

испытаний износостойчивости тех или иных материалов, максимально приближенных к реальным условиям их работы, а также используя статистические данные.

Наряду с увеличением долговечности и повышением работоспособности рассматриваемых объектов обработки, при многопрофильном использовании лазерных технологий следует ожидать заметного повышения уровня надежности и безотказности производимой (ремонтимой) авиатехники.

Литература

1. Григорьянц А. Г., Сафонов А. Н. Основы лазерного термоупрочнения сплавов. – М.: Высшая школа, 1998. 160 с.
2. Андрияхин В. М. Процессы лазерной сварки и термообработки. М.: Наука, 2002. 176 с.
3. Рэди Дж. Промышленные применения лазеров : пер. с англ. М.: Мир, 2001. 638 с.
4. Рыкалин Н. Н., Углов А. А., Какора А. Н. Лазерная обработка материалов. М.: Машиностроение, 1975. 296 с.
5. Черноиванов В. И., Архипов В. Е., Биргер Е. М. Некоторые результаты разработки и внедрения лазерной технологии в промышленности // Материалы совещания «Лазерные технологические установки и перспективы их применения на предприятиях отрасли». М.: 2007. 83 с.
6. Шестоперова Н. Г., Смышляев А. Р. Целесообразность и экономическая эффективность освоения технологических процессов восстановления деталей // Инженерные методы обеспечения безопасности полетов при эксплуатации и ремонте авиационной техники ГА : сб. ст. М.: МИИ ГА. 2007. 172 с.
7. Григорьянц А. Г. Основы лазерной обработки материалов. М.: Машиностроение, 1999. 304 с.
8. Соломонов П. А. Безотказность авиационной техники и безопасность полетов Соломонов. М.: Транспорт, 1999. 272 с.

УДК 621.923

С.М. Кудряшов, А.С. Янюшкин*, В.Ю. Попов

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ МИНЕРАЛЬНЫХ РАССОЛОВ ДЛЯ УСТРАНЕНИЯ ЗАСАЛЕННОГО СЛОЯ ПРИ КОМБИНИРОВАННОЙ ЭЛЕКТРОАЛМАЗНОЙ ОБРАБОТКЕ БЫСТРОРЕЖУЩЕЙ СТАЛИ Р6М5

Рассмотрены проблемы применения агрессивных, химически активных технологических сред. Предложены новые подходы к разработке технологических сред для операций механической обработки, в том числе электроалмазного илифования путем замены их на нейтральные рассолы Иркутской области.

Ключевые слова: механическая обработка, СОЖ, замена, минеральные рассолы, методика, устранения засаливания, рациональные режимы.

Смазочно-охлаждающие технологические среды (СОТС), подавляющее большинство которых составляют смазочно-охлаждающие жидкости (СОЖ), являются неотъемлемым элементом технологических процессов современных металлооб-

рабатывающих производств. Многие технологические процессы обработки деталей резанием вообще невозможны без применения СОТС. В связи с этим объем потребления СОТС неуклонно возрастает из года в год. Правильный выбор состава,

* – автор, с которым следует вести переписку

технологии и техники применения СОТС позволяет существенно улучшить экономические показатели производства и повысить безопасность технологических процессов за счет увеличения производительности обработки, улучшения качества деталей, повышения стойкости инструментов и уменьшения энергозатрат на механическую обработку.

Анализ литературных источников, посвященных исследованию теории действия и создания новых высокоэффективных СОЖ на определенных операциях механической обработки, позволяет отметить, что исследованиям этого направления уделяется достаточно серьезное внимание. Это обусловлено тем, что в последние годы в России теоретические основы действия технологических сред (ТС) при резании металлов активно разрабатывались рядом коллективов под руководством таких ученых, как М.Б. Гордон, В.Н. Латышев, М.И. Клушин, Н.В. Талантов, А.Н. Резников, А.С. Янюшкин, И.Х. Чеповецкий, Н.Р. Лосева, Э.М. Берлинер, С.Г. Энтелис и других, а также их учеников. Высказанные при этих исследованиях основные положения, взятые в совокупности, отражают существенный шаг вперед, достигнутый в создании теории действия ТС при резании металлов. Разумеется, с одной стороны, они отнюдь не исчерпывают всего круга имеющихся фактических данных и выдвинутых гипотез, а с другой стороны, в большей или меньшей степени являются дискуссионными, возможно даже, в некоторых частных положениях ошибочными. Тем не менее, значение их для операции шлифования достаточно велико, в том числе и для решения проблемы разработки путей направленного синтеза ТС.

Следует отметить, что проблема электрохимических превращений, происходящих в ТС, изучена недостаточно. Среди исследователей отсутствует единое мнение о выборе того или иного состава рабочей жидкости при обработке конкретных инструментальных материалов и об электрохимическом обосновании

процессов, происходящих на границе «заготовка – ТС» и «круг – ТС».

Данная работа рассматривает новые методы создания ТС в заданных условиях обработки металлов резанием, позволяющие гарантировать заданные точность и качество обрабатываемой детали, повысить производительность металлообработки, увеличить стойкость режущего инструмента. Предлагаемая система экономически выгодна как за счет вышечисленных факторов, так и за счет снижения расхода ТС, а также использования более дешевых, но не менее эффективных ТС.

В статье приведены результаты экспериментальных исследований удельного съема металла Q , шероховатости обработанной поверхности Ra , удельного расхода круга q , работоспособности круга P , мощности N от режимов обработки при комбинированном электроалмазном шлифовании (КЭШ) стали Р6М5, позволяющие выявить наиболее значимые параметры, влияющие на исследуемые зависимости. Так как метод комбинированного электроалмазного шлифования используется длительное время, нетрудно было назвать влияющие на него факторы: плотность тока правки $i_{\text{пр}}$, A/cm^2 ; плотность тока травления $i_{\text{тр}}$, A/cm^2 ; скорость резания V , м/с; глубина t , мм/дв. ход и подача S , м/мин. Применялась матрица планирования типа 2^4 .

В качестве обрабатываемого материала использовалась быстрорежущая сталь Р6М5 с нанесенным слоем твердого сплава методом электроискрового легирования. Шлифование производилось чашечным алмазным кругом на металлической связке АСВ 80/63 МО13-100%.

В экспериментах вместо использования стандартного электролита следующего состава: азотнокислый натрий $NaNO_3$ – 3%, азотистокислый натрий $NaNO_2$ – 1%, углекислый натрий Na_2CO_3 – 0,5%, остальное – дисцилированная вода H_2O , нами было предложено использовать минеральную воду (рассол), взятую со

скважин санатория «Братское взморье», следующего химического состава [мг/дм³]:

Гидрокарбонаты (HCO_3^-).....350-550.

Сульфаты (SO_4^{2-}).....50-200.

Хлориды (Cl^-).....350-550.

Кальций (Ca^{2+}).....50-200.

Магний (Mg^{2+}).....20-150.

Натрий + калий ($Na^+ + K^+$)...100-300.

Условия и результаты экспериментальных исследований приведены в табл. 1, 2. Получены зависимости удельного

съемы металла Q , шероховатости обработанной поверхности R_a , удельного расхода круга q , работоспособности круга P , мощности N от режимов резания:

$$Ra=0,02+0,01i_{np}+0,013i_{tp}+0,09t+0,019S-0,0017V$$

$$Q = -0,019i_{np}+4,1i_{tp}+68t+88,9S-0,1V$$

$$q=0,084+0,032i_{np}+0,02i_{tp}-0,0041t+0,02S-0,0028V$$

$$P = 14,2-1,5i_{np}-3,8i_{tp}-0,17t-4S+1,3V$$

$$N = 331-4i_{np}-47,6i_{tp}+4,1t+141S-1,1V$$

Таблица 1

Интервал варьирования и уровень факторов	i_{np} , А/с м ²	i_{tp} , А/см ²	t , мм/дв. ход	S , м/ми н	V , м/ с
Кодовое обозначение	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
Верхний уровень $x_i = 1$	0,2	12	0,03	3,5	51
Нижний уровень $x_i = -1$	0,05	4	0,01	0,5	17
Интервал варьирования δ_i	0,07 5	4	0,01	1,5	17
Нулевой уровень $x_i = 0$	0,12 5	8	0,02	2	34

Таблица 2

№	Q , мм ³ /мин	R_a , мкм	q , мм ³ /мм ³	$N_{эф}$, Вт	P , мм ³ /мм ³
	Р6М5				
1	373,1	0,022	0,13	416,4	7,69
2	373,6	0,022	0,11	426,3	9,09
3	362,5	0,027	0,086	529	11,63
4	362,3	0,020	0,085	534,4	11,76
5	188,4	0,021	0,13	420,6	7,69
6	188,2	0,022	0,12	426	8,33
7	181,1	0,020	0,082	508,2	12,19
8	181,3	0,018	0,086	518,4	11,63
9	146,2	0,023	0,073	146,4	13,69
10	146,1	0,017	0,058	152,3	17,24
11	138,6	0,018	0,051	234,7	19,61
12	138,8	0,018	0,046	244,8	21,74
13	58,2	0,016	0,097	136,2	10,31
14	58,3	0,026	0,11	146,5	9,09
15	50,8	0,016	0,053	228,1	18,87
16	50,6	0,019	0,027	234,9	37,04

Из полученных зависимостей видно, что шероховатость, производительность и мощность резания в большей степени зависят от продольной подачи, глубины резания и плотности тока травления. Плотность тока правки и скорость резания незначительно влияют на данные параметры. Установлено, что удельный расход круга сильно зависит от продольной подачи, плотности токов правки и травления, а скорость и глубина резания менее значимы. При увеличении плотности тока правки расход увеличивается, а при увеличении плотности тока травления – снижается.

При обработке металлов алмазными шлифовальными кругами (АШК) в зоне контакта действует ряд факторов: высокие локальные температуры, давление, наличие электрического тока, благоприятных для химических реакций и фазовых превращений как в поверхностном слое АШК, так и на поверхности обрабатываемого материала. От этих фазовых превращений, в которых участвуют элементы круга, обрабатываемого материала и электролита, зависят качество обработки и производительность шлифования.

Алмазные круги на металлических связках при шлифовании инструмента всухую интенсивно засаливаются и в течение нескольких минут практически полностью теряют свою работоспособность, а заточенный на таких кругах инструмент имеет большие дефекты и малый период стойкости.

При шлифовании пластин Р6М5 всухую алмазоносная поверхность почти полностью покрыта засаленным слоем (рис. 1). Кроме того, видны царапины от абразивного взаимодействия контактирующих пар. Над засаленным слоем выступают вершины отдельных алмазных зерен, которые в силу этого работают непродолжительное время, а затем изнашиваются до уровня засаленного слоя. Участки алмазоносной поверхности, свободные от засаливания, находятся ниже его

уровня и в работе не участвуют. Сканирование поверхности засаленного круга подтверждает сделанные выводы (рис. 2). Наибольший пик принадлежит железу, основному компоненту обрабатываемого материала – быстрорежущей стали Р6М5. Линии, принадлежащие связке круга (олово, медь, кремний, алюминий) «забиты» компонентами обрабатываемого материала – железом и марганцем.

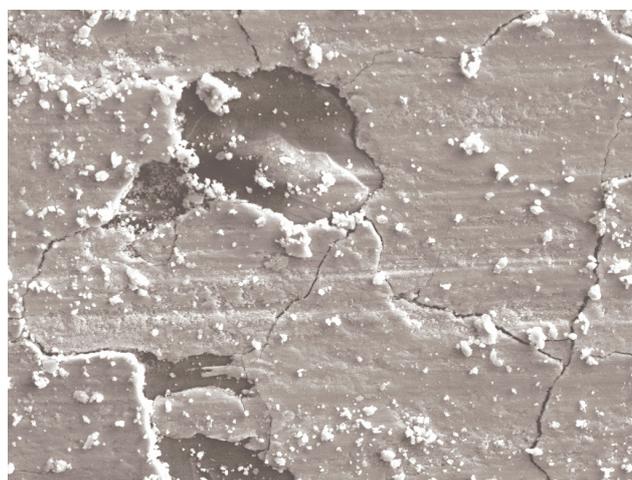
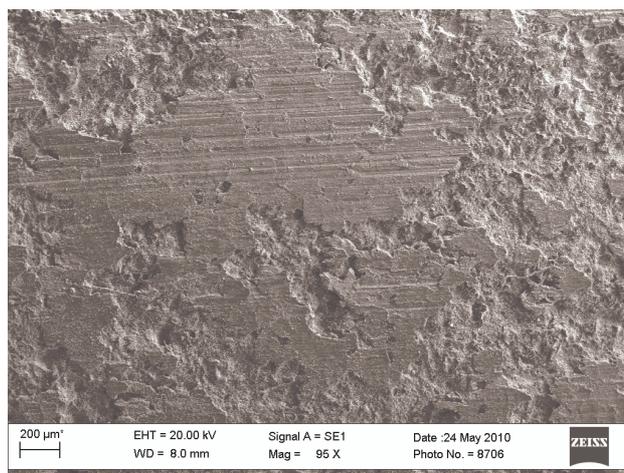


Рис. 1. Поверхность круга АСВ 80/63 МО13-100 % после шлифования быстрорежущей стали Р6М5 без СОЖ; $V_{кр} = 35$ м/с; $S_{пр} = 1,5$ м/мин; $t = 0,03$ мм/дв. ход.

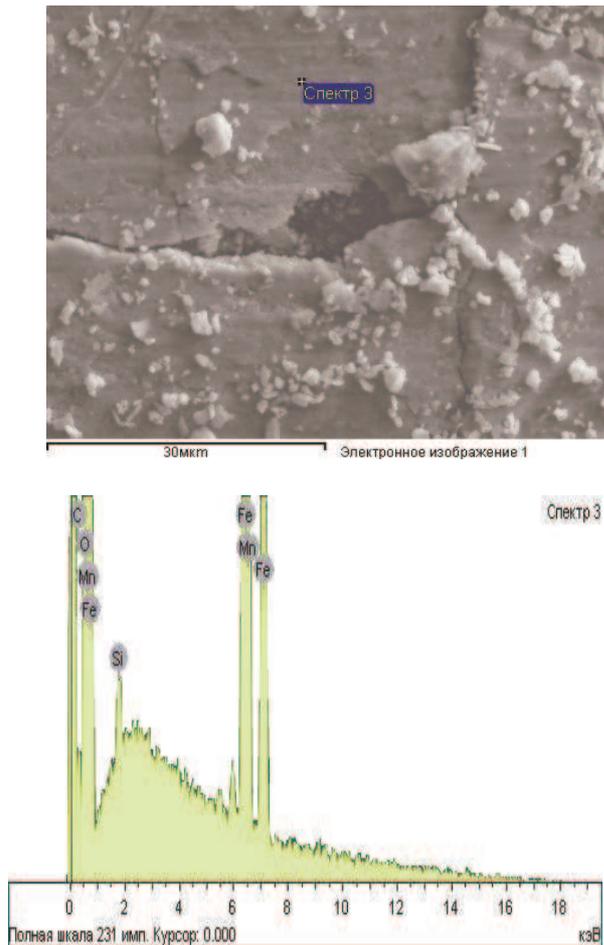


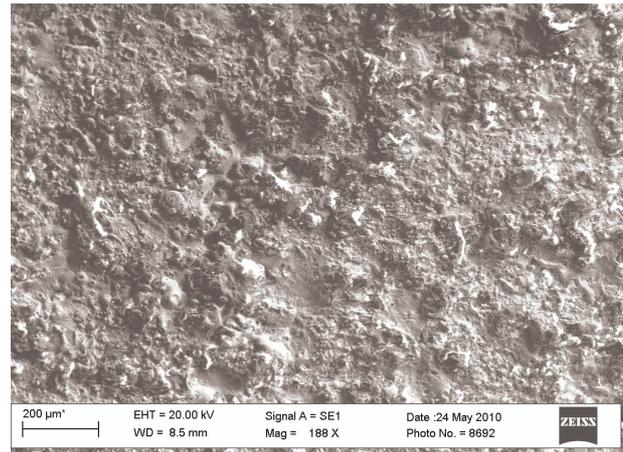
Рис. 2. Спектр засаленной поверхности круга АСВ 80/63 МО13-100 % после шлифования быстрорежущей стали Р6М5 без СОЖ, $V = 35$ м/с; $S = 1,5$ м/мин; $t = 0,03$ мм/дв. ход.

Таблица 3
Элементный состав засаленной поверхности круга АСВ 80/63 МО13-100 % после шлифования быстрорежущей стали Р6М5 без СОЖ

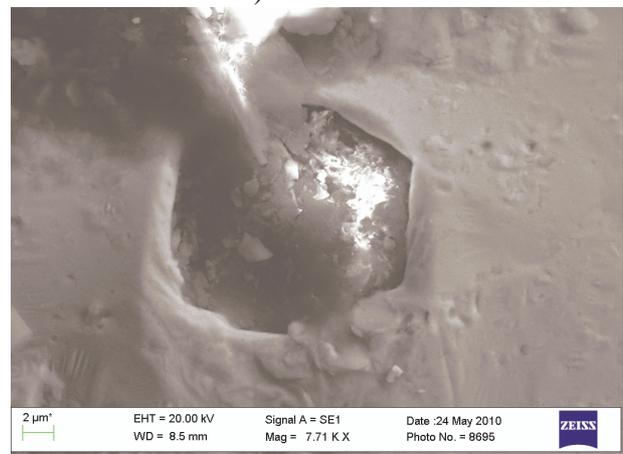
Элемент	С К	О К	М n К	Si S i К	Fe F e К	И тоги
Весовой %	6,67	8,04	0,63	0,47	4,19	100
Атомный %	1,827	3,709	0,38	0,56	4,371	

Установлено, что засаленный слой имеет сложную механо-химическую природу и состоит из компонентов обрабатываемого материала, связки круга, внешней среды и вторичных соединений, образовавшихся в результате адгезионно-диффузионных явлений и химических

реакций. Для предотвращения их образования нужна локализация этих процессов, подбор определенных режимов обработки при методе двойного травления (МДТ), более прогрессивном в этом случае. Нами сравнивалась поверхность круга после работы с электрохимической правкой и всухую – с эталонной поверхностью, за которую брали полностью выправленный круг.



а) ×618



б) ×7710

Рис.3. Поверхность выправленного круга АСВ 80/63 МО13-100%. Режимы правки: $V = 35$ м/с, $i_{пр} = 0,33$ А/см², $T = 10$ мин а – общая картина; б – алмазное зерно.

Анализ показывает, что внешние картины алмазной поверхности круга после резания отличны от эталона и несут на себе следы, типичные для каждого метода. После шлифования с непрерывной электрохимической правкой круга его поверхность близка к эталону (рис. 4).

Видно также большое количество алмазных зерен, высоко выступающих над связкой, пятна связки.

Площадки износа небольшие, что указывает на короткий период работы и преждевременное выпадение зерен. Это объясняется тем, что связка частично вытравлена, о чем говорят лунки, образовавшиеся в результате электрохимического растворения связки, наблюдаемые на рис. 3, и небольшие следы износа алмазных зерен.

При достижении определенного износа, вызывающего увеличение сил на контактных площадках, зерно легко удаляется. В работу вступают свежие зерна. В силу этого наблюдается повышенный износ алмазов. При токе правки от 0,3 до 0,5 А/см², который более производительен при шлифовании, удельный расход, согласно исследованиям [1], составляет 38,5 мг/г. Поэтому не рекомендуется шлифовать материалы с использованием тока правки.

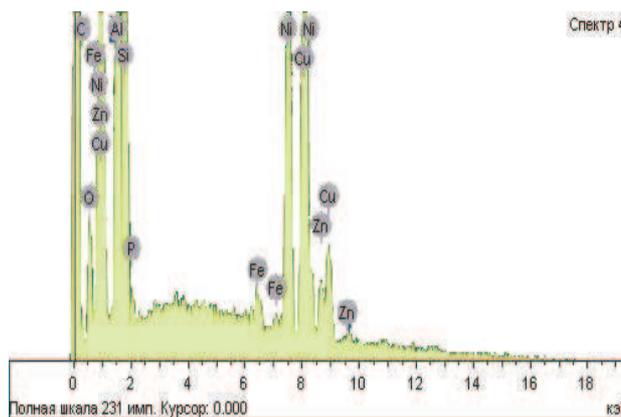
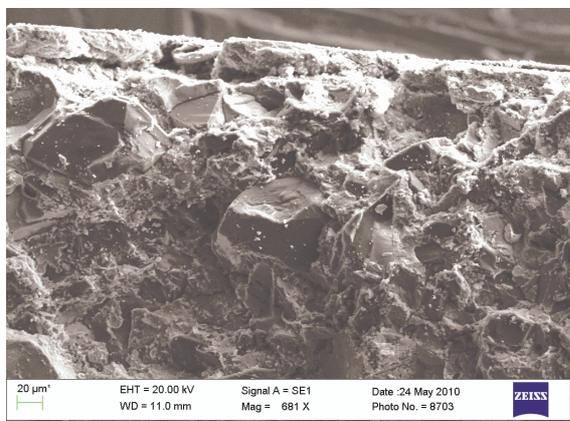
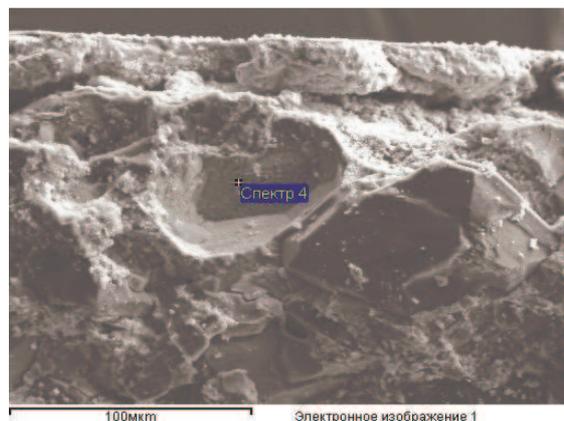
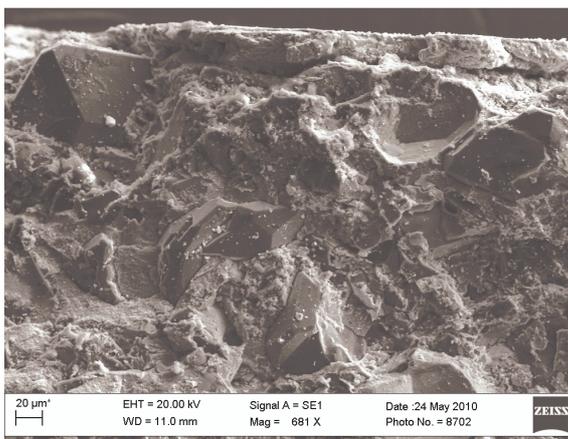


Рис. 4. Поверхность круга АСВ 80/63 М013-100% после полной правки в поперечном сечении, эталон.

Рис. 5. Спектр поверхности круга АСВ 80/63 М013 после полной правки в поперечном сечении.

Таблица 4

Элементный состав поверхности круга АСВ 80/63 М013 после полной правки

Элемент	С К	О К	Al К	Si К	Р К	Fe К	Ni К	Cu К	Zn К	Итоги
Весовой %	7,95	3,98	15,74	16,38	0,43	0,57	17,96	33,61	3,39	100
Атомный %	22,17	8,32	19,52	19,52	0,46	0,34	10,24	17,70	1,73	

Для сравнения поверхностей круга, полученных при разных методах шлифования – всухую и с правкой, рассмотрим спектр, снятый с образца круга, работавшего с током правки (см. рис. 6). Микроанализ поверхности круга АСВ 80/63 МО13 100% после шлифования стали Р6М5 с током правки очень близок к эталону. Самые большие пики у алюминия и меди, которые являются основными компонентами связки. Видны небольшие пики кремния, цинка и никеля, также входящих в состав связки. Почти на уровне фона наблюдается железо. Но по сравнению с эталоном у круга, работавшего с током правки, пики алюминия и меди занижены.

При работе с непрерывной электрохимической правкой круга происходит предотвращение образования засаленного слоя. Таким образом, можно сделать вывод, что процессы, происходящие в зоне контакта «круг – обрабатываемый материал» зависят от методов и режимов обработки. В свою очередь, эти процессы под влиянием ряда факторов – давления, высоких локальных температур – идут на молекулярном уровне, что приводит к образованию сложных фаз и других структурных изменений. В частности, неблагоприятные условия шлифования ведут к формированию засаленного слоя, этого вредного явления, неблагоприятно влияющего на качество и производительность шлифования. Выполненные исследования с позиций атомно-молекулярного уровня позволили установить рациональную область режимов об-

работки и возможность эффективного шлифования быстрорежущих сталей кругами на металлической связке в электроалмазном режиме.

Согласно имеющимся данным [2, 3], граница раздела (контакта) твердых фаз всегда является местом, где протекают сложнейшие реакции, явления и процессы, являющиеся неизбежными спутниками процесса взаимодействия абразивного зерна и обрабатываемого материала, поскольку неизбежен их контакт между

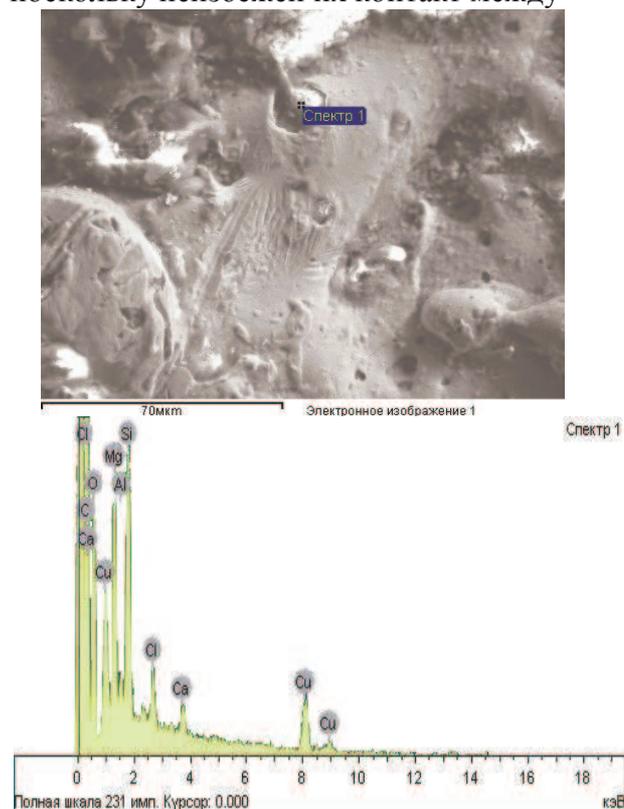


Рис. 6. Спектр поверхности круга АСВ 80/63 МО13 после электрохимической правки.

Таблица 5

Элементный состав поверхности круга АСВ 80/63 МО13 после электрохимической правки

Элемент	С К	О К	Al К	Si К	М g К	С l К	С a К	Cu К	Итого
Весовой %	69,24	20,67	0,35	2,38	2,36	0,48	0,42	4,09	100
Атомный %	78,53	17,60	0,18	1,16	1,32	0,19	0,14	0,88	

собой, с внешней естественной (воздушной) средой и искусственной технологической средой, например: СОТС, СОЖ, ПАВ, электролитами и их компонентами.

Для решения проблемы засаливания алмазных шлифовальных кругов нами была предложена методика, заключающаяся в предложениях по устранению взаимодействия инструментального и обрабатываемого материалов, за счет дополнительного ввода в зону резания СОТС, компоненты которых нейтрально влияют на контактные поверхности этих

материалов, исходя из расчетов энергии адгезии [4].

Используя данную методику, нами были проведены теоретические расчеты взаимодействия химических элементов, входящих в компоненты СОЖ (*Na, Ka, Ca, Mg*), с элементами связки круга (*Al, Cu, Ni, Zn, Sn, Si*), а также взаимодействия компонентов СОЖ (*Na, Ka, Ca, Mg*) с элементами обрабатываемого материала (*V, W, Co, Si, Cr, Cu, Fe, Mo, Ni*). Полученные результаты представлены в табл. 6-7.

Таблица 6

Результаты расчета энергии адгезии при взаимодействии химических компонентов СОЖ с элементами связки алмазного круга

Элементы компонентов СОЖ	Элементы круга						
	<i>Al</i> $2W_p=1,13$	<i>Cu</i> $2W_p=1,92$	<i>Sn</i> $2W_p=0,77$	<i>Zn</i> $2W_p=1,84$	<i>Ni</i> $2W_p=3,36$	<i>Si</i> $2W_p=2,16$	<i>Алмаз</i> $2W_p=14,4$
<i>Na</i> $2W_p=0,085$	0,11 -	0,12 -	0,1 -	0,1 -	0,11 -	0,13 -	0,06 -
<i>K</i> $2W_p=0,056$	0,07 -	0,08 -	0,07 -	0,07 -	0,07 -	0,09 -	0,04 -
<i>Ca</i> $2W_p=0,42$	0,62 -	0,78 -	0,52 -	0,66 -	0,74 -	0,91 -	0,41 -
<i>Mg</i> $2W_p=0,68$	0,81 -	0,93 -	0,68 -	0,88 -	0,99 -	1,15 -	0,61 -

Примечание. Знак «+» означает возможность фиксации соответствующего компонента СОЖ на поверхности алмазного круга и образование засаленного слоя; знак «-» означает отсутствие фиксации и отсутствие взаимодействия компонентов СОЖ и алмазного круга.

Таблица 7

Результаты расчета энергии адгезии при взаимодействии химических компонентов СОЖ с элементами обрабатываемого материала

Элементы обрабатываемого материала	Элементы компонентов СОЖ			
	<i>Na</i> $2W_p=0,085$	<i>K</i> $2W_p=0,056$	<i>Ca</i> $2W_p=0,42$	<i>Mg</i> $2W_p=0,68$
<i>V</i> $2W_p=2,47$	0,21 -	0,14 -	0,84 -	1,1 -
<i>W</i> $2W_p=6,0$	0,16 -	0,11 -	0,77 -	1,05 -

Продолжение Таблицы 7

Элементы обрабатываемого материала	Элементы компонентов СОЖ			
	<i>Na</i> $2W_p=$ 0,085	<i>K</i> $2W_p=$ 0,056	<i>Ca</i> $2W_p=$ 0,42	<i>Mg</i> $2W_p=$ =0,68
<i>Si</i> $2W_p=$ 2,16	0,13 -	0,09 -	0,91 -	1,15 -
<i>Co</i> $2W_p=$ 3,3	0,17 -	0,12 -	0,79 -	1,06 -
<i>Cr</i> $2W_p=$ 3,16	0,16 -	0,12 -	0,79 -	1,07 -
<i>Cu</i> $2W_p=$ 1,92	0,12 -	0,08 -	0,78 -	0,93 -
<i>Fe</i> $2W_p=$ 3,2	0,15 -	0,1 -	0,68 -	0,93 -
<i>Mo</i> $2W_p=$ 5,04	0,17 -	0,12 -	0,79 -	1,08 -
<i>Ni</i> $2W_p=$ 3,36	0,11 -	0,07 -	0,74 -	0,99 -

Примечание. Знак «+» означает возможность фиксации соответствующего компонента СОЖ на поверхности обрабатываемого материала; знак «-» означает отсутствие фиксации и отсутствие взаимодействия компонентов СОЖ и обрабатываемого материала.

При расчетах значения модуля Юнга и коэффициента Пуассона взяты из [5, 6]. Проведя анализ полученных результатов, можно сделать теоретическое предположение о пригодности использования минерального рассола Братского месторождения в качестве электролита при КЭШ. Однако для окончательного заключения по поводу пригодности данного рассола в качестве СОЖ при электрохимических методах обработки в производственных условиях требуется провести еще ряд испытаний.

В данной работе сформулированы принципы научного подхода к решению проблемы по устранению засаленного слоя путем создания СОТС, компоненты которой абсолютно нейтрально влияют на контактные поверхности АШК и обрабатываемого материала. Проведены испытания

минерального рассола Братского месторождения, который был использован в качестве электролита при КЭШ.

Литература

1. Яковенко Л. Д. Электроалмазное шлифование и заточка металлорежущих инструментов. Львов : Каменяр, 1971. 64 с.
2. Комбинированная электроалмазная обработка инструментальных сталей : моногр. / А.С. Янющкин, В.Ю. Попов, Е.В. Васильев, А.Ю. Попов; под ред. А.С. Янющкина. Братск : БрГУ, 2009. 228 с.
3. Янющкин А.С., Шоркин В.С. Контактные процессы при электроалмазном шлифовании. М.: Машиностроение – 1, 2004. 230 с.

4. Янюшкин А. С., Шоркин В. С. Роль адгезии и диффузии в процессе засаливания алмазных кругов на металлической связке // Справ. Инж. журн. 2007. №7. С.32-40.

5. Свойства элементов : справ. Ч. 1. Физические свойства. М.: Metallurgia, 1976. 600 с.

6. Физико-химические свойства окислов : справ. / под ред. Г. В. Самсонова. М.: Metallurgia, 1978. 472 с.

УДК 533.244

В.Н. Федяева

ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛО- И МАССООБМЕНА В КАНАЛАХ ТЕПЛОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ УСТАНОВОК

Выполнено исследование структуры неизометрического и неоднородного пограничных слоев по определению влияния пористости материалов на интенсивность испарения различных жидкостей. При локальном зондировании лазерным пучком в пограничном слое в зоне испарения обнаружены мельчайшие частицы жидкости и дополнительный сток теплоты при их объемном испарении.

Ключевые слова: тепломассообмен, каналы технологических установок, теплоотдача, интенсивность испарения, капиллярно-пористые тела, эксперимент, лазер, аэродинамическая установка, структура неизометрических и неоднородных пограничных слоев.

Долгосрочная энергетическая политика Российской Федерации нацелена на повышение эффективности использования топливно-энергетических ресурсов и создание необходимых условий для перехода экономики страны на энергосберегающий путь развития [1].

Теория тепло- и массопереноса является научной основой многих теплоэнергетических процессов и включает в себя комплекс научных знаний из различных областей. Как правило, при переносе тепла и массы вещества существует их неразрывная связь. Для уточнения и дополнения методик расчета течения и тепло-массообмена в каналах и рабочих камерах теплотехнологических установок с конвективным теплоподводом, процессы в которых нередко осложнены наличием инородных потоков массы с поверхностей капиллярно-пористых материалов, необходимо проводить экспериментальные исследования.

Широкое применение дифференциальных уравнений внутреннего тепло- и мас-

сопереноса в пористых телах [1] ограничивается отсутствием коэффициентов, учитывающих реальную кинетику процессов, в частности, многомерных неравномерных полей изменяющихся физических величин: вид материала, его структура и пористость, начальное влагосодержание и др. Предложенная в работе [2] модель поверхностного испарения и универсальные граничные условия учитывают снижение движущей силы внешнего массопереноса при варьировании интенсивности испарения и поверхностного влагосодержания.

Для повышения достоверности проектирования конвективных сушильных установок необходимы углубленные исследования по влиянию различных факторов на интенсивность внешнего теплообмена. Отрывочные и противоречивые опытные данные [3-5] по влиянию поровой структуры сушеного материала и физических свойств испаряемой жидкости, а также существенные отличия в значениях коэффициентов теплоотдачи при испарении