

Ю.М. Ревенко

РОЗРАБОТКА И ИССЛЕДОВАНИЕ ОПТИМАЛЬНЫХ СОСТАВОВ СОЖ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ АЛМАЗНОГО ШЛИФОВАНИЯ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ ДЕТАЛЕЙ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ

Анотація. Запропоновано та теоретично обґрунтовано новий підхід до створення ефективних составів СОЖ для алмазного шліфування твердих сплавів, що базується на термодинамічному аналізі фізико-хімічних процесів, що протікають на ювенільних поверхнях. Встановлений характер впливу розробленого составу СОЖ на основні параметри даної обробки и розроблена математична модель оптимізації процесу алмазного шліфування твердого сплаву по критерію мінімальної питомої собівартості з'йому матеріалу що обробляється.

Введение. Данная работа посвящена повышению производительности и качества алмазного шлифования рабочих элементов вырубных прецизионных штампов, изготовленных из твердых сплавов на основе карбидов вольфрама и кобальта.

Постановка задачи исследования. Анализ использования в народном хозяйстве Украины дефицитных вольфрамо-кобальтовых твёрдых сплавов показал, что в ближайшее время и в перспективе потребность в них будет расти. Основным резервом удовлетворения промышленности в этих сплавах является увеличение стойкости технологической оснастки, для изготовления которой они использовались. В частности, в электронной промышленности эти твёрдые сплавы фактически незаменимы при изготовлении вырубных прецизионных штампов по вырубке выводных рамок интегральных микросхем. Решение практических задач по повышению их стойкости может быть достигнуто за счёт применения при размерной обработке твёрдосплавных элементов штампов эффективных СОЖ.

Однако проблема создания высокоэффективных СОЖ для размерного алмазного шлифования твердых сплавов пока ещё не полно-

стью решена. Рекомендуемые СОЖ [1, 2, 3, 4] (например, СОЖ на основе 5% водного раствора стандартных эмульсолов ЭТ-2 и УКРИНОЛ-1, и СОЖ по а.с. №263799) не обеспечивают высокой эффективности обработки.

Ужесточение режимов резания с целью повышения производительности обработки при алмазном шлифовании твёрдых сплавов при применении этих СОЖ приводит к интенсивному засаливанию алмазных кругов и падению их стойкости, наблюдаются прижоги и микротрещины на обработанных поверхностях. Кроме того возникают значительные внутренние напряжения растяжения, что особенно недопустимо при работе обработанных деталей в условиях знакопеременных нагрузок, воздействующих, например, на рабочие элементы вырубных твердосплавных штампов [5, 6]. Всё это говорит об актуальности поставленной проблемы создания эффективной СОЖ для данной операции и необходимости продолжения исследования в данном направлении.

Целью работы является разработка нового эффективного состава СОЖ для алмазного шлифования твёрдосплавных деталей вырубных штампов на основе исследования существующих теорий о взаимодействии СОЖ с материалом детали и инструмента в процессе размерной обработки. Для достижения этой цели необходимо решить следующие задачи:

1. Провести анализ существующих теорий о характере взаимодействия активных технологических сред с материалом детали и инструмента в процессе размерной обработки.

2. Теоретически исследовать механизм протекания процессов в зоне резания при алмазном шлифовании твёрдого сплава, используя термодинамический метод анализа физико-химических процессов, протекающих на ювенильных поверхностях деталей.

3. На основе полученных результатов исследований разработать новый состав СОЖ для данной операции, который бы позволил повысить производительность и качество обработанных поверхностей.

4. Экспериментально исследовать влияние разработанного состава СОЖ на основные технологические характеристики процесса размерной обработки и установить аналитические зависимости между его выходными параметрами и технологическими факторами для оптимизации режимов резания.

Основное содержание. Рассмотрим процесс создания новой СОЖ на операциях алмазного шлифования инструментальной оснастки из твёрдых сплавов типа WC+Co. Последовательность разработки данной СОЖ была составлена на основе анализа литературных источников [1, 2, 3, 4] и собственного опыта в данной области [5, 6].

Этот процесс был условно разбит на 5 этапов: подготовительный, непосредственного создания СОЖ, экспериментальной проверки, доработки, доводки и внедрения СОЖ. Основным этапом явился первый, в котором был сформулирован критерий оптимальности процесса механической обработки для данной операции. Кроме того была изучена физико-химическая сущность явлений, происходящих в зоне резания, для определения тех, которые оказывают наибольшее влияние на критерий оптимальности. В качестве показателя эффективности обработки в данном случае была выбрана минимальная удельная себестоимость съёма твёрдого сплава с ограничением значений режимов резания по заданной шероховатости обработанной поверхности.

Физико-химические процессы, протекающие на ювенильных контактных поверхностях обрабатываемого материала и режущего инструмента с учетом активной технологической среды (СОЖ), исследовались на уровне микроконтактов зоны резания. Условия резания в микроконтактах в значительной степени отличаются от условий обработки в макрообъемах и, прежде всего, температурой. По данным С.А. Попова [8] при алмазном шлифовании твердого сплава без применения СОЖ средняя температура в зоне резания составляет примерно 600–900 °С. Использование существующих составов СОЖ позволяет снизить ее до 150–400 °С [8]. Однако, не смотря на применение СОЖ, значительно охлаждающих зону резания, на практике наблюдаются образование микротрещин и микровыколов на обработанных твердосплавных поверхностях, графитизация алмаза и диффузия углерода из алмаза [3, 8, 9], т.е. те физико-химические процессы, которые происходят при температурах, лежащих в диапазоне 600–900 °С и выше. Это можно объяснить тем, что при шлифовании в микрозонах контактов возникают температурные вспышки, которые охватывают лишь субмикрообъемы металла и создают там очень высокую плотность энергии. Некоторые авторы [2] предполагают, что обрабатываемый материал и инструмент в зоне вспышки частично оплавляется и даже переходит в плазменное состояние. Однако измерить

температуру на ювенильных поверхностях зоны резания в микрообъемах (имеющих размеры от нескольких микрон до его десятых долей) практически невозможно.

Автором данной работы была предложена гипотеза, что основным источником выделяющейся энергии на этом уровне являются пирореакции, которые возникают при взаимодействии обрабатываемых металлов, нагретых до средней контактной температуры зоны резания, с кислородом воздуха.

Энергетику этих реакций в микрообъемах можно качественно оценить по взаимодействию интерметаллических соединений (вольфрам-углерод и кобальт-углерод) с кислородом воздуха. Теплотворная способность этих элементов в пирореакциях достигает 10 МДж/кг, а развиваемая температура в молекулярных объемах 2500–3000°C [10]. Такое мощное энерговыделение в субмикрообъемах обуславливает интенсивное протекание химических реакций между материалом инструмента, обрабатываемой детали и активной технологической средой.

Для выявления процессов, уменьшающих эффективность алмазного шлифования твердого сплава, химические реакции, протекающие на ювенильных поверхностях микроконтактов зоны резания были описаны линейно-независимыми стехиометрическими соотношениями, представленными в таблице 1. Ввиду сложности экспериментального изучения этих реакций характер и возможность их протекания были исследованы с помощью термодинамического анализа.

Вычисление изменения энергии Гиббса (изобарно-изотерического потенциала), определяющего условия равновесия химических реакций, определяли по известной формуле [11]:

$$\Delta G^{\circ} = \Delta H^{\circ} - T \cdot \Delta S^{\circ}, \quad (1)$$

где ΔG° - изменение энергии Гиббса, кДж/моль;

ΔH° - изменение энтальпии системы, кДж/моль;

ΔS° изменение энтропии системы, кДж/моль·К.

Индекс «0» записан для величин, относящихся к стандартному состоянию вещества (при давлении $1,013 \cdot 10^5$ Па и данной температуре).

При $\Delta G < 0$ химические реакции протекают самопроизвольно, при $\Delta G > 0$ - реакции маловероятны, а при $\Delta G = 0$ - соответствуют пределу протекания реакций (условию равновесия).

Изменение каждой из термодинамических функций (ΔH° , ΔS°) определяют как алгебраическую сумму значений ее для соответствующих количеств начальных веществ и конечных продуктов реакции [11].

$$\Delta H^\circ = \sum_i (n_i \cdot \Delta H_{\psi i}^\circ)_{\text{прод}} - \sum_i (n_i \cdot \Delta H_{\psi i}^\circ)_{\text{исх}} ; \quad (2)$$

$$\Delta S^\circ = \sum_i (n_i \cdot S_{298,i}^\circ)_{\text{прод}} - \sum_i (n_i \cdot S_{298,i}^\circ)_{\text{исх}} , \quad (3)$$

где n_i – число молей вещества, i – равное стехиометрическому коэффициенту перед его формулой в уравнении реакции.

При термодинамическом анализе в качестве допущения была принята стационарность процессов (постоянство температуры, давления и концентрации реагентов). Кроме того было принято ограничение по температурному диапазону, т.е.: термодинамический потенциал ΔG° определялся в пределах 500-900°K.

Результаты расчетов приведены в таблице 1.

Термодинамические расчеты показывают, что при температуре 627°С (900K) в субмикрообъемах зоны резания все записанные элементарные реакции протекают самопроизвольно. Наибольшее отклонение от равновесия при окислении алмазных зерен занимает их взаимодействие в зоне резания с кислородом воздуха, а затем следуют реакции с участием окислов кобальта и вольфрама. При снижении температуры до 227°С (500 K) маловероятными будут реакции с участием вольфрама и кобальта.

Таблица 1

Термодинамический анализ реакций системы

№ п/п	Реакции	ΔH° , кДж/моль	ΔS° , кДж/моль·K	ΔG , кДж/моль	
				T=500K	T=900K
1.	$2C_{\text{ал}} + O_2 = 2CO$	-224,82	+185,32	-317,48	-395,87
2.	$2CO + O_2 = 2CO_2$	-1008,08	-172,85	-921,67	-848,57
3.	$2Co + O_2 = 2CoO$	-475,6	-175,04	-389,58	-314,24
4.	$CoO + C_{\text{ал}} = Co + CO$	+126,94	+181,32	+36,28	-40,42
5.	$Co + CO = C_{\text{гр}} + CoO$	-349,83	-178,2	-260,73	-185,35
6.	$2WC + 5O_2 = 2WO_3 + 2CO_2$	-2554,84	+99,04	-2604,36	- 2646,25
7.	$2WO_3 + 3C_{\text{ал}} = 2W + 3CO_2$	+499,78	+547,35	+266,105	-5,424

Оксиды металлов также способствуют окислению алмазных зерен, их абразивному износу, потере режущей способности алмазного круга, а следовательно, падению эффективности алмазного шлифования твердых сплавов в целом. Таким образом, для данной операции в зоне резания доминирующими являются процессы окисления алмазных зерен шлифовального круга кислородом воздуха с участием оксидов вольфрама и кобальта.

Обобщение результатов проведенных теоретических исследований позволяет сформулировать помимо традиционных (смазочно-охлаждающих и моющих) следующие дополнительные функции СОЖ, используемых на операциях алмазного шлифования твердых сплавов:

- обеспечивать уменьшение интенсивности пиропроцессов с участием кислорода воздуха в зоне субмикрочастиц при резании;
- растворять и пластифицировать продукты окисления вольфрама и кобальта твердых сплавов, предохраняя алмазные зерна от окисления и абразивного износа.

В результате проведенных исследований был разработан новый состав СОЖ для алмазного шлифования твердых сплавов [12, 13]. При его использовании происходит ингибирование пиропроцессов с помощью флюсующих веществ. Это обеспечивается за счет высокоэффективной эвтектики из буры, триполифосфата натрия и борной кислоты хорошо растворимых в воде.

В зоне высоких температур после испарения воды образуется подвижный щелочной борофосфатный расплав ($\text{Na}_x\text{B}_y\text{P}_2\text{O}_5$), обладающий хорошей адгезией как к твердому сплаву, так и к алмазному зерну. Образующиеся на поверхности и в микротрещинах оксиды кобальта и вольфрама растворяются в этом расплаве, вязкость которого повышается. Полученный расплав предохраняет поверхность от воздействия кислорода и окисляющего действия воды и образует эффективную смазочную пленку с переменным градиентом вязкости, обеспечивая оптимальный гидродинамический режим трения.

На этапе экспериментальной проверки разработанной СОЖ ДИИ-3 были проведены лабораторные испытания ее оптимального состава в сравнении с СОЖ на основе 5% водного раствора стандартного эмульсола УКРИНОЛ-1, широко используемого на предприятиях страны при алмазном шлифровании твердых сплавов. Испытания про-

водились в лаборатории резания кафедры АМ-2 МВТУ им. Н.Э. Баумана [14].

Для установления характера влияния составов СОЖ на динамические параметры алмазного шлифования твердых сплавов (силы резания, шероховатость обработанной поверхности, удельный расход алмазов и удельную интенсивность съема) была использована экспериментальная установка, состоящая из модернизированного универсально-заточного станка мод. ЗД642Е с механизированным приводом поперечной подачи; трехкомпонентного динамометра мод. УДМ-100, шлейфового осциллографа и тензометрической станции. Тарирование динамометра производилось до и после проведения экспериментов путем его статического нагружения и разгрузки грузом весом 50Н в направлениях, соответствующих действию измеряемых усилий. Тарировочные графики составляющих P_z и P_y силы резания имели линейный характер и их взаимное влияние друг на друга не превышало 2-3%.

В качестве шлифуемых образцов были приняты пластинки твердого сплава марки ВК8 формы 0227А (обрабатывалась поверхность сечения 15×6 мм), закрепляемых блоками по 4 штуки в головке динамометра, установленной с специальным приспособлении на столе станка. Обработка велась торцом алмазного круга формы 12А2-45° размером 150×10×3, зернистостью 80/63, связкой В1, 100% концентрации. Алмазные зерна круга использовались марки АСР без металлического покрытия. СОЖ подавалась в зону резания поливом.

Перед началом эксперимента частота вращения круга определялась с помощью тахометра. Правка круга осуществлялась на специальном станке (после закрепления круга на его шпиндель) методом шлифования кругом из карбида кремния зеленого КЗ, зернистостью 40, на керамической связке, твердостью С2. Биение круга после правки не превышало 0,01 мм. Перед правкой круг балансировали специальным приспособлении. Продольная подача устанавливалась с помощью масштабной линейки и секундомера. Поперечная подача контролировалась индикатором, закрепленным в специальной скобе. Измерение шероховатости производилось с помощью профилометра мод. 253.

Для установления удельного расхода алмазов при шлифовании использовался линейный метод определения износа алмазных кругов

путем измерений координат точек режущей поверхности по методике МВТУ им. Н.Э. Баумана [14] с помощью оптического длинномера ИЗВ-2. Погрешность измерения на этом приборе не превышает $\pm 0,5$ мкм.

Исследование влияния составов СОЖ и режимов резания на характер изменения тангенциальной P_z и нормальной P_y составляющих силы резания, износостойкость алмазного круга и шероховатость обработанной поверхности проводились при различной производительности шлифования (от 1,2 до 7,2 мм³/с). Производительность обработки варьировалась в диапазоне подач и скоростей, соответствующих условиям чистового и получистового шлифования твердых сплавов. Скорость продольного перемещения стола $S_{пр}$ изменялось от 25 до 75 мм/с, поперечная подача $S_{п}$ варьировалась от 0,02 до 0,04 мм/дв.ход при постоянной высоте шлифуемой поверхности $h=6$ мм. $V_{кр}$ изменялась в пределах 17,5-35 м/с. Длина хода стола ограничивалась 75 мм (с помощью конечных выключателей) при длине блока обрабатываемых твердосплавных пластин – 60 мм.

Для сокращения объема необходимого числа опытов использовался метод математического планирования экспериментов, позволяющий получить научно-обоснованные, с заданной надежностью и точностью результаты. В данном случае был проведен полный факторный эксперимент для трех факторов ($V_{к}$, $S_{пол}$, $S_{пр}$) на двух уровнях. Для исследования каждой из СОЖ было проведено по 8 опытов и было сошлифовано 320 г твердого сплава. В качестве выходных параметров рассматривались P_z , P_y , R_a , и q . Основные эксплуатационно-технологические свойства сравниваемых СОЖ представлены в таблице 2 и 3. Анализ этих экспериментальных данных, полученных при алмазном шлифовании твердых сплавов показал, что использование СОЖ ДИИ-3 вместо 5% раствора эмульсола УКРИНОЛ-1 позволяет значительно уменьшить составляющие силы резания. Так, P_y уменьшается в 1,7-2, P_z в 1,8-2,3 раза, а шероховатость поверхности R_a улучшается в 1,5 раза. Одним из важных параметров, характеризующими эффективность алмазного шлифования твердых сплавов является износостойкость кругов, определяется удельным расходом алмазов q (мг/м).

Таблица 2

Технико-экономические показатели алмазного шлифования твердого сплава с использованием СОЖ ДИИ-3

№ п/п	Режимы резания			Выходные параметры					$\frac{Q_c}{P_y}$, мм ³ /Н·с
	V, м/с	S _n , мм/хд	S _{np} , мм/с	R _a , мкм	P _z , Н	P _y , Н	q, мг/г	Q _c , мм ³ /с	
1	17,5	0,01	25	0,083	8,6	27,9	1,48	1,2	0,043
2	17,5	0,01	75	0,133	12	43	2,15	3,6	0,084
3	35	0,01	75	0,068	8,7	28	2,94	3,6	0,129
4	35	0,01	25	0,043	6,2	19,4	1,38	1,2	0,062
5	35	0,02	25	0,060	10,6	34,4	2,61	2,4	0,070
6	35	0,02	75	0,091	16	51,7	5,0	7,2	0,139
7	17,5	0,02	25	0,120	16,4	53,6	2,25	2,4	0,045
8	17,5	0,02	75	0,173	24	75,2	4,5	7,2	0,096

Таблица 3

Технико-экономические показатели алмазного шлифования твердого сплава с использованием 5% водного раствора эмульсола УКРИНОЛ-1

№ п/п	Режимы резания			Выходные параметры					$\frac{Q_c}{P_y}$, мм ³ /Н·с	Примечание
	V, м/с	S _n , мм/хд	S _{np} , мм/с	R _a , мкм	P _z , Н	P _y , Н	q, мг/г	Q _c , мм ³ /с		
1	17,5	0,01	25	0,125	17,5	50	2,51	1,2	0,024	
2	17,5	0,01	75	0,213	28	78	5,3	3,6	0,046	
3	35	0,01	75	0,098	20	56	5,7	3,6	0,064	
4	35	0,01	25	0,061	13	34,4	2,79	1,2	0,035	
5	35	0,02	25	0,087	24	66,7	5,72	2,4	0,036	
6	35	0,02	75	0,153	36	99,5	12,1	–	–	На обработанной поверхности наблюдаются прижоги, микротрещины и микровыколы
7	17,5	0,02	25	0,185	35	96	5,2	2,4	0,025	
8	17,5	0,02	75	0,259	44,5	133	11	–	–	На обработанной поверхности наблюдаются прижоги, микротрещины и микровыколы

На основе полученных экспериментальных данных можно сделать вывод, что наибольшее влияние на износ алмазных кругов с органической связкой оказывают составы используемых при шлифовании СОЖ. Так, при одном и том же изменении режимов резания ($S_{\text{п}}, S_{\text{пр}}, V_{\text{к}}$) с использованием в качестве СОЖ 5%-ного раствора эмульсола УКРИНОЛ-1 удельный расход неметаллизированных алмазов лежал в пределах от 2,51 до 12,1 (мг/м). При применении новой СОЖ ДИИ-3 этот диапазон значительно уменьшился и стал равным 1,48 – 5,04 (мг/г), т.е. уд. расход алмазов уменьшился от 1,7 до 2,2 раза. Использование кругов с металлизированными алмазными зернами позволяет согласно литературных данных [3] еще дополнительно в 2-3 раза снизить удельный расход алмазов (q) и расширить сферу применения кругов на органической связке в сравнении с кругами на металлических и органометаллических связках при чистовом, получистовом и черновом алмазном шлифовании твердых сплавов. Повышение износостойкости алмазных кругов при использовании СОЖ ДИИ-3 можно объяснить уменьшением вероятности возникновения пирореакций в микроконтактах зоны резания и значительным снижением температуры в объемах на этом же уровне, которая разрушает алмазные зерна и связку круга. Кроме того исключается отрицательное действие на органическую связку высокой щелочности СОЖ УКРИНОЛ-1, резко снижавшую прочность удержания алмазных зерен в круге, и он изнашивался в основном за счет вырывания из связки практически неиспользованных алмазов. В составе СОЖ ДИИ-3 предусмотрен компонент, уменьшающий ее водородный показатель (Ph), и соответственно предохраняющий бакелитовую связку от набухания и преждевременного разрушения. Для оценки эффективности алмазного шлифования многие исследователи [8, 9] широко применяли в качестве критерия удельную интенсивность шлифования $K = Q_c / P_y$ (мм³/Н·с). Из таблиц 2 и 3 видно, что при торцовом шлифовании твердых сплавов наибольшее влияние на этот коэффициент из режимов резания оказывает продольная подача. Так, при изменении $S_{\text{пр}}$ в 3-и раза при постоянных $V_{\text{к}}$ и S_{non} K увеличивается в 2-а раза, в то же время S_{non} в 2-а раза вызывает возрастание показателя K всего лишь на 5-10%. Это можно объяснить тем, что при увеличении $S_{\text{пр}}$ темпы роста нормальной составляющей силы резания ниже,

чем при соответственном изменении S_{non} . Так, например, при использовании СОЖ ДИИ-3 изменение S_{np} в 3-и раза (с 25 до 75 мм/с) вызывает возрастание P_y в 1,5 раза, а при увеличении S_{non} в 2-а раза (с 0,01 до 0,02 мм/ход) примерно во столько же раз повышается P_y .

Это связано с тем, что рост поперечной подачи повышает плотность контакта алмазного круга с твердым сплавом и увеличивает сечение единичного среза, вызывающих пропорциональный рост нормальной составляющей силы резания, которая и снижает по абсолютной величине показатель K . Поэтому оптимизацию режимов резания при торцовом алмазном шлифовании твердых сплавов с целью повышения производительности и качества обработанной поверхности желательно проводить за счет увеличения продольной, а не поперечной подачи.

Анализ экспериментальных данных, приведенных в таблицах 2 и 3, показал, что наибольшее влияние на удельную интенсивность алмазного шлифования при плоском торцовом шлифовании оказывают составы применяемых СОЖ. Так, при использовании СОЖ ДИИ-3 в пределах заданных режимов показатель K изменяется в диапазоне 0,043-0,139 (мм³/Н·с), а при применении СОЖ УКРИНОЛ-1 он лежит в пределах 0,024-0,064, т.е. режущие свойства алмазного круга при использовании нового эффективного состава возрастает в два раза.

Рядом исследований [8, 9] установлено, что наиболее объективным и универсальным критерием оценки эффективности алмазного шлифования твердых сплавов является удельная себестоимость съема обрабатываемого материала, подсчитываемая по формуле С.А. Попова [8]

$$C = a_1 \cdot q + \frac{a_2}{Q_m} \text{ (коп/г)}, \quad (4)$$

где a_1 – стоимость 1 мг алмаза (коп/г);

q – удельный расход алмаза шлифовального круга (мг/г);

Q_m – производительность процесса (г/60·с);

a_2 – заработная плата рабочего (коп/60·с).

Затраты, связанные с правкой круга и дополнительными расходами составляют по предварительным данным менее 10%, поэтому как незначительные по величине в расчете они опущены. Тогда себестоимость сошлифовки 100 мм³ твердого сплава можно выразить через выражение (4) следующей зависимостью:

$$C_{100} = a_1 \cdot q \cdot \gamma \cdot \frac{100}{1000} + \frac{a_2}{60 \cdot Q_c}, \quad \left(\frac{\text{коп}}{100 \text{мм}^3} \right) \quad (5)$$

где γ - плотность твердого сплава ВК8, $\gamma = 14,6$ мг/мм³.

Подставим в данное выражение (5) ее составляющие.

Себестоимость съема 100 мм³ твердого сплава примет следующий вид:

$$C_{100} = 0,073 \cdot q + \frac{1,67}{Q_c}. \quad (6)$$

Данные расчетов C_{100} , полученные с использованием этого уравнения подтверждают эффективность применения нового состава СОЖ при алмазном шлифовании твердого сплава кругами на органической связке. Удельная себестоимость съема твердого сплава в заданном диапазоне режимов резания с использованием СОЖ ДИИ-3 в 1,5-1,8 раза ниже, чем при применении на этой операции СОЖ на основе 5% водного раствора стандартного эмульсола УКРИНОЛ-1. Для полного использования резервов повышения эффективности алмазного шлифования твердого сплава с применением СОЖ ДИИ-3 необходим выбор оптимальных режимов, соответствующих минимальной удельной себестоимости обработки материала.

Математическая обработка экспериментальных данных (таблица 2), полученных при торцовом алмазном шлифовании твердых сплавов кругами на органической связке с использованием ЭВМ при помощи стандартной программы «ОМЕГА», позволила получить следующие зависимости выходных параметров от режимов резания:

$$q = 1,42 \cdot S_{\text{поп}}^{0,606} \cdot S_{\text{пр}}^{0,47} \cdot V_{\text{кр}}^{0,417} \quad (\text{мг/г}); \quad (7)$$

$$R_a = 1,03 \cdot S_{\text{поп}}^{0,30} \cdot S_{\text{пр}}^{0,375} \cdot V_{\text{кр}}^{-0,816} \quad (\text{мкм}). \quad (8)$$

После подстановки в уравнение 6 значений q и Q_c , выраженных через режимы резания, оно примет следующий вид:

$$C_{100} = 0,104 \cdot S_{\text{поп}}^{0,61} \cdot S_{\text{пр}}^{0,47} \cdot V_{\text{кр}}^{0,48} + 0,36 S_{\text{поп}}^{-1} \cdot S_{\text{пр}}^{-1}. \quad (9)$$

Расчет минимальной удельной себестоимости обработки с использованием данной зависимости осуществляется на ЭВМ итерационным методом по стандартной программе «MINFG» [15] (вычисление глобального минимума функций нескольких переменных). В качестве ограничения использовалась допустимая шероховатость обработанной поверхности $R_a \leq 0,32$ мкм. В результате расчета для алмазного тор-

цового шлифования твердого сплава при использовании СОЖ ДИИ-3 алмазными кругами на органической связке была установлена минимальная удельная себестоимость обработки C_{100} мин, которой соответствуют следующие оптимальные режимы:

$$V_{кр} = 35 \text{ м/с}, S_{non} = 0,02 \text{ мм/ход}, S_{np} = 75 \text{ мм/с}.$$

Лабораторные испытания СОЖ ДИИ-3 на операции торцового алмазного шлифования твердого сплава по сравнению с СОЖ УКРИНОЛ-1, широко применяемой на предприятиях страны, свидетельствуют о том, что новая СОЖ позволяет в 2-а раза повысить производительность обработки и износостойкость алмазных кругов, и в 1,5 раза улучшить шероховатость обработанной поверхности.

Полученные данные хорошо коррелируют с результатами производственных испытаний и внедрения СОЖ ДИИ-3 на предприятии п/я М-5203 на операциях алмазного шлифования твёрдых сплавов [5, 12]. В результате внедрения СОЖ в производство в 2-а раза повысилась производительность обработки и износостойкость алмазных кругов, на 20% увеличилась стойкость вырубных прецизионных штампов. Высокая эффективность внедрения разработанной СОЖ в производстве подтверждает достоверность исходных предпосылок о сущности физико-химических процессов в зоне резания при алмазном шлифовании твёрдых сплавов, положенных в основу её создания.

Предлагаемая СОЖ ДИИ-3 может быть успешно применена для алмазного шлифования твёрдых сплавов при изготовлении вырубных и высадочных штампов, керамики, прессформ и другой технологической оснастки во всех отраслях машиностроения, предприятиях электротехнической и электронной промышленности, а также на предприятиях Министерства цветной металлургии.

Выводы.

1. Предложен и обоснован новый подход к созданию эффективных составов СОЖ для алмазной обработки твёрдых сплавов, базирующийся на термодинамическом анализе физико-химических процессов, происходящих на ювенильных поверхностях микроконтактов зоны резания.

2. Теоретически показано, что основным фактором, ухудшающим эффективность данных операций является наличие пиропроцессов и окисления алмазных зёрен шлифовального круга на уровне микроконтактов зоны резания с участием окислов вольфрама и ко-

бальта, находящихся на обрабатываемых поверхностях и в микро-трещинах твёрдого сплава.

3. Сформулированы дополнительные требования к компонентам проектируемых СОЖ (помимо традиционных: смазочных, охлаждающих и моющих) для алмазного шлифования твёрдого сплава: уменьшать активность пиро процессов с участием кислорода воздуха в микроконтактах зоны резания; растворять и пластифицировать продукты окисления вольфрама, предохраняя алмазные зёрна от окисления и абразивного износа.

4. Предложены аналитические зависимости, устанавливающие связь между удельной себестоимостью съёма обрабатываемого материала и технологическими факторами, которые позволяют с помощью ЭВМ определить оптимальные режимы резания для конкретных условий алмазного шлифования твёрдых сплавов с использованием новых эффективных СОЖ.

ЛИТЕРАТУРА

1. Абразивная и алмазная обработка материалов /Под ред. д-ра техн. наук, проф. А.Н. Резникова. – М.: Машиностроение, 1977. -361с.
2. Технологические свойства новых СОЖ для обработки резанием / Под ред. М.И. Клушина. – М.: Машиностроение, 1979. -192с.
3. Рыбицкий В.А. Алмазное шлифование твёрдых сплавов. – Киев: Наук. думка, 1980. -224с.
4. Худобин Л.В. О сущности процесса засаливания и смазочном действии внешних сред при шлифовании // Вестник машиностроения. – М., 1970. – №6. –С. 52-55.
5. Повышение эффективности применения СОЖ на операциях алмазного шлифования режущей оксидно-карбидной керамики и твёрдых сплавов. Отчёт о НИР/ДИИ. Руков. темы В.П. Силкин, отв. исп. Ю.М. Ревенко. Г.Р. №808883. Инв. №3156. – Днепродзержинск, 1979. -108с.
6. Ревенко Ю.М., Педан В.П. Создание эффективных смазочно-охлаждающих жидкостей для обработки металлов и сплавов / Днепродзерж. инд. ин-т. – Днепродзержинск, 1982. -32с. – Деп. в УкрНИИТИ, 1983, №32Ук-Д83.
7. Ревенко Ю.М. Повышение эффективности размерной обработки твёрдосплавных деталей вырубных прецизионных штампов. – Автореф. канд. дисс. – Москва: МВТУ им. Н.Э. Баумана, 1987. -16с.
8. Попов С.А., Малевский Н.П., Терещенко Л.М. Алмазно-абразивная обработка металлов и твёрдых сплавов. – М.: Машиностроение, 1977. -263с.

9. Основы алмазного шлифования / М.Ф. Семко, А.И. Грабченко, А.Ф. Раб и др. – К.: Техника, 1978. -192с.
10. Мальцев В.М., Мальцев М.И., Кашпоров Л.Н. Основные характеристики горения. – М.: Химия, 1977. -320с.
11. Киреев В.А. Методы практических расчётов в термодинамике химических реакций. 2-е изд. испр. и доп. – М.: Химия, 1975. -536с.
12. Ревенко Ю.М. Новая СОЖ для алмазного шлифования керамики. – Запо-рожье, ЦНТИ, 1981. -3с. Информ. листок №81-22.
13. А.С. 836077 (СССР). Смазочно-охлаждающая жидкость для алмазной обработки керамических изделий / Ю.М. Ревенко, А.К. Маскаев, А.К. Караулов и др. – Оpubл. в Б.И. 1981, №21.
14. В.Н. Подураев, Ю.М. Ревенко, С.Г. Васильев. Новая СОЖ для алмазного шлифования твёрдых сплавов // Станки и инструмент. – М., 1990. – №1. –С.21-23.
15. Программа обеспечения ЭВМ. Пакет научных программ института математики, часть 18. – Минск: АН БССР, 1981, выпуск 34. –С.58.