заготовок твердостью F, G и H с номерами структуры 14 и более.

Основные параметры характеристики высокоструктурного круга — зернистость, твердость и структурность, обеспечиваются количеством абразива, связки и клеящего компонента, составляющими менее 2/3 объема заготовки круга. Остальной объем заполняется специальными компонентами, минимизирующими объемную деформацию круга при обжиге, что гарантирует сохранение исходного номера структуры, заданной твердости и минимальную механическую обработку после обжига. К ним относятся, например, порообразователи, которые формируют объемное поровое пространство в виде связанных между собой каналов с выходом на поверхности круга или в виде множества не связанных между собой отдельных пор разных размеров.

Состав этой части высокоструктурного шлифовального круга, очень важной для его эффективной эксплуатации, как и инструментальный контроль структурности и пористости для идентификации

Таблица 2

Расчетные характеристики шлифовальных кругов

Характеристика инструмента	Номер структуры				
	6	10	14	18	22
Объем зерен, %	50	42	34	26	18
Количество зерен в 1 мм ³	18,73	16,67	14,47	12,09	9,45
Среднее расстояние между зернами в объеме инструмента, мм	0,231	0,245	0,262	0,287	0,324
Объем пор, %	48/43/37,5	50/46/41	54,5/50,5/45,5	59,5/53,5/47,5	63,5/57,5/50
Объем пор на 1 зерно, %	2,56/2,29/2,0	3,0/2,76/2,46	3,77/3,49/3,14	4,92/4,42/3,93	6,72/6,08/5,29

Примечание. В строках объем пор и объем пор на 1 зерно приведены данные для кругов твердостью соответственно F/J/O.

отечественным стандартом не регламентируются. Отметим также, что фактор вариативности состава позволяет предложить до 10 разных оригинальных абразивно-керамических композиций высокоструктурного круга на одну его характеристику. Поэтому специальные составы высокоструктурных кругов с повышенной пористостью, технология изготовления и гарантия эффективного промышленного применения эксклюзивны для каждого производящего их предприятия.

Исходя из многолетнего опыта ООО "Волгашлиф Плюс" в сфере импортозамещения инструмента разных типоразмеров и характеристик, отметим, что важное значение в нем имеет безусловное выполнение требований к обработке детали, которые обеспечивали зарубежные круги. Поэтому необходим анализ технологических условий процесса шлифования и требований к его результатам по точности и качеству обработанной детали.

Рассмотрим последовательность назначения базовой характеристики высокоструктурного круга с повышенной пористостью.

Выбор материала абразива для шлифовального круга обусловлен его химической инертностью к обрабатываемому материалу, прочностью, твердостью и склонностью к самовосстановлению режущей способности в процессе шлифования. В отечественной практике по указанным параметрам хорошо зарекомендовали себя электрокорунд белый марки 25А и карбид кремния зеленый марки 64С.

Зернистость абразива назначается в зависимости от требуемой шероховатости шлифованной поверхности детали. Эта рекомендация относится и к инструменту для глубинного шлифования, когда круг одной характеристики работает на режимах черновой, получистовой и финишной обработки. Для высокоструктурного круга предпочтительна зернистость от F60 до F120.

Твердость круга или прочность закрепления абразивных зерен в объеме зависит от твердости обрабатываемого материала: чем он мягче, тем больше должна быть твердость инструмента. Например, для вязких материалов и нетермообработанных сталей рекомендуется твердость в диапазоне J÷L, для закаленных сталей и других твердых материалов — от F до H. При использовании высокоструктурных шлифовальных кругов твердость можно повысить.

Структурность — основной параметр характеристики высокоструктурного круга, взаимосвязана с остальными параметрами. При ее повышении необходимо одновременно уменьшить зернистость абразива и увеличить твердость круга, при этом одновременно можно форсировать параметры режима шлифования. В совокупности обеспечивается выполнение технических условий на обработку с более высокой производительностью по скорости

съема материала, износостойкостью инструмента и гарантией отсутствия дефектов на шлифованной поверхности детали. Рекомендуемый диапазон номеров структур — 12—16, возможный — 17, 18 и выше.

Окончательная корректировка характеристики инструмента и разработка рецептурного состава для его изготовления выполняются на ООО "Волгашлиф Плюс" после изучения технологических условий и требований обработки, представленных заказчиком. Вероятность положительного результата производственных испытаний тестовых кругов не менее 95 %.

В заключение отметим, что отечественные высокоструктурные шлифовальные круги с повышенной пористостью успешно заменяют лучшие зарубежные аналоги ведущих мировых производителей. При этом импортозамещение тем эффективнее, чем точнее круги будут адаптированы по характеристике и составу к конкретным технологическим условиям шлифования и требованиям к его результатам.

Это подтверждает опыт ООО "Волгашлиф Плюс" по разработке оригинальных составов для более 60 характеристик инструмента различных типоразмеров для импортозамещения, эксплуатирующегося на 24 заводах России и Белоруссии. Высокоструктурный абразивный инструмент в составе комплексной работы по разработке и внедрению технологии высокопроизводительного многокоординатного шлифования лопаток газотурбинных двигателей пятого поколения отмечен Премией Правительства РФ [6].

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. **Ермолаев В. К.** Триада глубинного шлифования — синергия его эффективности. // РИТМ машиностроения. 2022. № 3. С. 34—42.
2. **Старков В. К.** Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 2007. 688 с.
3. **Попов С. А., Ананьян Р. В.** Шлифование высокопористыми кругами. М.: Машиностроение, 1980. 79 с.
4. **Старков В. К., Вараткова Ж. В.** Высокоструктурный инструмент для повышения эффективности процессов шлифования. М.: Изд-во "Ким Л. А.", 2019. 382 с.
5. **Технологичность** высокоструктурных абразивно-керамических композиций с различными микросферными наполнителями / В. К. Старков, М. Н. Кудряш, Ж. В. Вараткова и др. // Огнеупоры и техническая керамика. 2013. № 11—12. С. 64—67.
6. **Технология** автоматизированной комплексной обработки лопаток турбин методами высокопроизводительного шлифования, многоцелевые шлифовальные станки и высокоструктурный абразивный инструмент для ее реализации / Под ред. В. А. Полетаева и В. К. Старкова. М.: Машиностроение, 2013. 122 с.

*Статья поступила в редакцию 02.12.2022;
одобрена после рецензирования 25.12.2022;
принята к публикации 30.12.2022.*