

УДК 621.923+629.7
DOI: 10.12737/20254

В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова, А.Д. Кулинский

ПЕРСПЕКТИВНЫЕ НАПРАВЛЕНИЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ ШЛИФОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

С целью повышения эффективности шлифования поверхностей деталей машин разработаны и предложены для широкого использования в машиностроении перспективные направления, связанные с совершенствованием конструкций шлифовальных кругов, составом абразивных масс для изготовления инструментов и способами их импрегнирования с использованием диоксида хрома. Приведены

результаты сравнения разработанных направлений повышения эффективности шлифования поверхностей деталей машин и определены наиболее рациональные области их применения в металлообработке.

Ключевые слова: эффективность, абразивная масса, дисперсность, импрегнирование, шлифовальный круг.

V.I. Butenko, L.V. Gusakova, A.D. Kulinsky

PROMISING DIRECTIONS TO INCREASE GRINDING EFFICIENCY IN MACHINE PARTS SURFACES

The problem of grinding process increase for machine parts surfaces can be solved by means of abrasive disks design updating, their composition and impregnation technologies. The structures of multiple grinding wheels containing rods in a basic abrasive mass including conducting elements are offered. Such disks allow increasing quality in surfaces machined of parts made of tough hard-to-machine steel and alloys on the basis of non-ferrous metals on indices of roughness, technological residual stresses and burns. High efficiency show multi-sector abrasive disks of different grain allowing the increase considerably the intensity of material removal at machining parts made of chromium-nickel steel and alloys. The effective compositions of abrasive masses are developed for tool manufacturing including the introduction in them high-strength ferritic iron, chromium diiodide and wood

resin. Polishing tools made of abrasive mass have 1.5 – twice higher durability between stropping operations and ensure the decrease of burn areas quantity on machined surfaces of parts 2-2.5 times. The promising direction of the efficiency increase in parts surface grinding is the impregnation of abrasive disks by an aqueous solution of chromium diiodide which possesses high antiseptic properties and at the iodine emission forms iron iodides with a low constant of friction. As a result of this the temperature drops in the grinding area by more than 30%.

Key words: efficiency, abrasive mass, dispersity, impregnation, abrasive disk.

Введение

В технологических процессах механической обработки деталей машин операции шлифования занимают важное место, так как на них достигаются требуемые точность размеров и показатели качества поверхностного слоя. Анализ имеющейся технической информации по вопросам финишной обработки деталей свидетельствует о том, что большое количество выполняемых в настоящее время научных исследований и разработок ориентированы на интенсификацию процессов шлифования, направленную на повышение производительности обработки. Однако при этом не всегда в полной мере решаются вопросы

обеспечения эксплуатационных показателей качества обрабатываемых поверхностей деталей, что, например, очень актуально для деталей трибосистем. Следует иметь в виду, что проблема повышения эффективности процессов шлифования поверхностей деталей из высоколегированных и жаропрочных сталей и сплавов многосторонняя и затрагивает все этапы технологического процесса. Именно поэтому комплексный подход к поиску перспективных направлений повышения эффективности шлифования поверхностей деталей машин является наиболее востребованным, экономически оправданным и

технически обоснованным в современном машиностроении. Разработанные перспективные направления повышения эффективности шлифования поверхностей дета-

лей машин связаны с совершенствованием конструкций шлифовальных кругов, их составов и импрегнированием.

Совершенствование конструкций шлифовальных кругов

Одним из направлений совершенствования конструкций шлифовальных кругов может стать введение в них дополнительных элементов (рис. 1). Так, для снижения величины технологических остаточных напряжений в материале поверхностного слоя шлифованной детали предложена конструкция составного абразивного круга, выполненного из абразивной массы разной зернистости, в котором в основной абразивной массе одной зернистости в радиальном направлении размещены стержни, выполненные из основной абразивной массы с добавлением абразива большей зернистости и повышенной твёрдости при соотношении 2:1 и имеющие форму усечённых конусов (рис. 1 а) [1]. При этом стержни размещены с образованием на периферии круга формы замкнутой симметричной синусоиды с шагом вдоль синусоиды $3d_{cm}$, где d_{cm} – диаметр

стержня в основании конуса, принимаемый равным $d_{cm} = (0,12 - 0,15)B$ (здесь B – высота круга). Стержни длиной $l_{cm} = 5d_{cm}$ и конусностью 1:10 устанавливаются с выходом меньшего диаметра на периферию круга с расстоянием между их осями, равным $L = 1,2d_{cm}$.

Испытания предложенной конструкции шлифовальных кругов на эффективность проводились на круглошлифовальном станке мод. 3М151, оборудованном специальным защитным кожухом. Абразивные круги размером $400 \times 60 \times 127$ мм изготавливались из электрокорунда белого 25А зернистости 20 (основная абразивная масса), а стержни – из электрокорунда 25А зернистости 20 с добавлением в основную абразивную массу электрокорунда хромотитанистого 95А повышенной твёрдости 40 в соотношении 2:1.

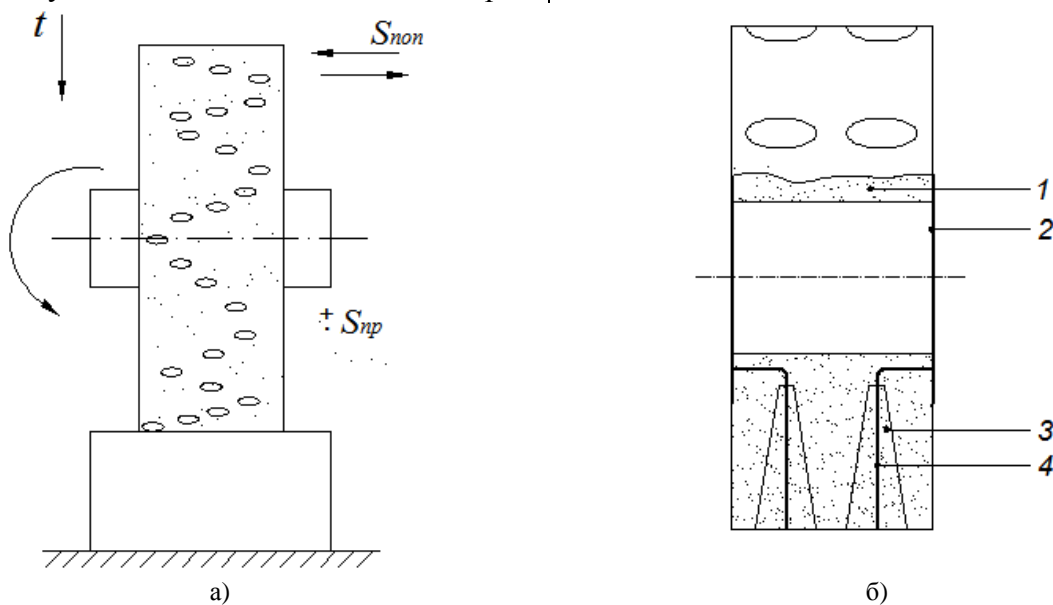


Рис. 1. Усовершенствованные конструкции шлифовальных кругов: а – абразивный круг из абразивной массы разной зернистости; б – абразивный круг с токопроводящими элементами (1 – абразивный материал; 2 – токопроводящие элементы на торцах; 3 – радиально размещённые токопроводящие элементы; 4 – армирующие электроды)

Для изготовления стандартных абразивных кругов в соответствии с ГОСТ 2424-83 и составных абразивных кругов предложенной конструкции использова-

лась керамическая связка К1. Обработке подвергались цилиндрические образцы из сталей 12Х2Н4А, 20ХН2МА и 60ГС2, имеющие ступень диаметром 36 мм и дли-

ной 50 мм. Шлифование этих ступеней осуществлялось по методу врезания с поперечной подачей $S_{non} = 0,6$ мм/мин и скоростью вращения обрабатываемого образца $V_{\delta} = 0,36$ м/с. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовался 5-процентный водный раствор эмульсола Укринол-1. Оценочными показателями при испытаниях составных абразивных кругов были приняты максимальная скорость вращения круга V_{max} , при которой не происходило его разрушение, и показатели качества обработанной поверхности детали: параметр шероховатости Ra , величина технологических остаточных напряжений в материале обработанного поверхностного слоя $\sigma_{ост}$ и относительная площадь поверхности детали ΔS , подвергнутая прижогу.

Результаты испытаний приведены в табл. 1, из анализа которой видно, что составные абразивные круги имеют более

высокую прочность, позволяющую выполнять обработку поверхностей деталей из вязких труднообрабатываемых и повышенной твёрдости сталей на скоростях в 1,4 – 1,6 раза выше, чем при использовании стандартных абразивных кругов. При этом достигается более высокое качество обработанной поверхности детали по показателям Ra , $\sigma_{ост}$ и ΔS .

Для шлифования поверхностей деталей из электропроводных труднообрабатываемых сплавов может быть использован шлифовальный круг, конструкция которого представлена на рис. 1 б [2]. Этот круг, выполненный из абразивного материала 1 и имеющий на торцах токопроводящие элементы 2, снабжён радиально размещёнными в абразивном материале токопроводящими элементами 3, выполненными в виде расширяющихся от центра стержней.

Таблица 1

Результаты сравнительных испытаний абразивных кругов

Марка стали	Оценочные показатели абразивных кругов							
	Стандартный круг по ГОСТу				Составной круг			
	V_{max} , м/с	Ra , мкм	$\sigma_{ост}$, МПа	ΔS , %	V_{max} , м/с	Ra , мкм	$\sigma_{ост}$, МПа	ΔS , %
12Х2Н4А	38,5	1,33	330	19	51,3	1,17	310	9
20ХН2МА	35,0	1,46	370	23	56,5	1,24	330	12
60ГС2	31,6	1,72	410	29	49,6	1,32	350	16

Стержни 3 изготавливают из абразивной массы с добавлением серого чугуна и армируют электродами 4, связанными с токопроводящими элементами 2 на торцах шлифовального круга. При этом твёрдость абразива стержней 3 рекомендуется принимать выше твёрдости основного абразивного материала 1 шлифовального круга. Для более устойчивого закрепления электродов 4 в стержнях 3 их рекомендуется выполнять ступенчатыми по длине, квадратного сечения и с зазубринами на рёбрах, расположенными в шахматном порядке [3].

Исследования показали, что введение в зону контакта абразивных зёрен с обрабатываемым материалом электрического тока приводит к диспергированию материала поверхностного слоя и образованию оксидных плёнок, которые легко снимаются при шлифовании. Наличие в шлифо-

вальном круге стержней повышенной твёрдости способствует возникновению в зоне резания микроударов и микровибраций, которые уменьшают засаливание круга. Одновременно повышается геометрическая точность обрабатываемых деталей, изменяется дислокационная структура материала поверхностного слоя и уменьшается величина технологических остаточных напряжений. Наибольшая эффективность достигается при использовании шлифовальных кругов с токопроводящими элементами для чистового и тонкого шлифования поверхностей деталей из хромоникелевых сплавов, а также сплавов на основе меди, алюминия и титана.

Разработаны и предложены к использованию при шлифовании различной формы поверхностей деталей машин шлифовальные круги, содержащие крупнозернистые и мелкозернистые участки абразива,

попарно разделённые абразивными секторами меньшей твёрдости (рис. 2) [4; 5]. При этом участки крупнозернистого (1) и мелкозернистого (2) абразива могут быть выполнены одинаковой длины по наружной дуге шлифовального круга; длина участка с меньшей твёрдостью 3 обычно делается в два раза меньшей. Для мелкозернистого участка используют микрошлифпорошки, для крупнозернистого - шлифзерно, а для участка абразива меньшей твёрдости – шлифпорошки. В общем случае твёрдость абразива для многосекторного шлифовального круга разной зернистости выбирается в зависимости от твёрдости обрабатываемого материала.

Исследования показали, что при использовании многосекторных шлифовальных кругов разной зернистости участки абразива с меньшей твёрдостью изнаши-

ваются быстрее, чем остальные, образуя перед крупнозернистыми участками круга микровпадины. При входе крупнозернистого участка абразива в соприкосновение с материалом обрабатываемой детали возникают микроудары и микровибрации. В результате эффективность процесса шлифования повышается, так как уменьшается засаливание круга (увеличивается суммарное время непрерывной работы между переточками круга $t_{пер}$), увеличивается интенсивность съёма материала Y , снижаются показатель шероховатости обработанной поверхности детали Ra и технологические остаточные напряжения $\sigma_{ост}$, существенно уменьшается относительная площадь ΔS , что является особенно важным при обработке хромоникелевых сталей и сплавов (табл. 2).

Таблица 2

Оценочные данные по определению эффективности многосекторных шлифовальных кругов разной зернистости

Обрабатываемый материал	Используемый круг	Показатели эффективности				
		Y , г/г	Ra , мкм	$\sigma_{ост}$, МПа	ΔS , %	$t_{пер}$, мин
Сталь 12Х2Н4А	Стандартный	4,76	2,19	360	37	46
	Многосекторный	5,65	1,74	300	17	65
Сталь 20ХН2МА	Стандартный	4,95	2,12	350	35	33
	Многосекторный	6,10	1,63	280	18	52
Сплав ХН62МВКЮ	Стандартный	4,08	2,16	490	40	24
	Многосекторный	4,75	1,75	380	18	40
Сплав ХН77ТЮР	Стандартный	4,05	2,24	510	45	22
	Многосекторный	4,65	1,77	400	20	37

Эффективные составы абразивных масс для изготовления инструмента

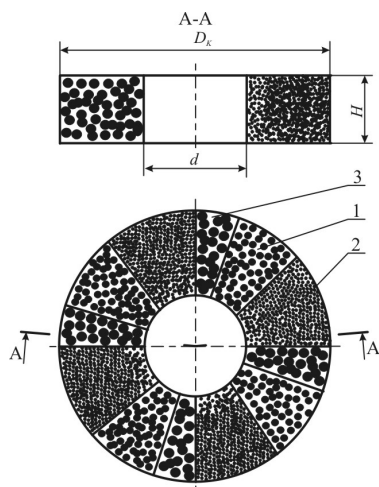


Рис. 2. Схема многосекторного шлифовального круга разной зернистости: 1 – крупнозернистый участок; 2 – мелкозернистый участок; 3 – участок абразива меньшей твёрдости

Эффективность финишной обработки поверхностей деталей машин с использованием абразивных инструментов может быть существенно повышена путём добавления в абразивную массу различных компонентов, в том числе поверхностно-активных веществ (ПАВ) [6 – 8].

Так, для уменьшения расхода абразивного материала при изготовлении инструментов для тонкого шлифования, хонингования, суперфиниширования и других способов абразивной обработки поверхностей деталей, улучшения качественных характеристик поверхностного слоя в абразивную массу предложено вводить высокопрочный ферритный чугун ВЧ 38-17, ВЧ 42-12, ВЧ 50-7 (ГОСТ 7293 – 79) дис-

персности $D_d = (1,2 - 1,5)d_A$, где d_A – дисперсность используемого абразива [6]. Применение в абразивной массе для изготовления инструмента высокопрочного ферритного чугуна в качестве наполнителя обусловлено тем, что он, обладая режущими свойствами при дисперсности выше $5 \cdot 10^{-6}$ м, обладает способностью к сглаживанию микронеровностей обрабатываемой поверхности за счёт содержащегося в нём связанного графита шаровидной формы. Поскольку феррит высокопрочного чугуна, работающего как абразив, значительно мягче абразивных зёрен, то приготовленная по предложенной технологии масса для изготовления абразивного инструмента обладает некоторой пластичностью. В связи с этим для изготовления профильного абразивного инструмента рекомендуется использовать массу следующего состава, % [6]: абразив – 20 – 45; полиэтиленполиамин – 2,5 – 5,0; органический модификатор – 1,5 – 3,0; высокопрочный ферритный чугун – 17 – 40; эпоксидная смола – остальное.

Из абразивной массы предложенного состава были изготовлены профильные тарельчатые круги с наружным диаметром 310 мм для шлифования боковых поверхностей зубьев шестерни тяговой передачи электровоза с модулем 10 мм и числом зубьев 21, изготавливаемой из стали 12ХНЗ. В качестве абразива использовался электрокорунд 14А зернистости F180 (ГОСТ Р 52381-2005), а в качестве наполнителя – чугун ВЧ 38-17, количественный состав которых соответствовал 40 и 30 %. Шлифование боковых поверхностей зубьев шестерни, подвергнутой цементации и имеющей твёрдость поверхностного слоя HRC 42...46, осуществлялось на зубошлифовальном станке мод. 5E820 при скорости вращения круга $V_{кр} = 25$ м/с и припуске на сторону 0,2 мм. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовалось индустриальное масло И-50А (ГОСТ 20799-88).

Исследования показали, что применение при зубошлифовании крупномодульных зубчатых колёс профильных кругов, изготовленных из предложенной абразивной массы, позволяет практически пол-

ностью исключить прижоги боковых поверхностей зубьев и более чем в 3 раза увеличить период стойкости кругов.

Для повышения стойкости абразивного инструмента и уменьшения количества зон прижога на обработанной поверхности детали разработан состав абразивной массы, содержащий кристаллический йод в виде микропорошка дисперсности 10 – 20 мкм [7]. Обладая высокой адсорбционной и химической активностью по отношению к металлам, кристаллический йод образует на обрабатываемой поверхности детали йодиды металлов, имеющие низкий коэффициент трения. В результате локальная температура в зоне контакта абразивного зерна с обрабатываемым материалом снижается, не происходит плавление материала, что приводит к уменьшению засаливания абразивного инструмента и количества зон прижога на обработанной поверхности. Применение при тонком шлифовании деталей из стали 30ХГСА и сплава 45Х25Н20С2А кругов из предложенной массы для изготовления абразивного инструмента позволило уменьшить в 2 – 2,5 раза количество зон прижога и в 1,5 – 2 раза увеличить время между правками.

Однако введение в абразивную массу для изготовления инструмента кристаллического йода ограничено тем, что он возгоняется при температурах 250 – 300°C. Вместо кристаллического йода в состав абразивной массы можно ввести диодид хрома, разлагающийся при температурах выше 500°C. Исследования показали, что вследствие нестабильности локальных температур в зоне контакта абразивных зёрен с обрабатываемым материалом, изменяющихся в диапазоне 550 – 650°C, разложение диодида хрома и образование йодидов железа на поверхности детали протекает нестабильно с формированием структурно неодинаковых комплексных соединений, что сказывается на равномерности распределения йодидов железа как по поверхности, так и по толщине образующегося слоя. Было предложено в состав массы для изготовления абразивного инструмента дополнительно ввести порошок древесной золы дисперсности 3 – 5 мкм, позволяющий стабилизировать про-

цесс разложения диоксида хрома и образования йодидов железа, повысить температурную стойкость эпоксидной смолы, а также модифицировать структуру получаемых йодидов по размерам и распределению. При этом следует отметить, что вводимая в массу для изготовления абразивного инструмента в качестве модификатора и стабилизатора древесная зола значительно дешевле органических модификаторов, используемых в абразивных массах аналогов. Для повышения температурной стойкости абразивных инструментов и снижения их стоимости предложена абразивная масса, содержащая древесную золу и диоксид хрома при следующем соотношении компонентов, % [8]: абразив – 40 – 50; полиэтиленполиамин – 3,5 – 5,0; высокопрочный ферритный чугун – 15 – 20; древесная зола – 5 – 8; диоксид хрома – 3 – 5; эпоксидная смола – остальное.

Проведены сравнительные испытания шлифовальных кругов, изготовленных без добавления в абразивную массу древесной золы (абразив 14А зернистости F60 – 45%, полиэтиленполиамин – 4%, высокопрочный ферритный чугун ВЧ 38-17 – 21%, диоксид хрома – 6%, эпоксидная смола ЭД-5 – 26%) и из предлагаемой абразивной массы (абразив 14А зернистости F60 – 45%, полиэтиленполиамин – 4%, высокопрочный ферритный чугун ВЧ 38-17 – 15%, древесная зола – 6%, диоксид хрома – 4%, эпоксидная смола ЭД-5 – 26%). Обрабатывались валики диаметром 24 мм и длиной 320 мм из сталей 12Х2Н4А,

20ХН2МА, 30ХГСА и сплавов ХН62МВКЮ, ХН77ТЮР на круглошлифовальном станке мод. 3М151 с использованием в качестве смазочно-охлаждающей жидкости 5-процентного водного раствора эмульсола Укринол-1. Режимы шлифования были приняты согласно данным, приведённым в работах [1 – 6]. Использовались шлифовальные круги из электрокорунда нормального 14А зернистости F60 (ГОСТ Р 52381-2005), которые имели размеры 400×40×127 мм. Оценка эффективности разработанной массы для изготовления абразивного инструмента осуществлялась по показателю шероховатости обработанной поверхности Ra , относительной площади прижогов ΔS и толщине поверхностного слоя с изменёнными физико-механическими свойствами ΔH .

Результаты сравнительных испытаний эффективности использования шлифовальных кругов разного состава приведены в табл. 3. Из их анализа следует, что введение в абразивную массу древесной золы позволяет уменьшить шероховатость обработанных поверхностей деталей на 10 – 15%, толщину поверхностного слоя с изменёнными физико-механическими свойствами до 20% и относительную площадь прижогов почти на 50 %. При этом дополнительные расходы на древесную золу, используемую в предлагаемой массе для изготовления абразивного инструмента, составляет не более 2 – 3% от стоимости изготовления шлифовального круга.

Таблица 3

Эксплуатационные показатели шлифовальных кругов в зависимости от наличия в них древесной золы

Обрабатываемый материал	Абразивная масса без древесной золы			Абразивная масса с древесной золой		
	Ra , мкм	ΔH , мм	ΔS , %	Ra , мкм	ΔH , мм	ΔS , %
Сталь 12Х2Н4А	1,32	0,38	16	1,19	0,31	9
Сталь 20ХН2МА	1,29	0,37	15	1,16	0,32	10
Сталь 30ХГСА	1,26	0,34	13	1,14	0,30	10
Сплав ХН62МВКЮ	1,41	0,41	17	1,22	0,34	11
Сплав ХН77ТЮР	1,43	0,44	19	1,24	0,35	13

Новые технологии импрегнирования шлифовальных кругов

Весьма перспективным направлением повышения эффективности шлифования поверхностей деталей машин является импрегнирование абразивного инструмента водными растворами ПАВ. Разработан ряд способов импрегнирования шлифовальных кругов на керамической связке, которые прошли производственные испытания и рекомендуются к широкому внедрению в машиностроительное производство [9; 10]. Для увеличения сроков хранения шлифовальных кругов и существенного повышения их эффективности предложен способ импрегнирования абразивного инструмента [9], включающий пропитку последнего в течение 10 – 15 мин водным раствором, содержащим 20 – 25 г диоксида хрома на литр воды, при комнатной температуре и периодическом встряхивании ёмкости с раствором и импрегнируемым инструментом для фиксации диоксида хрома в поровом пространстве между абразивными зёрнами. В дальнейшем импрегнированный абразивный инструмент подвергается конвективной сушке подаваемым вентилятором воздухом, нагретым до температуры 40 – 50°C. Сушка инструмента осуществляется в течение 1,5 – 2 часов при вращении инструмента с угловой скоростью 0,3 – 0,5 с⁻¹.

Исследованиями установлено, что диоксид хрома, с одной стороны, обладая высокими антисептическими свойствами, не позволяет бактериям развиваться в поровом пространстве, увеличивая тем самым срок хранения абразивного инструмента. С другой стороны, в процессе шлифования в зоне контакта абразивных зёрен с обрабатываемым материалом при температуре 550 – 650°C диоксид хрома разлагается с выделением йода, образующего на

обработанных поверхностях детали йодиды железа с низким коэффициентом трения. В результате температура в зоне шлифования может быть снижена более чем на 30%.

Испытаниям подвергались стандартные шлифовальные круги (ГОСТ 2424-83) без импрегнирования и прошедшие импрегнирование водным раствором диоксида хрома по предложенной технологии. На круглошлифовальном станке мод. 3М151 обрабатывались валики диаметром 30 мм и длиной 320 мм из сталей 35ХГСА, 20ХН2МА и сплавов ХН62МВКЮ, ХН77ТЮР. Шлифование осуществлялось при скорости резания $V_{кр} = 35$ м/с, скорости вращения валиков $V_{\omega} = 0,314$ м/с, продольной подаче $S_{пр} = 0,02$ м/с, подаче врезания $S_{вр} = 0,01$ мм/дв. ход и числе двойных ходов круга $m = 4$; в качестве смазочно-охлаждающей жидкости использовался 5-процентный раствор эмульсола Укринол-1. Оценка эффективности процесса шлифования осуществлялась по интенсивности изнашивания используемых кругов J , сроку хранения кругов до потери ими работоспособности L после отработки 5 часов, числу прижогов на обработанной поверхности $N_{пр}$ и их относительной площади ΔS . Результаты испытаний приведены в табл. 4, из анализа которой следует, что импрегнирование шлифовальных кругов водным раствором диоксида хрома позволяет продлить срок хранения бывших в эксплуатации абразивных инструментов практически в 8 раз, в 2 – 2,5 раза увеличить время непрерывной работы круга между переточками и в 1,7 – 2 раза уменьшить относительную площадь прижогов на обработанной поверхности детали при существенном снижении их числа.

Таблица 4

Результаты сравнительных испытаний импрегнированного диоксидом хрома и стандартного шлифовальных кругов

Обрабатываемый материал	Стандартный круг				Импрегнированный круг			
	J , мг/ч	L , лет	$N_{пр}$, шт.	ΔS , %	J , мг/ч	L , лет	$N_{пр}$, шт.	ΔS , %
Сталь 35ХГСА	5,4	0,5	14	25	2,6	4,0	10	12
Сталь 20ХН2МА	5,2	0,5	16	28	2,4	4,0	10	11
Сплав ХН62МВКЮ	8,2	0,4	21	32	3,4	3,5	12	18
Сплав ХН77ТЮР	8,5	0,4	22	34	3,6	3,5	12	20

Однако эффективность импрегнирования шлифовальных кругов существенно повышается, если помещённый в водный раствор ПАВ абразивный инструмент подвергать воздействию ультразвуковых колебаний частотой 16 – 18 кГц и амплитудой 2 – 3 мм в течение 5 – 8 мин [10]. В качестве источника колебаний может быть использован выпускаемый промышленностью генератор серии УЗГ-13-01/22.

Как показали лабораторные и производственные испытания, способ импрегнирования абразивного инструмента с воздействием на него ультразвуковых колеба-

ний в 2,5 – 3 раза сокращает время пропитки инструмента водным раствором ПАВ и в 4 раза - время сушки импрегнированного инструмента при практически неизменных показателях интенсивности изнашивания, шероховатости обработанной поверхности и относительной площади прижогов. При этом на 60 – 70% сокращаются связанные с импрегнированием абразивных инструментов расходы на электроэнергию и более чем в 2 раза снижаются общие затраты на импрегнирование одного шлифовального круга.

Заключение

Приведённый научный обзор разработанных направлений повышения эффективности шлифования поверхностей деталей машин показал целесообразность применения представленных конструкций и составов абразивных инструментов при обработке высоколегированных хромоникелевых сталей и сплавов. Введение в состав абразивной массы кристаллического йода или дийодида хрома позволяет существенно уменьшить шероховатость обработанных поверхностей деталей, величину технологических остаточных напряжений

в поверхностном слое, а также число и суммарную площадь прижогов. В результате становится возможным повысить в несколько раз работоспособность деталей, эксплуатируемых в экстремальных условиях. При этом экономический эффект от внедрения представленных в обзоре направлений совершенствования процессов шлифования поверхностей деталей достигается также за счёт увеличения удельного съёма металла абразивным инструментом и повышения его стойкости.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Пат. на полез. модель 153430 РФ. Составной абразивный круг / В.И. Бутенко. - Бюл. № 20, 2015.
2. Пат. 2319600 РФ. Шлифовальный круг / В.И. Бутенко, Д.И. Диденко. - Бюл. № 8, 2008.
3. Пат. на полез. модель 100744 РФ. Шлифовальный круг / В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова, Р.Г. Шаповалов, Е.С. Фоменко. - Бюл. № 36, 2010.
4. Пат. 2201865 РФ. Шлифовальный инструмент / В.И. Бутенко, Д.И. Диденко, Д.С. Дуров. - Бюл. № 10, 2003.
5. Пат. 2395381 РФ. Шлифовальный инструмент / В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Л.В. Гусакова. - Бюл. № 21, 2010.

6. Пат. 2155668 РФ. Масса для изготовления абразивного инструмента / В.И. Бутенко, Д.И. Диденко. - Бюл. № 25, 2000.
7. Пат. 2392109 РФ. Масса для изготовления абразивного инструмента / В.И. Бутенко, Д.С. Дуров, Л.В. Гусакова, Е.С. Фоменко. - Бюл. № 17, 2010.
8. Пат. 2574183 РФ. Масса для изготовления абразивного инструмента / В.И. Бутенко. - Бюл. № 4, 2016.
9. Пат. 2532660 РФ. Способ импрегнирования абразивного инструмента / В.И. Бутенко, Л.В. Гусакова, А.Д. Кулинский. - Бюл. № 31, 2014.
10. Пат. 2574182 РФ. Способ импрегнирования абразивных инструментов / В.И. Бутенко. - Бюл. № 4, 2016.

1. Useful Model Patent 153430 RF. Abrasive Compound Disk / V.I. Butenko. – Bull. № 20, 2015.
2. Pat. 2319600 RF. Abrasive Disk / V.I. Butenko, D.I. Didenko. - Bull. № 8, 2008.

3. Useful Model Patent 100744 RF. Abrasive Disk / V.I. Butenko, L.V. Gusakova, R.G. Shapovalov, E.S. Fomenko. - Bull. № 36, 2010.
4. Pat. 2201865 RF. Polishing Tool/ V.I. Butenko, D.I. Didenko, D.S. Durov. – Bull. № 10, 2003.

5. Pat. 2395381 RF. Polishing Tool / V.I. Butenko, D.S. Durov, L.V. Gusakova. - Bull. № 21, 2010.
6. Pat. 2155668 RF. Mass for Polishing Tool Manufacturing / V.I. Butenko, D.I. Didenko. - Bull. № 25, 2000.
7. Pat. 2392109 RF. Mass for Polishing Tool Manufacturing / V.I. Butenko, D.S. Durov, L.V. Gusakova, E.S. Fomenko. - Bull. № 17, 2010.
8. Pat. 2574183 RF. Mass for Polishing Tool Manufacturing / V.I. Butenko. – Bull. № 4, 2016.
9. Pat. 2532660 RF. Method for Polishing Tool Impregnation / V.I. Butenko, L.V. Gusakova, A.D. Kulinsky. - Bull. № 31, 2014.
10. Pat. 2574182 RF. Method for Polishing Tools Impregnation / V.I. Butenko. - Bull. № 4, 2016.

Статья поступила в редколлегию 4.04.2016.

Рецензент: д.т.н., профессор Ростовского государственного университета путей сообщения Чукарин А.Н.

Сведения об авторах:

Бутенко Виктор Иванович, д. т. н., профессор кафедры «Механика» Института радиотехнических систем и управления Южного федерального университета, г. Ростов-на-Дону: e-mail: mkk@egf.tsure.ru.

Гусакова Лиана Валерьевна, к. т. н., доцент кафедры «Основы проектирования машин» Ростовского государственного университета путей сообщения, e-mail: GusakovaLV@mail.ru.

Кулинский Алексей Данилович, к. т. н., доцент, генеральный директор ОАО «Ейский станкостроительный завод», тел.: 8(861-32)-3-06-13.

Butenko Viktor Ivanovich, D.Eng., Prof. of the Dep. “Mechanics” Institute of Radio-Technical Systems and Management of the Southern Federal University, Rostov-upon-Don, e-mail: mkk@egf.tsure.ru.

Gusakova Liana Valerievna, Can.Eng., Assistant Prof. of the Dep. “Machine Design Fundamentals Rostov State University of Communications, e-mail: GusakovaLV@mail.ru.

Kulinsky Alexey Danilovich, Can.Eng., Director-General of Co. “Yeisk Machine-tool Plant”, Phone: 8(861-32)-3-06-13.