

УДК 621.923

Ю.Г. ГУЦАЛЕНКО, Харьков, Украина

ХАРАКТЕР И ПРИРОДА ВЛИЯНИЯ СКОРОСТИ РЕЗАНИЯ НА ИЗНОС КРУГОВ ПРИ АЛМАЗНО-ИСКРОВОМ ШЛИФОВАНИИ

На прикладах обробки наплавочного і твердосплавного матеріалів, що містять вольфрам, досліджується знос інструменту при алмазному шліфуванні з різними швидкостями круга і глибинами різання важкооброблюваних матеріалів 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.

На примерах обработки наплавочного и твердосплавного вольфрамосодержащих материалов исследуется износ инструмента при алмазном шлифовании с различными скоростями круга и глубинами резания труднообрабатываемых материалов 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.

The tool wear in diamond grinding of hard materials with a range of different speeds and depths of cut under the introduction to the cutting area of electrical discharges is investigated on examples of processing over welding and carbide materials with tungsten comprising. Ascertained tendency the increasing of specific diamond content under increased cutting speed in ordinary speed range agrees with the predicted behavior of a binder in diamond-metal composition of grinding wheel in high-speed machining.

Введение. Основные перспективы повышения производительности обработки и ее качества в теории и практике резания материалов связываются с повышением скоростей взаимодействующих в формообразующем контакте тел [1]. 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, приоритетным разработчиком метода (Харьковский политехнический институт) названное алмазно-искровым (АИШ), 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), благодаря конструктивно обеспечиваемой частоте вращения изделия до 1200 об/мин и повышенном до 120 мм допустимом диаметральном размере обрабатываемых поверхностей предоставляющего возможность осуществления производительной обработки с увеличенными длинами срезов, разрешаемой физическими явлениями в зоне резания при АИШ, с ее увеличением в 1,5-2 раза при повышении стойкости круга в алмазно-эрозионном режиме в 10-15 раз [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 несколько десятков ампер, т. е. сопоставимые с характеристикой современных серийных широкодиапазонных генераторов импульсов, применяемых для энергетического обеспечения электроразрядных процессов в зоне АИШ [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 АИШ.

Постановка задачи. Современную актуализацию внимания к физике процессов АИШ в контексте фактора скорости механического взаимодействия обрабатываемого и обрабатывающего тел в условиях

ударно-волнового влияния электрических разрядов, сопровождаемого эрозионными эффектами термического разрушения, привлекает гипотеза о потенциальной возможности реализации нового подхода к совершенствованию технологического метода АИШ 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 обрабатываемой 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 АИШ в их обработке перед другими альтернативами с позиций технологической эффективности [1]. Выбор в качестве обрабатываемых именно вольфрамсодержащих теплостойких 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 АИШ 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 $(1,7 \div 2,9)\%$.

Экспериментальные исследования выполнялись на универсальном круглошлифовальном станке модели ЗБ12, модернизированном для возможности осуществления АИШ 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 ЗБ12, 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 таблицами 1 (АИШ стали 3Х2В8Ф) и 2 (АИШ сплава ВК6).

Таблица 1 – АИШ теплостойкой наплавки 3Х2В8 со скоростью заготовки $V_{заг} = 40$ м/мин и продольной подачей $S_{пр} = 0,8$ м/мин

Алмазный круг	Скорость резания $V_{кр}$, м/с	Поперечная подача $S_{п}$, мм/дв.ход	Производительность Q мм ³ /мин	Расход алмазов q_p , мг/г
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

Таблица 2 – АИШ твердого сплава ВК6 со скоростью заготовки $V_{заг} = 35$ м/мин и продольной подачей $S_{пр} = 0,5$ м/мин

Алмазный круг	Скорость резания $V_{кр}$, м/с	Поперечная подача $S_{п}$, мм/дв.ход	Производительность Q мм ³ /мин	Расход алмазов q_p , мг/г
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

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение.

Практические результаты АИШ показывают, что в исследуемом диапазоне изменения $V_{кр}$, характерном для круглого наружного алмазного шлифования, в износном поведении кругов (q_p) в зависимости от скорости ($V_{кр}$) и поперечной подачи (S_n) при обработке 3Х2В8 (табл. 1) и ВК6 (табл. 2) имеются как отличительные, так и общие черты. Общим является неумножение 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 с ростом 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.

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. Представленная по результатам выполненных исследований АИШ тенденция 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 АИШ 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 организационно-технологические возможности совершенствования АИШ. 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 предвосхищать

и проводить предварительные теоретические исследования с новыми акцентами в организации процессов разрушения металлов в рабочей зоне АИШ 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 АИШ пока неосуществимы при современном уровне технически 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 АИШ, 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 АИШ труднообрабатываемых вольфрамсодержащих материалов разной (высокой) твёрдости рекомендуется учитывать при разработке и экспериментальной проверке регламентов новых технологических процессов с заданной производительностью, с целью минимизации расхода алмазов и, следовательно, затрат на инструмент.

Список использованных источников: 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 / 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., 5-6 дек. 2012 г. – Харьков: ГП ХМЗ «ФЭД», 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. 15-16 трав. 2003 р. – Х.: НТУ «ХПІ», 2003. – С. 17-26.