

ЭФФЕКТИВНОСТЬ ШЛИФОВАНИЯ МИКРОПОРИСТЫХ ПОКРЫТИЙ С ПРИМЕНЕНИЕМ СОЖ

*Н.С. АЛЕКСЕЕВ, канд. техн. наук, доцент
В.А. КАПОРИН, инженер
С.В. ИВАНОВ, инженер
(РИИ АлтГТУ, г. Рубцовск)*

Поступила 11 марта 2015
Рецензирование 11 апреля 2015
Принята к печати 4 мая 2015

Алексеев Н.С. – 658207, г. Рубцовск, ул. Тракторная, 2/6,
Рубцовский индустриальный институт АлтГТУ,
e-mail: tm@rubinst.ru

Износостойкие микропористые покрытия на никелевой и железной основе относятся к группе трудно-обрабатываемых материалов, абразивная обработка которых сопряжена со значительными трудностями. Основные причины плохой обрабатываемости этих покрытий шлифованием кроются в быстрой потере режущих свойств абразивного круга вследствие его износа, затупления и активного налипания частиц покрытия на рабочую поверхность инструмента. В статье представлены результаты исследований режущей способности кругов из электрокорунда и карбида кремния при шлифовании микропористых покрытий без применения смазочно-охлаждающей жидкости (всухую) с использованием водопроводной воды и масляной смазочно-охлаждающей жидкости. Исследован износ абразивных зерен и характер их взаимодействия с обрабатываемым материалом в зависимости от состава смазочно-охлаждающей жидкости. Предлагаются пути повышения эффективности процесса шлифования микропористых покрытий за счет применения химически активной среды, способной уменьшить взаимодействие покрытий с абразивными материалами. Испытаны новые смазочно-охлаждающие жидкости с химически активными веществами, пассивирующими поверхность микропористых покрытий на операциях круглого наружного шлифования.

Результатом проведенных исследований является предложение о целесообразности замены масляных составов смазочно-охлаждающих жидкостей на водные составы, позволяющие увеличить производительность обработки и стойкость кругов из электрокорунда и карбида кремния при одновременном снижении высоты микронеровностей по сравнению с масляными составами. Комплексная оценка результатов испытаний по рейтинговому методу показала, что наибольшей эффективностью при круглом наружном шлифовании микропористых покрытий на никелевой и железной основе обладает водный раствор эмульсола «ЭПМ – 1ш».

Ключевые слова: плазменные покрытия, абразивная обработка, смазочно-охлаждающая жидкость, шлифовальные круги, силы резания, износ инструмента, шероховатость поверхности.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-2-6-16

Введение

Процесс шлифования износостойких микропористых покрытий (далее покрытий) деталей сопровождается интенсивным физико-химическим взаимодействием обрабатываемого материала с абразивными зёрнами (АЗ), засаливанием и затуплением рабочей поверхности шлифовального круга (ШК), повышением сил резания и

контактных температур [1]. В результате возрастает шероховатость обработанной поверхности, на ней появляются прижоги и огранка.

Для восстановления режущей способности ШК используют правку. Глубина проникновения шлама в пространство между АЗ и в поры ШК достигает значительных величин (до 0,3 мм) [2, 3]. Если не предпринимать мер для снижения интенсивности засаливания кругов в процессе

шлифования, то при каждой правке придется удалять значительный слой абразива и связки. Соответственно резко возрастает и расход ШК.

Режущая способность ШК стабилизируется при его непрерывной правке [4, 5]. Наибольшее распространение этот способ правки нашел при операциях глубинного шлифования заготовок из труднообрабатываемых материалов. Недостатками шлифования с непрерывной правкой круга алмазным роликом является повышенный расход абразивного инструмента (АИ) и повышенный уровень вибраций [2].

Известен прием, когда для очистки засаленного ШК на его рабочую поверхность направляют струю порошка или абразивную суспензию под давлением [6]. В этих случаях неизбежен большой расход абразивного порошка и повышенный износ средств технологического оснащения.

Интенсивность засаливания ШК можно уменьшить путем подачи в зону шлифования смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ), содержащей микропорошок окиси алюминия [7].

Для удаления с АЗ налипов металла заготовки используют механическую очистку рабочей поверхности ШК, которую осуществляют периодически несколько раз между правками. Накоплен определенный опыт механической очистки кругов из сверхтвердых материалов брусками из пемзы, песчаника, известняка и других неметаллических материалов [8]. Для очистки ШК из традиционных абразивных материалов используют эластомер и абразивные бруски [9, 10]. Однако эластомером невозможно удалить налипы металла, удерживаемые на АЗ силами адгезионного взаимодействия. Недостатками механической очистки абразивными брусками являются трудность удаления отходов шлифования из пространства между АЗ и неодинаковые условия очистки зерен, находящихся на различных уровнях от условной наружной поверхности круга.

Известны попытки использования магнитного и электрического полей для очистки [11]. Однако силы, с которыми эти поля воздействуют на отходы шлифования, находящиеся на рабочей поверхности ШК, не позволяют удалять с поверхности круга частицы, имеющие прочные связи с АЗ.

Использовали и химическое воздействие на рабочую поверхность засаленного круга с целью растворения налипших частиц. Так, в работе [12] при алмазной обработке рекомендуют применять слабый раствор азотной кислоты, в котором выдерживают круги в течение времени, достаточного для удаления отходов шлифования. После химического воздействия круги подвергают нейтрализации с целью предотвращения дальнейшей коррозии металлической связки. Как видим, химическое воздействие связано со значительными затратами времени на его осуществление.

Твердые и пластичные смазочные материалы (ТСМ и ПСМ), используемые на операциях шлифования, транспортируются в зону обработки шлифовальным кругом или заготовкой и вступают в активное химическое взаимодействие с ювенильными поверхностями, образующимися в этой зоне [13]. При этом обеспечивается хорошее смазочное, демпфирующее и диспергирующее действие этих смазочно-охлаждающих технологических средств. Однако охлаждающее и моющее действия ТСМ и ПСМ весьма ограничены.

Реальным средством повышения качества и производительности обработки покрытий шлифованием является применение СОЖ. Рекомендации по выбору состава СОЖ для операций шлифования заготовок из различных однородных (монолитных) материалов, в том числе труднообрабатываемых, содержатся в работах [14–16]. Однако систематизированные рекомендации по выбору СОЖ для шлифования конкретных покрытий, по существу, отсутствуют. Имеются лишь самые общие сведения о применении СОЖ для шлифования покрытий без ранжирования их по технологической эффективности [17, 18].

Цель настоящего исследования заключается в определении эффективного вида СОЖ для предварительного круглого наружного шлифования покрытий. Для этого в Рубцовском индустриальном институте совместно с ООО «Научные исследования и химические продукты (НИИХП)» (г. Новосибирск) были проведены сравнительные эксперименты с использованием различных составов смазочно-охлаждающих жидкостей.

Методика экспериментального исследования

На первом этапе исследований испытывались серийные СОЖ с различным охлаждающим и смазывающим действием: углеводородная – масло индустриальное И-20А (ГОСТ20799-88) ООО «ЛУКОЙЛ-Пермнефтеоргсинтез» и две марки СОЖ производства ООО «НИИХП» [19]: синтетическая – водный раствор концентрата ПОА-2м ТУ0258-006-11850138-02 и эмульсионная – водный раствор эмульсола ЭПМ-1ш ТУ0258-004-11850138-01.

Масляные СОЖ обладают высоким экранирующим действием, уменьшают интенсивность схватывания материала с рабочей поверхностью режущих и давящих зерен, в результате чего снижаются силы трения [12].

Продукты ПОА-2м и ЭПМ-1ш – это новые марки, рекомендуемые для замены отечественных СОЖ различной природы (автокатов, велосов, эколов и др.) и импортных, таких как Ratak, Mobilent, Blasocut, Cimcool и др. Концентрат ПОА-2м состоит из водорастворимого полимера (полиэтиленоксида) и различных добавок (антикоррозионной, антибактериальной и специальной), а также из компонентов, повышающих его смазывающие свойства [20]. Водорастворимый полимер полиэтиленоксид обладает уникальным свойством – при повышении температуры он выпадает из раствора (теряет растворимость в воде). Известно, что в процессе шлифования происходит локальное повышение температуры в контакте круг-деталь, способствующее выпадению полимера из раствора в зоне обработки и образованию молекулярного защитного слоя между поверхностью круга и детали. А это, в свою очередь, уменьшает износ инструмента, причем с ростом температуры плотность молекулярного слоя увеличивается [20].

Эмульсол «ЭПМ-1ш» содержит: сольвент рафината минерального масла, щелочные мыла натуральных жирных кислот, амиды жирных кислот, алкилполигликольэфир, нефтяные сульфонаты натрия, метилен-бис-тетрагидрооксазин, бутилдигликол.

Так как износ зерен и характер взаимодействия абразива с обрабатываемым материалом зависит от СОЖ, то вначале проводилась серия экспериментов по шлифованию покрытий всу-

хую (без СОЖ), затем в среде, обладающей в основном охлаждающими свойствами (в водопроводной воде), а также в химически активной среде с добавлением в воду фосфата калия (K_3PO_4), который известен как основной компонент специальной «титановой» СОЖ [21].

В итоге для исследований влияния среды на обрабатываемость плазменных покрытий были подготовлены следующие составы:

состав № 1 – шлифование всухую (без СОЖ);

состав № 2 – водопроводная вода;

состав № 3 – 4 %-й водный раствор фосфата калия;

состав № 4 – масло индустриальное И-20;

состав № 5 – 3 %-й водный раствор концентрата «ПОА-2м»;

состав № 6 – 3 %-й водный раствор эмульсола «ЭПМ-1ш».

Концентрацию серийных СОЖ выбирали в соответствии с рекомендациями разработчика. Испытания проводились на экспериментальной установке на базе круглошлифовального полуавтомата мод. 3М152МВФ2 с ЧПУ по схеме круглого наружного продольного шлифования с выхаживанием по методике [22]. Шлифовали образцы-втулки из стали 45 диаметром $60 \pm 0,1$ мм и высотой 70 мм с плазменно-напыленными покрытиями.

Обработке подвергали широко распространенные плазменные покрытия на никелевой (покрытие ПВ) и железной (покрытие ПЖ) основе [22]. Обработывали покрытия серийными кругами с характеристиками 24AF46N6V и 64CF46N6V формы 1 $600 \times 25 \times 305$ ГОСТ P52781–2007. Режимы шлифования: скорость резания $v_r = 35$ м/с, скорость продольной подачи $s_{\text{прод}} = 425$ мм/мин, скорость вращения детали $v_d = 19$ м/мин и глубина резания $t = 0,01$ мм/дв. ход.

Для оценки технологической эффективности СОЖ использовали следующие критерии: состояние рабочей поверхности круга и отдельных зерен; период стойкости T , мин абразивного круга, определяемый по появлению следов дробления или прижогов на шлифованной поверхности покрытий; коэффициент шлифования по объему $K_{\text{ш}}$, $\text{мм}^3/\text{мм}^3$; коэффициент режущей способности абразивного круга K_p , $\text{мм}^3/\text{мин} \cdot \text{Н}$; удельную мощность шлифования K_{Nv} , $\text{Вт} \cdot \text{мин}/\text{мм}^3$; комплексный критерий K_m , $\text{мм}^3/\text{мин} \cdot \text{Вт} \cdot \text{мкм}$; параметр шероховатости шлифованных образ-

цов Ra , мкм. Кроме того, при шлифовании покрытия ПЖ контролировали интенсивность засаливания C_3 , мг/см²·мин, абразивных кругов.

Результаты экспериментальных исследований и обсуждение

Результаты испытаний представленных СОЖ при круглом наружном продольном шлифовании покрытий на первом этапе исследований показаны в табл. 1. Из данных этой таблицы видно, что при шлифовании всухую (состав №1) покрытий ПВ и ПЖ кругами из 24А и 64С были получены минимальные значения периода стойкости АИ. Низкая технологическая эффективность состава № 1 объясняется существующей картиной протекания износа этих кругов, полученной по результатам наблюдений за их рабочей поверхностью и отдельными зернами, а также анализа микрофотографий.

При обработке всухую покрытия ПВ кругом из 24А в начальный период шлифования на зернах образуется достаточно ровная площадка износа без заметных разрушений, покрытая налипшим металлом. С течением времени на этой площадке появляются микротрещины, что в дальнейшем приводит к сколам и вырывам отдельных микрообъемов зерна. Шлифование в таких условиях осуществляется с наибольшими энергозатратами и максимальной силовой напряженностью (см. табл. 1).

При шлифовании всухую покрытия ПВ кругом из 64С происходят интенсивное налипание металла на вершины зерен и достаточно большой объемный износ этого инструмента, о чем свидетельствуют минимальные значения стойкости $T = 0,67$ мин и коэффициента шлифования $K_{ш} = 0,53$ мм³/мм³. Образование больших налипов на зернах карбида кремния приводит к тому, что практически происходит трение налипших частиц покрытия по покрытию. Увеличение при этом силы трения [23] приводит к интенсивному микровыкрашиванию АЗ, о чем свидетельствует большое количество зерен и даже целых их блоков, обнаруженных в отходах шлифования.

Микровыкрашивание и разрушение АЗ, вырывание их из связки приводят к постоянному обновлению режущей поверхности ШК с образованием нового ряда работоспособных ре-

жущих кромок. Поэтому шлифование всухую покрытия ПВ кругом из 64С сопровождается наименьшими энергозатратами и минимальной силовой напряженностью (см. табл. 1).

При шлифовании всухую покрытия ПЖ кругами из 24А и 64С наблюдается наибольшая интенсивность их засаливания (табл. 1). Однако при этом значение C_3 для круга из 64С почти в 10 раз меньше по сравнению с кругом из 24А, что объясняется более высокой адгезионно-химической активностью последнего по отношению к покрытию ПЖ. Высокая интенсивность засаливания кругов из 24А и 64С при шлифовании всухую покрытия ПЖ вызывает наибольшие энергозатраты и минимальные значения показателя K_m и коэффициентов $K_{ш}$ и K_p .

Применение состава №1 позволяет получить малые значения параметра Ra шероховатости шлифованных поверхностей при обработке кругами из 24А и 64С как покрытия ПВ, так и покрытия ПЖ. Низкую шероховатость обработанных покрытий при их шлифовании всухую можно объяснить интенсивными адгезионными процессами. С увеличением степени засаливания режущих кромок АЗ в контакте круг-покрытие начинают усиливаться процессы деформирования металла. Абразивные зерна с налипшим металлом на режущих кромках начинают выступать в роли «микророликов», деформируя и выглаживая обработанную поверхность, что, в свою очередь, вызывает возрастание времени выхаживания. Чем выше интенсивность засаливания ШК, тем продолжительнее время выхаживания и ниже шероховатость обработанной поверхности.

При охлаждении водой (состав № 2) интенсивность налипания металла на вершины зерен по сравнению со шлифованием всухую заметно уменьшилась. Так, например, при шлифовании покрытия ПЖ кругами из 24А и 64С с использованием состава № 2 интенсивность засаливания этих инструментов снизилась соответственно на 18 и 15 % (см. табл. 1). В частности, на зернах карбида кремния шапкообразные налипы, характерные при шлифовании всухую покрытия ПВ, не обнаружены. Очевидно, действие воды заключается в механическом удалении образовавшегося налипа. Анализ отходов шлифования показал, что по сравнению со шлифованием всухую при охлаждении водой значительно умень-

шились количество и размеры налипших частиц в шлеме, что свидетельствует о том, что вода в некоторой степени препятствует адгезии частиц покрытия к абразивному зерну.

На электрокорундовых зернах при охлаждении водой налип выглядит иначе: он стал настолько тонким, что сквозь пленку металла хорошо просматривается рельеф площадки износа, покрытой микросколами и частицами покрытия. Шлифование кругом из 24А с использованием в качестве СОЖ водопроводной воды повышает период стойкости АИ и коэффициент шлифования в 1,6 и 1,2 раза соответственно при обработке покрытия ПВ и в 1,2 и 1,1 раза при обработке покрытия ПЖ. Применение состава № 2 характеризуется меньшей силовой напряженностью и энергозатратами на шлифование по сравнению с обработкой всухую (см. табл. 1).

Уменьшение интенсивности засаливания кругов, повышение периода их стойкости и коэффициента шлифования свидетельствуют об улучшении процесса шлифования при охлаждении водой по сравнению со шлифованием всухую.

Добавление в водопроводную воду присадки K_3PO_4 (состав №3) существенно не изменяет охлаждающих свойств среды, но значительно увеличивает ее противoadгезионную способность. Присадка, вступая во взаимодействие с ювенильными поверхностями покрытий, образует в зоне резания изолирующую пленку, уменьшая возможность непосредственного контакта абразивного материала с обрабатываемым покрытием, вследствие чего повышается период стойкости кругов и уменьшается их износ, что подтверждается ростом коэффициента шлифования. Так, например, при шлифовании кругом из 24А покрытий ПВ и ПЖ с использованием состава № 3 достигался коэффициент шлифования $K_{ш} = 2,4$ и $5,5 \text{ мм}^3/\text{мм}^3$ соответственно против $K_{ш} = 2,2$ и $5,3 \text{ мм}^3/\text{мм}^3$, полученный при шлифовании с использованием водопроводной воды. Применение состава № 3 обеспечивает также снижение энергозатрат на шлифование и рост коэффициента K_p (см. табл. 1) при обработке обоих типов рассматриваемых покрытий кругами из 24А и 64С.

Наиболее осязаемое действие присадка оказывает на зерна электрокорунда при шлифовании покрытия ПВ, почти полностью предотвращая налипание на них металла, и в меньшей степе-

ни на зерна карбида кремния при шлифовании этого же покрытия, что можно объяснить различной адгезионной и химической активностью указанных абразивных материалов к покрытию ПВ. Электрокорунд является более инертным абразивом по отношению к покрытию ПВ, поэтому действие химической присадки оказывается достаточным для нейтрализации взаимодействия материала покрытия с этим абразивом. Карбид кремния в этом отношении значительно уступает электрокорунду, поэтому используемая среда не в состоянии в должной степени воспрепятствовать процессам, протекающим в зоне контакта карбид кремния – покрытие.

При использовании масляной СОЖ (состав № 4) шлифование кругами из 24А и 64С осуществляется с наименьшими энергозатратами и силовой напряженностью как при обработке покрытия ПВ, так и покрытия ПЖ. Однако следует отметить, что этот результат получен при существенно меньших значениях периода стойкости, что, по нашему мнению, объясняется недостаточным вымыванием стружки и выкрошившихся абразивных частиц с поверхности заготовки и инструмента, вследствие чего происходит засаливание зерен инструмента и соответственно потеря их режущей способности. При подаче в зону шлифования масляной СОЖ была зафиксирована низкая интенсивность изнашивания абразивных кругов, о чем свидетельствуют высокие значения $K_{ш}$ для всех сочетаний абразивный круг – покрытие. Применение состава №4 характеризуется высоким значением параметра Ra и малой величиной коэффициента режущей способности K_p (см. табл. 1).

При использовании масляной СОЖ проявились и ее серьезные недостатки: в процессе шлифования вокруг рабочей зоны создавался масляный туман, который вреден для дыхательных путей и пожароопасен; наблюдалось также дымление масляной СОЖ.

Наилучшие результаты по технологической эффективности имеют составы № 5 и 6, позволяющие получить максимальные периоды стойкости кругов: $T = 7,6$ и $6,9$ мин соответственно в случае шлифования покрытия ПВ кругом из 24А и $T = 4,4$ и $3,7$ мин при обработке этого же покрытия кругом из 64С (см. табл.1). При шлифовании покрытия ПЖ с подачей в зону резания продуктов ПОА-2м и ЭПМ-1ш периоды

Таблица 1

Усредненные показатели продольного шлифования плазменных покрытий с использованием различных СОЖ на первом этапе исследований

Составы СОЖ	Т, мин	Составляющие силы шлифования, Н		Ra, мкм	$K_{ш}^3 / \text{мм}^3$	$\frac{K_{Np}}{\text{Вт} \cdot \text{мин}}$ мм^3	$\frac{K_{Pz}}{\text{мм}^3}$ $\text{мин} \cdot \text{Н}$	$\frac{K_{Mz}}{\text{мм}^3}$ $\text{мин} \cdot \text{Вт} \cdot \text{мкм}$	$C^3 / \text{см}^2$ мг/см^2
		P_y	P_z						
<i>Результаты, полученные при шлифовании покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе кругом 24AF46N6V</i>									
№ 1	3,3/9,3	161/132	85/62	0,17/0,24	1,8/5,1	81,2/57,6	2,2/2,8	0,075/0,074	- / 6,7 · 10 ⁻³
№ 2	5,3/11	134/117	76/54	0,21/0,25	2,2/5,3	80,4/49,6	2,4/3,2	0,060/0,080	- / 5,7 · 10 ⁻³
№ 3	5,8/11,9	131/118	74/54	0,16/0,25	2,4/5,5	78,3/42,8	2,6/3,4	0,081/0,079	- / 5,3 · 10 ⁻³
№ 4	4,1/7,4	112/115	30/28	0,31/0,31	4,0/5,8	37,7/31,8	2,5/2,6	0,085/0,102	- / 5,1 · 10 ⁻³
№ 5	7,6/16	126/111	68/55	0,17/0,24	3,7/6,9	65,7/51,5	2,8/3,2	0,088/0,083	- / 4,3 · 10 ⁻³
№ 6	6,9/14	108/112	61/49	0,15/0,21	4,2/7,2	59,1/45,5	3,3/3,3	0,117/0,103	- / 4,9 · 10 ⁻³
<i>Результаты, полученные при шлифовании покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе кругом 64CF46N6V</i>									
№ 1	0,67/36	142/116	51/56	0,10/0,24	0,53/30,4	48,3/52,6	2,5/3,1	0,146/0,080	- / 0,61 · 10 ⁻³
№ 2	3,0/47	153/112	111/51	0,16/0,30	1,8/37,4	133,0/46,8	1,9/3,3	0,048/0,070	- / 0,53 · 10 ⁻³
№ 3	3,1/48	155/109	113/51	0,17/0,35	2,0/41,4	126,3/49,9	2,0/3,2	0,046/0,057	- / 0,51 · 10 ⁻³
№ 4	2,1/50	153/112	61/30	0,22/0,39	2,3/62,0	69,5/28,9	2,0/3,2	0,065/0,088	- / 0,49 · 10 ⁻³
№ 5	4,4/59	157/111	95/49	0,16/0,31	2,2/32,4	104,5/47,1	2,0/3,2	0,058/0,068	- / 0,47 · 10 ⁻³
№ 6	3,7/56	148/103	96/40	0,13/0,31	2,5/35,6	108,2/33,5	2,1/4,0	0,071/0,096	- / 0,46 · 10 ⁻³

стойкости АИ возрастали более чем в два раза при шлифовании кругом из 24А и более чем в 13 раз при обработке кругом из 64С.

Как видно из приведенных данных, состав № 5 по достигаемой величине периода стойкости имеет некоторое преимущество по сравнению с составом № 6. Эффект повышения стойкости круга при использовании продукта ПОА-2м можно объяснить локальным выпадением полимера из раствора в зоне обработки и образованием молекулярного защитного слоя между поверхностью круга и детали [20].

Однако подача в зону шлифования состава № 6 обеспечивает меньшую интенсивность изнашивания рабочей поверхности абразивных кругов, о чем свидетельствуют большие значения коэффициента шлифования (см. табл. 1). При оценке технологической эффективности по коэффициентам K_p и K_m также выявляются преимущества состава № 6. По параметру Ra и интенсивности засаливания кругов C_3 составы № 5 и 6 обеспечивали близкие значения.

Очевидно, для практических целей оценка СОЖ по одному критерию неприемлема, а по нескольким критериям одновременно затруднен выбор рационального состава жидкости. Затруднения можно избежать, если использовать рей-

тинговый метод оценки результатов испытаний [24]. В табл. 2 представлены результаты оценки испытаний при ранжировании составов СОЖ по важнейшим критериям: периоду T стойкости круга, коэффициентам шлифования по объему $K_{ш}$ и комплексному критерию K_m , характеризующим силовую напряженность процесса, производительность и шероховатость шлифованных поверхностей. Число баллов, характеризующее каждый критерий, равно единице для состава, имеющего по данному критерию наименьшую технологическую эффективность и максимальное значение для СОЖ, показавшей лучшие результаты.

Из табл. 2 видно, что при шлифовании покрытия ПВ кругом из 24А к лучшей СОЖ относится эмульсол ЭПМ-1ш (17 баллов), а при обработке этим же кругом покрытия ПЖ наибольшую технологическую эффективность показали составы № 5 и 6 (16 баллов).

При шлифовании покрытия ПВ кругом из 64С (см. табл. 2) максимальное число баллов имеет состав № 6 (16 баллов), а шлифование покрытия ПЖ этим же инструментом наиболее эффективно при использовании состава № 4 (15 баллов).

Таблица 2

Рейтинговая оценка различных СОЖ при шлифовании плазменных покрытий

Составы СОЖ	Число баллов, характеризующих критерии			Суммарное число баллов
	Период стойкости K_T	Износ круга $K_{кш}$	Силовая напряженность и качество $K_{км}$	
<i>Результаты, полученные для покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе при шлифовании кругом 24AF46N6V</i>				
№ 1	1/2	1/2	2/1	4/5
№ 2	3/3	2/4	1/3	6/10
№ 3	4/4	3/2	3/2	10/8
№ 4	2/1	5/2	4/5	11/8
№ 5	6/6	4/6	5/4	15/16
№ 6	5/5	6/5	6/6	17/16
<i>Результаты, полученные для покрытий на никелевой (числитель) и железной (знаменатель) основе при шлифовании кругом 64CF46N6V</i>				
№ 1	1/1	1/1	6/4	8/6
№ 2	3/2	2/4	2/3	7/9
№ 3	4/3	3/5	1/1	8/9
№ 4	2/4	5/6	4/5	11/15
№ 5	6/6	4/2	3/2	13/10
№ 6	5/5	6/3	5/6	16/14

Ранговый критерий оценки можно использовать также и для выбора универсальных СОЖ, предназначенных для шлифования плазменных покрытий различных типов кругами из электрокорундов и карбидов кремния (табл. 3).

Видно, что для шлифования плазменных покрытий на никелевой основе кругами из 24А и

64С наиболее эффективным оказался состав № 6 (33 балла), затем состав № 5 (28) и состав № 4 (22). При шлифовании плазменных покрытий на железной основе лучшие результаты также у состава №6 (30 баллов), далее состав № 5 (26) и состав № 4 (23).

Таблица 3

Ранговый критерий оценки для выбора универсальной СОЖ

Составы СОЖ	Суммарное число баллов при обработке плазменных покрытий		
	На никелевой основе	На железной основе	Из обоих испытанных покрытий кругами из 24А и 64С
№1	12	11	23
№2	13	19	32
№3	18	17	35
№4	22	23	45
№5	28	26	54
№6	33	30	63

Выводы

1. Комплексная оценка результатов испытаний по рейтинговому методу показала, что обработка всухую с использованием водопроводной воды, 4 %-го водного раствора фосфата калия, а также масла индустриального не обеспечивает достаточной технологической эффективности при круглом наружном шлифовании с продольной подачей микропористых покрытий на никелевой и железной основе.

2. Наиболее эффективной СОЖ для шлифования микропористых покрытий на никелевой и железной основе кругами из электрокорундов и карбидов кремния в рассмотренных условиях обработки является 3 %-й водный раствор эмульсола «ЭПМ-1ш». Хорошие результаты получены также при использовании 3 %-го водного раствора концентрата ПОА-2м.

Список литературы

1. Черноиванов В.И., Лялякин В.П. Организация и технология восстановления деталей машин. – 2-е изд., доп. и перераб. – М.: ГосНИТИ, 2003. – 488 с.
2. Киселев Е.С. Теплофизика правки шлифовальных кругов с применением СОЖ. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2001. – 184 с.
3. Худобин Л.В. Пути совершенствования технологии шлифования. – Саратов: Приволжское книжное издательство, 1969. – 213 с.

4. Глубинное шлифование деталей из труднообрабатываемых материалов / С.С. Силин, В.А. Хрульков, А.В. Лобанов, Н.С. Рыкунов. – М.: Машиностроение, 1984. – 64 с.

5. Friemuth Th., Lierse T. Electro-contact discharge dressing (ECDD) of diamond wheels // IDR. Industrial diamond review. – 1998. – Vol. 58, N 577. – P. 57–61.

6. Hukuzo J., Hiroshi K. Method for dressing a grinding wheel // Numazu kogyo koto senmon gakko kenkyu hokoku = Numazu College of Technology Research Annual. – 1994. – N 39. – P. 81–92.

7. Yamaguchi K., Horaguchi I., Sato J. Grinding with directionally aligned SiC whisker wheel-loading-free grinding // Precision Engineering. – 1998. – Vol. 22, iss. 2. – P. 59–65. – doi: 10.1016/S0141-6359(97)00087-1.

8. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. – 263 с. – (Библиотека технолога).

9. Кащеев В.Н. Процессы в зоне фрикционного контакта металлов. – М.: Машиностроение, 1978. – 214 с.

10. Kozo A., Yasunaga N. In-process dressing of resin bonded diamond wheel // Kikai to Kody = Tool Engineering. – 1991. – Vol. 35, N 12. – P. 49–54.

11. Худобин Л.В., Унянин А.Н. Минимизация засаливания шлифовальных кругов / под ред. Л.В. Худобина. – Ульяновск: Изд-во УлГТУ, 2007. – 298 с.

12. Кащук В.А., Верещагин А.Б. Справочник шлифовщика. – М.: Машиностроение, 1988. – 480 с.

13. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием:

справочник / под общ. ред. Л.В. Худобина. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.

14. Носенко В.А. Шлифование адгезионно-активных металлов. – М.: Машиностроение, 2000. – 262 с.

15. Правиков Ю.М. Повышение эффективности операций шлифования путем снижения засаливания рабочей поверхности шлифовального круга (на примере шлифования заготовок из алюминиевых сплавов): дис. ... канд. техн. наук: 05.02.08 / Ульяновский политехнический институт. – Ульяновск, 1982. – 244 с.

16. Худобин Л.В., Белов М.А. Шлифование заготовок из коррозионно-стойких сталей с применением СОЖ. – Саратов: Изд-во Сарат. ун-та, 1989. – 148 с.

17. Казаков С.Н. Выбор СОЖ и метода правки абразивного круга для врезного предварительного шлифования валов с плазменными покрытиями // Машиностроение: республиканский межведомственный сборник научных трудов / Белорусский национальный технический университет. – Минск: Технопринт, 1980. – № 14. – С. 58–62.

18. Совершенствование процесса шлифования износостойких покрытий / П.И. Ящерицын, С.Н. Казаков, С.И. Миткевич, А.И. Белицкая // Алмазная и абразивная обработка деталей машин и инструмента: межвузовский сборник научных трудов / Пензенский политехнический институт. – Пенза: Изд-во ППИ, 1986. – Вып. 14. – С. 3–8.

19. Выбор смазочно-охлаждающей жидкости для шлифования плазменных покрытий на железной основе / Р.Ф. Мустафаев, Н.С. Алексеев, В.А. Капорин,

А.В. Рязанов, С.В. Иванов // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 4. – С. 28–30.

20. Смагин Г.И., Яковлев Н.Д., Мустафаев Р.Ф. Эффективность новой смазывающе-охлаждающей жидкости на основе водорастворимого полимера // Оборудование и технология машиностроительного производства: межвузовский сборник научных трудов. – Новосибирск: Изд-во НГТУ, 1996. – Вып. 2. – С. 55–60.

21. Носенко В.А., Саютин Г.А. Роль охлаждающих свойств среды в изнашивании абразива // Абразивы: научно-технический реферативный сборник. – М.: НИИМАШ, 1979. – № 3. – С. 6–7.

22. Алексеев Н.С., Иванов С.В., Капорин В.А. Шлифование плазменных покрытий на никелевой и железной основе // Технологии упрочнения, нанесения покрытий и ремонта: теория и практика: в 2 ч.: ч. 1: материалы 16 международной научно-практической конференции. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2014. – С. 181–187.

23. Износ инструмента из эльбора в различных средах при шлифовании титановых сплавов / Г.И. Саютин, В.А. Носенко, Г.А. Мельников, Н.И. Богомолов // Абразивы: научно-технический реферативный сборник. – М.: НИИМАШ, 1975. – № 6. – С. 46–49.

24. Современные смазочно-охлаждающие жидкости / Е.С. Киселев, А.Н. Унянин, З.С. Курзанова, М.А. Кузнецова // Вестник машиностроения. – 1996. – № 7. – С. 30–34.

OBRAVOTKA METALLOV

(METAL WORKING AND MATERIAL SCIENCE)

N 2(67), April – June 2015, Pages 6–16

Efficiency of microporous coatings grinding using coolant

Alexeev N. S., Ph.D. (Engineering), Associate Professor, e-mail: tm@rubinst.ru

Kaporin V. A., Engineer, e-mail: kaporinvl@mail.ru

Ivanov S. V., Engineer, e-mail: vitsal_72@mail.ru

Rubtsovsk Industrial Institute, Branch of I.I. Polzunov Altai State Technical University, 2/6 Traktornaya st., Rubtsovsk, 658207, Russian Federation

Abstract

Wear-resistant microporous coatings on nickel and iron base falls into the category of hard materials, which abrasive treatment is associated with considerable difficulties. The main causes of intractability of these coatings by grinding lie in the rapid loss of cutting properties of the abrasive wheel, due to wear, bluntness and active adhesion of the coating on the working surface of the tool. The results of investigations of the cutting ability of wheels made of aluminum oxide and silicon carbide in microporous coatings grinding without coolant (without coolant), using tap water and oil are presented in the article. The wear of the abrasive grains and the nature of their interaction with the material being processed depending on the composition of the coolant are studied. Ways to improve the efficiency

of the grinding process of microporous coatings by applying a chemically active media that can reduce interaction between coatings and abrasive materials are suggested. New coolants with chemically active substances, passivating the surface of microporous coatings on the round outer grinding operations are tested.

A proposal about feasibility of replacing the oil compositions of cutting fluids on aqueous compositions that allow to increase the processing capacity and durability of wheels made of aluminum oxide and silicon carbide, while reducing the height of the microscopic inequalities in comparison with the oil compositions is put. Comprehensive assessment of test results by the rating method showed that the most effective in the round external grinding of microporous coatings on nickel and iron-based is the aqueous solution of emulsol "EPM - 1sh."

Keywords:

plasma coatings, abrasive treatment, coolants and lubricants, grinding wheels, cutting forces, tool degradation, surface roughness.

DOI: 10.17212/1994-6309-2015-2-6-16

References

1. Chernoiivanov V.I., Lyalyakin V.P. *Organizatsiya i tekhnologiya vosstanovleniya detalei mashin* [Organization and recovery technology of machines details]. 2nd ed. Moscow, GosNITI Publ., 2003. 488 p.
2. Kiselev E.S. *Teplofizika pravki shlifoval'nykh krugov s primeneniem SOZh* [Thermal physics grinding wheel dressing with coolant]. Ul'yanovsk, UIGTU Publ., 2001. 184 p.
3. Khudobin L.V. *Puti sovershenstvovaniya tekhnologii shlifovaniya* [Ways to improve grinding technology]. Saratov, Privolzhskoe knizhnoe izdatel'stvo, 1969. 213 p.
4. Silin S.S., Khrul'kov V.A., Lobanov A.V., Rykunov N.S. *Glubinnoe shlifovanie detalei iz trudnoobrabatyvaemykh materialov* [Deep grinding parts from hard materials]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1984. 64 p.
5. Friemuth Th., Lierse T. Electro-contact discharge dressing (ECDD) of diamond wheels. *IDR. Industrial diamond review*, 1998, vol. 58, no. 577, pp. 57–61.
6. Hukuzo J., Hiroshi K. Method for dressing a grinding wheel. *Numazu College of Technology Research Annual*, 1994, no. 39, pp. 81–92.
7. Yamaguchi K., Horaguchi I., Sato Y. Grinding with directionally aligned sic whisker wheel-loading-free grinding. *Precision Engineering*, 1998, vol. 22, iss. 2, pp. 59–65. doi: 10.1016/S0141-6359(97)00087-1
8. Popov S.A., Malevskii N.P., Tereshchenko L.M. *Almazno-abrazivnaya obrabotka metallov i tverdykh splavov* [Diamond-abrasive treatment of metals and hard alloys]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1977. 263 p.
9. Kashcheev V.N. *Protsessy v zone friktsionnogo kontakta metallov* [Processes in the area of frictional contact metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1978. 214 p.
10. Kozo A., Yasunaga N. In-process dressing of resin bonded diamond wheel. *Tool Engineering*, 1991, vol. 35, no. 12, pp. 49–54.
11. Khudobin L.V., Unyanin A.N. *Minimizatsiya zasalivaniya shlifoval'nykh krugov* [Minimization of clogging grinding wheels]. Ul'yanovsk, UIGTU Publ., 2007. 298 p.
12. Kashchuk V.A., Vereshchagin A.B. *Spravochnik shlifovshchika* [Directory grinder]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1988. 480 p.
13. Khudobin L.V. *Smazochno-okhlazhdayushchie tekhnologicheskie sredstva i ikh primeneniye pri obrabotke rezaniem* [Lubricating and cooling technology tools and their use in machining]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2006. 544 p. ISBN 5-217-03328-2
14. Nosenko V.A. *Shlifovanie adgezionno-aktivnykh metallov* [Grinding of the Adhesive and Active Metals]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 2000. 262 p.
15. Pravikov Yu.M. *Povysheniye effektivnosti operatsii shlifovaniya putem snizheniya zasalivaniya rabochei poverkhnosti shlifoval'nogo kruga (na primere shlifovaniya zagotovok iz alyuminiyevykh splavov)*. Diss. kand. tekhn. nauk [Improving the efficiency of grinding operations by reducing clogging of the working surface of the grinding wheel (for example, grinding workpieces of aluminum alloys). PhD eng. sci. diss.]. Ul'yanovsk, 1982. 244 p.
16. Khudobin L.V., Belov M.A. *Shlifovanie zagotovok iz korroziionnostoikikh staley s primeneniem SOZh* [Grinding workpieces of corrosion resistant steels with coolant]. Saratov, SGU Publ., 1989. 148 p.
17. Kazakov S.N. [Selection of coolant and abrasive wheel dressing method for pre-plunge grinding rollers with plasma coatings]. *Respublikanskii mezhvedomstvennyi sbornik nauchnykh trudov Belorusskogo natsional'nogo tekhnicheskogo universiteta "Mashinostroenie"* [Republican interdepartmental collection of scientific works of

the Belarusian National Technical University “Mechanical Engineering”]. Minsk, Tekhnoprint Publ., 1980, no. 14, pp. 58–62.

18. Yashcheritsyn P.I., Kazakov S.N., Mitkevich S.I., Belitskaya A.I. [Improving the process of grinding wear-resistant coatings]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov “Almaznaya i abrazivnaya obrabotka detalei mashin i instrumenta”* [Interuniversity proceedings “Diamond and abrasion of machine parts and tools”], Penza, PPI Publ., 1986, iss. 14, pp. 3–8. (In Russian)

19. Mustafaev R.F., Alekseev N.S., Kaporin V.A., Ryazanov A.V., Ivanov S.V. Vybor smazochno-okhlazhdayushchei zhidkosti dlya shlifovaniya plazmennyykh pokrytii na zheleznoi osnove [The selection of lubricant – coolants for grinding iron-based plasma coatings]. *Obrabotka metallov (tekhnologiya, oborudovanie, instrumenty) – Metal Working and Material Science*, 2012, no. 4 (57), pp. 28–30.

20. Smagin G.I., Yakovlev N.D., Mustafaev R.F. [The effectiveness of the new cooling lubricants based on water-soluble polymer]. *Mezhvuzovskii sbornik nauchnykh trudov “Oborudovanie i tekhnologiya mashinostroitel’nogo proizvodstva”* [Interuniversity proceedings “Equipment and technology of machine-building production”], Novosibirsk, NSTU Publ., 1996, iss. 2, pp. 55–60. (In Russian)

21. Nosenko V.A., Sayutin G.A. [The role of the cooling properties of the medium in abrasive wear]. *Nauchno-tekhnicheskii referativnyi sbornik «Abrazivy»* [Scientific and technical abstract collection “Abrasives”], Moscow, NIIMASH Publ., 1979, no. 3, pp. 6–7. (In Russian)

22. Alekseev N.S., Ivanov S.V., Kaporin V.A. [Grinding plasma coatings on nickel and iron base]. *Materialy 16 Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii “Tekhnologii uprochneniya, nanoseniya pokrytii i remonta: teoriya i praktika”*. V 2 ch. Ch. 1 [Proceedings of the 16th International Scientific and Practical Conference “Hardening, coating and repair technologies: Theory and Practice”, Saint Petersburg, 15–18 April 2014: in 2 pt.]. Saint Petersburg, SPbPU Publ., 2014, pt. 1, pp. 181–187. (In Russian)

23. Sayutin G.I., Nosenko V.A., Mel’nikov G.A., Bogomolov N.I. [Tool wear of CBN in various media for grinding titanium alloys]. *Nauchno-tekhnicheskii referativnyi sbornik «Abrazivy»* [Scientific and technical abstract collection “Abrasives”], Moscow, NIIMASH Publ., 1975, no. 6, pp. 46–49. (In Russian)

24. Kiselev E.S., Unyanin A.N., Kurzanova Z.S., Kuznetsova M.A. Sovremennyye smazochno-okhlazhdayushchie zhidkosti [Modern coolants]. *Vestnik mashinostroeniya – Russian Engineering Research*, 1996, no. 7, pp. 30–34.

Received 11 March 2015

Revised 11 April 2015

Accepted 4 May 2015