

УДК 621.923

Ю.Г. Гуцаленко, ст. науч. сотрудник

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»,
ул. Фрунзе, 21, г. Харьков, Украина, 61002
gutsalenko@kpi.kharkov.ua*

ВЛИЯНИЕ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА РАСХОД АЛМАЗОВ ПРИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОМ ШЛИФОВАНИИ

Исследуется износ инструмента при алмазном шлифовании труднообрабатываемых материалов с различными скоростями круга и глубинами резания в условиях введения в зону резания электрических разрядов. Выявленная тенденция повышения удельного расхода алмазов с повышением скорости резания в обычном скоростном диапазоне согласуется с прогнозируемым поведением связки алмазно-металлической композиции шлифовального круга при высокоскоростной обработке.

Ключевые слова: *шлифование, скорость, инструмент, работоспособность, алмаз, износ.*

Введение. С повышением скоростей взаимодействующих в формообразующем контакте тел в теории и практике резания материалов связываются основные перспективы повышения производительности обработки и ее качества [1]. При этом в современных подходах к обеспечению стабильной работоспособности шлифовальных кругов формообразующий механический контакт объединяется с организацией дополнительных электрофизикохимических воздействий в зоне обработки, основной целью которых является принуждение инструментальной рабочей поверхности к обновлению, интенсивность которого должна определенным закономерным образом соответствовать интенсивности функционального износа осуществляющих резание абразивных зерен.

Эффективным способом реализации скоростной обработки, проверенным в экспериментальной и промышленной практике, является шлифование кругами с алмазно-металлическими композициями, испытывающими в зоне резания понижающее уровень металлической связки и тем самым обновляющее режущий рельеф воздействие электрических разрядов, в *alma-mater* метода (Харьковский политехнический институт) названное алмазно-искровым, а в последующем совместном, координируемым московским ЭНИМСом станкостроительном отраслевом опыте – алмазно-эрозионным [2]. Характерным примером в этом направлении является разработка внутришлифовального алмазно-эрозионного станка-полуавтомата модели 3М227ВРФ2 (3М227ВЭРФ2), согласно протоколу приемочных испытаний опытного образца, состоявшихся в период с 26 по 30 мая 1986 г. с представительским участием Харьковского политехнического института, благодаря конструктивно обеспечиваемой частоте вращения изделия до 1200 об/мин и повышенном до 120 мм допустимом диаметральном размере обрабатываемых поверхностей предоставляющем возможность увеличить производительность процесса шлифования в 1,5-2 раза при повышении стойкости круга в алмазно-эрозионном режиме в 10-15 раз. Таким образом в этой модели заложена возможность осуществления производительной обработки с увеличенными длинами срезов, разрешаемой физическими явлениями в зоне резания при алмазно-искровом шлифовании [1].

Важным фактором при этом является известное из классической физики влияние уже относительно небольших электрических токов на постоянные упругости и другие характеристики металлов. В первых фундаментальных исследованиях Г. Вертгейма в этом направлении, результаты которых были опубликованы им в Париже в 1848 г. [3], электрические токи в нескольких десятках ампер, т.е. сопоставимые с характеристикой современных серийных широкодиапазонных генераторов импульсов, применяемых для энергетического обеспечения электроразрядных процессов в зоне алмазно-искрового шлифования [1], существенно меняют свойства металлов, а именно уменьшают их сопротивление на разрыв при заметном снижении их модуля упругости. Это, в частности, свидетельствует в пользу электрического тока в зоне резания с позиций облегчения процесса массового микрорезания обрабатываемой поверхности абразивными зёрнами круга при алмазно-искровом шлифовании.

Постановка задачи. Дополнительную актуализацию внимания к физике процессов алмазно-искрового шлифования в контексте фактора скорости механического взаимодействия обрабатываемого и обрабатывающего тел в условиях ударно-волнового влияния электрических разрядов, сопровождаемого эрозионными эффектами термического разрушения, вызывает современная гипотеза о потенциальной возможности реализации нового подхода к совершенствованию технологического метода алмазно-искрового шлифования путем смещения производящего воздействия в область энергий разрушения металлических связей при высокоскоростной обработке [4].

В связи с этим представляет повышенный научно-практический интерес исследование влияния скорости резания на отражающий объемное разрушение и понижение рабочего уровня алмазно-

металлической композиции расход алмазов в ней в разрешенных традиционным металлорежущим оборудованием диапазонах варьирования скорости резания, вместе с окружной скоростью подачи припуска в зону обработки определяющей скорость перемещения пятна контакта электрического разряда по обрабатываемой и обрабатывающей поверхностям, а с этим и эффективность трансформации режущего рельефа в направлении стабилизации работоспособности шлифовального круга.

Условия постановки экспериментов и оценки их результатов. Произведенный при организационно-техническом планировании выполненного и представленного здесь исследования выбор материалов, относящихся к труднообрабатываемым, объясняется известной предпочтительностью метода алмазно-искрового шлифования в их обработке перед другими альтернативами с позиций технологической эффективности [1]. Выбор в качестве обрабатываемых именно вольфрамсодержащих теплоустойчивых материалов (хромовольфрамовая сталь 3Х2В8Ф и вольфрамокобальтовый сплав ВК6) объясняется стремлением к целенаправленному усложнению экспериментальной технологической задачи, методологически связанной с их термическим разрушением в пятне контакта электрического разряда. Выбор объектом обработки вольфрамокобальтового твердого сплава дополнительно обусловлен также историческим первенством этого класса материалов в этом качестве применительно к разработкам практических технологий алмазно-искрового шлифования широкомасштабного многоотраслевого назначения [2], что также восходит к исключительной комбинации физико-механических (твердость) и теплофизических (термостойкость) свойств основного сплавообразующего компонента – карбида вольфрама.

Являясь основополагающей характеристикой рабочих процессов механической обработки со снятием стружки, скорость резания тем не менее относится к факторам влияния на выходные показатели процесса шлифования, значимость количественных и (или) качественных изменений которых формально (аналитически) неочевидна, и занимает в ряду таких факторов особое место. В общем случае обоюдного рабочего перемещения обрабатываемой ($V_{заг}$) и обрабатывающей ($V_{кр}$) поверхностей рабочего контакта она определяется векторной суммой их линейных скоростей. Вследствие соблюдения, как правило, соотношения $V_{кр} \gg V_{заг}$, скорость резания при шлифовании, как правило, отождествляется со скоростью круга $V_{кр}$. Это допущение использовано и в представленном исследовании, где значения $V_{кр}$ во всех экспериментах попадают в диапазон $V_{кр} = (30 \div 60)V_{заг}$. При этом погрешность отождествления скорости резания с $V_{кр}$ находится в пределах (1,7 ÷ 2,9)%.

Экспериментальные исследования выполнялись на универсальном круглошлифовальном станке модели 3Б12, модернизированном для возможности осуществления алмазно-искрового шлифования с электрической изоляцией посадочного места инструмента на планшайбе, что при включении в электрическую цепь от источника технологического тока в зоне резания обрабатываемой заготовки и шлифовального круга служит электрической защитой корпуса станка и зоны управления им оператором.

Тахометрический контроль частоты вращения алмазного круга не проводился. По техническому паспорту универсального круглошлифовального станка модели 3Б12, число оборотов в минуту шпинделя наружного шлифования $n_{шп} = 2250$ об/мин. Расчётные (номинальные) диапазоны скорости резания в порядке их увеличения для алмазных кругов приведенных в таблице типоразмеров и принятые приближения составляют (м/с): 23,0 – 23,6 (≈ 25); 28,9 – 29,5 (≈ 30); 34,8 – 35,3 (≈ 35).

В качестве источников технологического тока для возбуждения электрических разрядов в зоне резания использовались промышленный блок электропитания для алмазно-эрозионных станков мод. ИТТ-35 (со средним током 8 А при шлифовании стали 3Х2В8Ф) и промышленный генератор униполярных импульсов мод. ВГ-3И (со средним током 4 А при шлифовании сплава ВК6).

Характеристика используемых в проведении исследований шлифовальных кругов и механические режимы обработки, фиксированные и переменные, приводятся в таблице 1.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. Практические результаты алмазно-искрового шлифования показывают, что в исследуемом диапазоне изменения $V_{кр}$, характерном для круглого наружного алмазного шлифования, в характере изменения расхода алмазов q_p от скорости круга $V_{кр}$ и поперечной подачи S_n , в этих зависимостях имеются как отличительные, так и общие черты при обработке 3Х2В8 и ВК6 (таблица 1). Общим является неуменьшение q_p с ростом $V_{кр}$. Для обработки наплавки это выражается в практически неизменном уровне q_p для $V_{кр} = 25$ м/с и $V_{кр} = 30$ м/с и росте при $V_{кр} = 35$ м/с, причём уменьшающемся по относительным приращениям q_p с 28 до 14% с возрастанием S_n с 0,004 до 0,012 мм/дв. ход.

В случае обработки твёрдого сплава, с увеличением $V_{кр}$ и S_n расход алмазов q_p непрерывно растёт, причём интенсивность роста q_p тем выше, чем выше S_n : при увеличении $V_{кр}$ с 25 до 35 м/с для $S_n = 0,01$ мм/дв. ход q_p возрастает в 2 раза, а для $S_n = 0,02$ мм/дв. ход и $S_n = 0,03$ мм/дв. ход уже соответственно в 3,6 и 5,9 раза. При этом увеличение $V_{кр}$ приводит к изменению характера влияния S_n на q_p : при меньшей скорости резания q_p меньше при большей глубине шлифования (эффект глубинной обработки с более равномерным нагружением большего числа одновременно работающих алмазных зёрен), а при увеличении скорости резания вектор изменения q_p совпадает с вектором изменения и $V_{кр}$, и

S_n . Здесь, по-видимому, для исследуемых алмазных кругов (конкретной марки (прочности) шлифпорошка, его зернистости, марки связки алмазоносного слоя) проявляется увеличение тепловых градиентов и, особенно, интенсификация динамики контакта алмазных зёрен и круга в целом с обрабатываемым материалом высокой твёрдости.

Таблица 1 – Расход алмазов при алмазно-искровом шлифовании труднообрабатываемых вольфрамсодержащих материалов

Обрабатываемый материал	Фиксированные механические режимы обработки		Алмазный круг	Скорость резания $V_{кр}$, м/с	Поперечная подача S_n , мм/дв.ход	Производительность Q мм ³ /мин	Расход алмазов q_p , мг/г
	Скорость заготовки $V_{зар}$, м/мин	Продольная подача $S_{пр}$, м/мин					
Тепло-стойкая наплавка 3Х2В8	40	0,8	IAI 200x10x5 AC6 160/125 4 M2-01	25	0,004	640	1,8
					0,008	1280	2,3
					0,012	1920	2,9
			IAI 250x20x5 AC6 160/125 4 M2-01	30	0,004	640	1,8
					0,008	1280	2,4
					0,012	1920	2,9
			IAI 300x20x5 AC6 160/125 4 M2-01	35	0,004	640	2,3
					0,008	1280	2,8
					0,012	1920	3,3
Твердый сплав ВК6	35	0,5	IAI 200x10x5 AC6 250/200 4 M2-01	25	0,01	500	2,4
					0,02	1000	1,6
					0,03	1500	1,1
			IAI 250x20x5 AC6 250/200 4 M2-01	30	0,01	500	2,8
					0,02	1000	3,2
					0,03	1500	3,5
			IAI 300x20x5 AC6 250/200 4 M2-01	35	0,01	500	4,8
					0,02	1000	5,8
					0,03	1500	6,5

При сопоставлении минимальных в условиях проведения представленных экспериментов уровней q_p , относительных приращений с ростом $V_{кр}$ и максимальных уровней q_p при обработке наплавки ($S_n = 0,012$ мм/дв. ход.) и твёрдого сплава ($S_n = 0,01$ мм/дв. ход.) соответственно наблюдаем 2,9 и 2,4 мг/г; 14 и 100 %; 3,3 и 4,8 мг/г. При этом режим обработки наплавки заметно интенсивней режима обработки твёрдого сплава (по глубине на 20%, по продольной подаче на 60%, по номинальной (расчётной) производительности – в 3,8 раза). В то же время твёрдость ВК6 (не менее HRA 88,5) значительно превосходит твёрдость 3Х2В8 (HRC 44 - 50 или, в приведенной оценке чисел твёрдости, HRA 72,5 - 76,0), в чём, очевидно, и заключено основное объяснение полученных результатов.

К тому же Fe , составляющий металлическую основу стали 3Х2В8Ф, в контексте оценки [4] способности испытывающих ударную нагрузку твердых металлов к взрыву за счёт квантовых процессов преобразования кинетической энергии в кристаллической решетке, несколько уступает W , являющемуся карбидообразующим металлом основы сплава ВК6, т. е. требует более скоростного (примерно на 10 %) разгона перед торможением о преграду для взрыва, минуя жидкое состояние, аналогично взрывному испарению металла связки шлифовального круга с образованием эрозионного следа (кратера) в пятне канала электрического разряда с достаточно большими характеристиками мощности и, соответственно, скорости волнового возбуждения, внутренней энергии и давления инициируемой им плазмы.

Заключение. Выявленная представленными исследованиями алмазно-искрового шлифования тенденции повышения удельного расхода алмазов с повышением скорости резания в ее обычном скоростном диапазоне согласуется с прогнозируемым поведением связки алмазно-металлической композиции шлифовального круга при высокоскоростной обработке в условиях действия электрических разрядов [4]. Этот феномен алмазно-искрового шлифования несомненно связан не только собственно с механикой процесса, но и с ее активацией высокоскоростными, до нескольких сотен метров в секунду и более, ударно-волновыми процессами развития электрических разрядов в зоне резания, дополнительно разгоняемых относительным перемещением обрабатывающего и обрабатываемого тел, в подвижном рабочем контакте которых они формируются и проистекают с захватом и взрывным испарением микрообъемов связки в пятнах каналов разрядов.

Анализ современных межотраслевых тенденций и перспектив научно-технического развития открывает принципиально новые возможности организационно-технологического развития алмазно-искрового шлифования. Используемые в практике военного дела и аналитико-прогностических оценках космогенных катастроф современные представления о взрыве металлов при сверхвысокоскоростном ударе, разрабатываемые в МГТУ им. Н.Э. Баумана (Россия) и Калифорнийском университете (США), позволяют превосходить и проводить предварительные теоретические исследования с новыми акцентами в организации процессов разрушения металлов в рабочей зоне алмазно-искрового шлифования и других видов комбинированной обработки, использующих высокоскоростные процессы воздействия на металл и электрические поля и токи в зоне обработки (например, процессы электроэрозионной обработки), а именно с использованием взрыва металла силой электромеханического воздействия как одной из перспективных технологических доминант в механообработке [4]. Несмотря на то, что такие, комбинированные взрывными эффектами потенциальные технологии алмазно-искрового шлифования пока неосуществимы при современном уровне технической достижимых скоростей шлифования, понимание отдаленной перспективы такого развития стимулирует поиск других комбинированных альтернатив в том же направлении взаимного дополнения и усиления эффектов механических и электрических воздействий, что является органической основой непревзойденных преимуществ алмазно-искрового шлифования, с достижением качественно нового интегрального результата, в особенности с избирательным предразрушением и разрушением металла, позволяющим создавать рабочие процессы повышенной продуктивности, устойчивости и управляемости.

Представленные результаты алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых вольфрамсодержащих материалов разной (высокой) твердости рекомендуется учитывать при разработке и экспериментальной проверке регламентов новых технологических процессов с заданной производительностью, с целью минимизации расхода алмазов и, следовательно, затрат на инструмент.

Библиографический список использованной литературы

1. Беззубенко Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: автореф. дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 / Н.К. Беззубенко, Харьк. гос. политехн. ун-т. — Харьков, 1995. — 56 с.

2. Гуцаленко Ю.Г. Алмазно-искровое шлифование: обзор сорокалетия разработки харьковской научной школы физики процессов резания // Физические и компьютерные технологии в народном хозяйстве: тр. 18-й междунар. науч.-практ. конф. — 2012, Харьков, 5 – 6 дек. 2012 г. — Харьков, 2012. — С. 79 – 88.

3. Wertheim G. Memoire sur l'equilibre des corps solides homogenes // Annales de Chimie. Paris. — 1948. — Т. 23. — Р. 52–95.

4. Гуцаленко Ю.Г. Особенности электроэрозионного разрушения металлов при высокоскоростном алмазно-искровом шлифовании // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я: матер. міжнар. наук.-практ. конф. — 2003, Харків, 15 – 16 трав. 2003 р. — Харків, 2003. — С. 17 – 26.

Поступила в редакцию 19.03.2013 г.

Гуцаленко Ю.Г. Вплив швидкості різання на витрати алмазів при алмазно-іскровому шліфуванні

Досліджується знос інструменту при алмазному шліфуванні важкооброблюваних матеріалів з різними швидкостями круга і глибинами різання в умовах введення в зону різання електричних розрядів. Виявлена тенденція підвищення питомої витрати алмазів з підвищенням швидкості різання в звичайному швидкісному діапазоні узгоджується з прогнозованою поведінкою зв'язки алмазно-металевої композиції шліфувального круга при високошвидкісній обробці.

Ключові слова: шліфування, швидкість, інструмент, працездатність, алмаз, знос.

Gutsalenko Yu.G. Analytical model and operating capability of diamond grinding with optimal support by developed cutting relief

The model of grinding with support of optimal constancy for velocity ratio between wear of cutting grains and lowering of diamond wheel binder in which they are contained is considered. A theoretical analysis of the possibilities of technological parameters control of the process output by adjusting the value of this ratio is presented. In the validation of the model examples of diamond-spark grinding experimental practice are given.

Keywords: grinding, tool, diamond, grain, binder, wear, model.