

УДК 621.7/9+929

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

АЛМАЗНО-ИСКРОВОЕ ШЛИФОВАНИЕ: ОБЗОР ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКОЙ И ПРОМЫШЛЕННОЙ ПРАКТИКИ РАЗРАБОТКИ ХАРЬКОВСКОЙ НАУЧНОЙ ШКОЛЫ ФИЗИКИ ПРОЦЕССОВ РЕЗАНИЯ И ИНТЕГРИРОВАННЫХ ТЕХНОЛОГИЙ МАШИНОСТРОЕНИЯ

Наведено стислий опис сорокап'ятиріччя розробки технологій, верстатів та інструментів алмазно-іскрового шліфування, яку було ініційовано у Харківському політехнічному інституті колективом науковців на чолі з М.Ф. Семко і М.К. Беззубенко. Представлено дані про напрямки і результати дослідницької практики та впровадження розробки у виробництво. Виконаний огляд звернень в історію науки і техніки та разом з тим повертає увагу до сучасно конкурентного і перспективного методу алмазно-абразивної обробки.

Ключові слова: машинобудування, важкооброблювані матеріали, стійкість круга, електричний розряд, алмазно-іскрове шліфування, продуктивність, якість обробки, технологічна надійність, експлуатаційна довговічність

Приведено краткое описание сорокапятилетия разработки технологий, станков и инструментов алмазно-искрового шлифования, которую было инициировано в Харьковском политехническом институте коллективом ученых под руководством М.Ф. Семко и Н.К. Беззубенко. Представлены данные о направлениях и результатах исследовательской практики и внедрения разработки в производство. Выполненный обзор обращен в историю науки и техники и вместе с тем привлекает внимание к современно конкурентному и перспективному методу алмазно-абразивной обработки.

Ключевые слова: машиностроение, труднообрабатываемые материалы, стойкость круга, электрический разряд, алмазно-искровое шлифование, производительность, качество обработки, технологическая надежность, эксплуатационная долговечность.

Considered description of forty-five years of diamond-spark grinding technology, machines and tools development that was initiated at Kharkov Polytechnic Institute by collective of scientists at the head of M.F. Semko and N.K. Bezzubenko is given. The information about directions and results of research development and application to production is presented. The completed review turns into the history of science and technology and at the same time draws attention to the modern competitive and promising method of diamond-abrasive processing.

Keywords: mechanical engineering, hard-to-work materials, circle stability, electric discharge, diamond-spark grinding, productivity, processing quality, technological reliability, operational durability.

Научно-техническое соперничество СССР и США, в особенности бурное развитие обеими сверхдержавами во второй половине XX века ракетно-космического материаловедения, стимулировало появление в мировой практике новых высокопрочных и высокотвёрдых, термо- и износостойких труднообрабатываемых материалов. Обострение комплекса проблем производительности, качества и стабильности механической обработки побудило к разработке новых технологических подходов, объединению

известных технических решений в поиске принципиально новых результатов функционирования станков и инструментов.

М.Ф. Семко, ученика профессора Н.И. Резникова в предвоенной истории и заведующего кафедрой резания металлов и металлорежущих инструментов, ректора Харьковского политехнического института в его более чем тридцатилетнее послевоенное время, всегда отличала способность верной оценки перспектив развития науки и практики резания материалов, основанная на глубочайшем профессиональном интеллекте. После создания в СССР первых синтетических алмазов и организации их промышленного производства – с начала 60-х годов – он концентрирует усилия руководимого им коллектива на разработке физических основ резания инструментами из сверхтвердых материалов, посвящает этой проблематике вводную статью в первом выпуске организованного им республиканского межведомственного научно-технического сборника «Станки и режущие инструменты» [1], ныне известного как «Резание и инструмент в технологических системах», последовательно определяет направления исследований и создает научную школу алмазной обработки материалов.

Именно такой – Алмазная обработка материалов – он видит приоритетную серию выпусков сборника и так называет ее начиная с первого, потом четвертого, потом седьмого... По сути провидчески заострив работу наследия учителя-предшественника – научной школы физики процессов резания – на стратегическом направлении развития механической обработки и обеспечивающей это развитие технологической науки. При самом непосредственном организующем и деятельном участии Н.К. Беззубенко, ученика М.Ф. Семко, одним из заметных результатов этой работы и стала приоритетная разработка метода алмазно-искрового шлифования – принципиально нового метода абразивной обработки инструментами из сверхтвердых материалов [2-6].

Сущность метода заключается в том, что в зону резания целенаправленно вводится энергия в форме электрических импульсов определенной мощности, формы, продолжительности и частоты, в том числе с дополнительным наложением ультразвуковых колебаний. Работа проводится в среде простых, безвредных и экологически чистых смазывающе-охлаждающих жидкостей.

На первом этапе разработки, в 70-е годы, были заложены начала научных и технологических основ этого метода. Непререкаемый научный авторитет М.Ф. Семко, энтузиазм и профессиональная компетентность Н.К. Беззубенко, их талант образовывать вокруг себя и своего дела круг увлеченных единомышленников, позволили объединить в этой разработке усилия специалистов нескольких кафедр и лабораторий Харьковского политехнического института, добиться в 1976 – 1979 гг. принятия решений ГКНТ СССР по развитию разработки в государственном масштабе. Именно

такого масштаба были личности М.Ф. Семко и Н.К. Беззубенко, учёных и просветителей. Несомненной их заслугой в научно-практическом продвижении передовой разработки, немислимом в государственном масштабе как без ведущей роли М.Ф. Семко, так и без поддержки ведомым им Н.К. Беззубенко, является и то, что им удалось привлечь к ней деятельное внимание головной профильной организации СССР – Экспериментального НИИ металлорежущих станков (ЭНИМС, г. Москва), уже в 1973 году, действуя в рамках заключенного с ХПИ договора о содружестве, проведшего собственные исследования процесса, и уже по их первым результатам активно и последовательно включившегося в разработку, постепенно из статуса партнера ХПИ в ней перейдя в статус координатора государственной научно-технической программы создания техники и технологий алмазно-искрового шлифования.

Завершением первого этапа разработки можно считать проверку в производстве технологического процесса алмазно-искрового шлифования твердосплавных изделий [7], завершение в 1980 году предусмотренного постановлением ГКНТ СССР № 390 от 16.07.76 формирования совместно с НПО ЭНИМС (НИИ и завод "Станкоконструкция"), отраслевыми станкостроительными заводами и специальными конструкторскими бюро технических заданий на создание и освоение производства заточного, кругло- и внутришлифовальных станков для алмазно-эрозионной (алмазно-искровой) обработки.

Увы, заканчивать эти работы, предъявленные Государственной приёмочной комиссии в 1980 году и получившие её высокую оценку [8], Н.К. Беззубенко пришлось уже без М.Ф. Семко – их главного инициатора и вдохновителя.

При алмазно-искровом шлифовании, в сравнении с обычным шлифованием, в два раза и более повышается и стабилизируется во время работы режущая способность абразивного инструмента, что обуславливает повышение производительности, многократно повышается период стойкости круга, вследствие чего значительно снижаются затраты на его правку, на 25-40% снижаются затраты энергии на срез металла, главным образом вследствие снижения потерь на трение связки круга с заготовкой и стружкой, в 1,3-1,5 раза снижается сила резания и средняя температура в зоне шлифования, повышается качество обработки (отсутствие прижогов, микротрещин, других дефектов).

Отсутствие засаливания круга и стабильное обеспечение необходимого выступления режущих зерен над поверхностью связки позволяют, используя этот метод, обрабатывать твёрдые сплавы, безвольфрамовые твёрдые сплавы, нержавеющей, жаропрочные, титановые сплавы, немагнитные и магнитные материалы, износостойкие, труднообрабатываемые наплавки и покрытия, сверхтвёрдые материалы, высокопрочные керамики, силицированный графит,

а также цветные металлы и другие материалы, шлифование которых обычными методами затруднено.

В 1982 году разработка была отмечена дипломом, а ряд представлявших экспонаты ее участников – медалями ВДНХ СССР: золотой (Семко М.Ф.), серебряной (Беззубенко Н.К.) и двумя бронзовыми (Кобзарь Л.Е. и Сальтевский И.С.).

Таблица 1 – Специальные станки-полуавтоматы алмазно-искрового шлифования заводов-производителей в СССР (СНГ):

МСЗ – Мукачевский станкостроительный завод (Украина);

ВЗЗС – Витебский завод заточных станков (Беларусь);

ЛЗШС – Ленинканский завод шлифовальных станков (г. Гюмри, Армения);

ВЗШС – Вильнюсский завод шлифовальных станков (Литва);

СЗШС – Саратовский завод шлифовальных станков (Россия);

ОСШ – Оршанский станкостроительный завод (Беларусь)

Тип станка	Завод	Модель	Объект обработки
Заточной	МСЗ	3В624	Резцы (задние поверхности)
		3629Р	Резцы и выглаживатели (радиусные поверхности)
		3В626	Резцы (передние поверхности)
	ВЗЗС	3Е667РФ1	Фрезерные головки
		3М667Ф2	Фрезы торцовые
		ВЗ-184Р	Коронки буровые
Круглошлифовальный	ЛЗШС	3К12Р	Наружные поверхности вращения
		3У12ВРФ11	
	ВЗШС	ВТ-82	
Внутришлифовальный	СЗШС	3К227ВР	Внутренние поверхности вращения
		3М227ВЭРФ2	
Плоскошлифовальный	ОСШ	ОШ-226	Плоские поверхности

Следующий этап разработки (80-ые – 90-ые годы) связан с освоением промышленного выпуска специальных станков (табл. 1) и источников технологического тока, широким внедрением разработки в практику металлообрабатывающих отраслей. Государственной программой развития станкостроения СССР на 1986-1990 гг. и на период до 2000 г. предусматривалось расширение технологических возможностей шлифовального оборудования за счёт их дооснащения системами для электроэрозионной правки кругов и стабилизации их режущей способности.

Предусматривалась, в частности, замена станками этого типа большинства ранее выпущавшихся моделей алмазно-электрохимических станков, как не обладающих необходимой эксплуатационной надежностью [9].

В этот же период интерес к подобным разработкам наблюдается и за рубежами СССР. Так, японская фирма Nicco Machine Tool Co разрабатывает к 1986 году серию NSG-52 плоскошлифовальных станков с ЧПУ с использованием системы "Comtec" для электроразрядной правки кругов, обеспечивая тем самым повышение производительности (в 1,4 – 2,5 раза) и качества обработки.

90-е годы отмечаются обобщением теоретических обоснований метода, накопленного опыта лабораторных и промышленных исследований [10, 11]. В условиях опытно-экспериментальной базы филиала возглавляемой Н.К. Беззубенко кафедры «Автоматизация и комплексная механизация машиностроения» на машиностроительном заводе «ФЭД» впервые исследуются технологические возможности алмазно-искрового шлифования с наложением ультразвуковых колебаний [12]. При комбинированном шлифовании с наложением ультразвуковых колебаний действие электрических разрядов обеспечивает формирование рабочего рельефа инструмента и поддержание его режущих свойств при работе, а ультразвук влияет на состояние межэлектродного зазора, способствует иницированию разрядов и повышению их равномерности, изменяет кинематику режущих элементов (их траекторию, геометрию). Колебания создают кавитацию жидкости, активизируя её поверхностно-"режущие" действия, смазывающие и очищающие свойства, что снижает трение, устраняет наросты и налипания. В результате облегчается процесс микрорезания и улучшаются условия формирования обработанной поверхности.

Современный период развития разработки характеризует обращение к аналитическим подходам описания условий устойчивости процесса шлифования, повышения на этой основе уровня прогнозирования и обеспечения технико-экономических показателей алмазно-искровой обработки в реальных условиях [13, 14], эффективной поддержки конструкторской, технологической и организационной подготовки производства (у производителя станков и инструментов) [15], повышения производительности и качества производства, эксплуатационных характеристик шлифованных деталей (у потребителей алмазно-искровых технологий и их продукции) [16].

Помимо ХПИ и НПО ЭНИМС, других проектных, исследовательских и производственных предприятий и организаций станкоинструментальной промышленности в образовавшихся с распадом СССР государствах, прошедшие годы отмечены исследованием и развитием алмазно-искрового шлифования усилиями воспитанников и партнёров харьковской научной школы физики процессов резания в университетских и научно-

производственных центрах Германии (Магдебург), Венгрии (Мишкольц), Индии (Нью-Дели), Вьетнама (Ханой), Нигерии (Абуджа), Армении (Ереван), России (Белгород, Курск, Пенза), Украины (Киев, Днепропетровск, Донецк, Мариуполь, Севастополь, Сумы).

В сорокапятилетии от первого анонсирования разработки в 1972 г. [2] и последовавшей за ним первой официальной защиты диссертационного исследования процесса с новым термином «алмазно-искровое шлифование» [5], выполненного одним из авторов базового изобретения [2] А.Т. Калашниковым под совместным руководством также авторов [2] М.Ф. Семко и Н.К. Беззубенко, в НТУ «ХПИ» на кафедрах «Резание материалов и режущие инструменты» (ныне – «Интегрированные технологии машиностроения» им. М.Ф. Семко) и «Автоматизация и комплексная механизация машиностроения» (ныне – в составе объединенной кафедры «Технология машиностроения, металлорежущие станки и инструменты») накоплен обширный опыт разработки и сопровождения внедрения модернизированной и новой техники и технологий; подготовки и переподготовки персонала обслуживания внедряемой техники и технологий; выполнения наукоёмких заказов промышленности, научно-исследовательских и проектных организаций по изготовлению изделий из труднообрабатываемых материалов технологиями алмазно-искрового шлифования.

Основу привлекательности реализации разработок в тематическом поле алмазно-искрового шлифования для машиностроительных, приборостроительных, станкоинструментальных и других предприятий (через создание специальных и модернизацию (расширение технологических возможностей) универсальных шлифовальных станков и производственных модулей, комплектующих такие станки и модули инструментов из сверхтвёрдых материалов и электрофизических систем специального (дополнительного) энергообеспечения; их эксплуатацию) составляют существенное повышение производительности алмазного шлифования и заточки (в 1,5 – 3 раза), режущей способности и стойкости инструмента, вероятности бездефектной обработки, сокращение удельных энергозатрат на механическую обработку, повышение фондоотдачи производственного оборудования и производственных площадей, высвобождение обслуживающего персонала - при дополнительных затратах на модернизацию станка и оснащение его источником (генератором) дополнительной энергии общим объёмом дополнительных затрат 20 – 25% стоимости обычного оборудования.

В сорокапятилетней исторической ретроспективе алмазно-искрового шлифования внедрение разработки концентрировалось на двух основных направлениях:

- промышленные технологии комбинированного шлифования деталей и заточки инструмента (преимущественно предприятия станкоинструментальной и приборостроительной отраслей Украины и России, в том числе ведущие – Полтавский алмазный завод, Изюмский приборостроительный завод и др.);
- рекомендации и технические задания для создания специальных шлифовальных и заточных станков и производственных модулей (ЭНИМС (г. Москва, Россия) и станкостроительные предприятия Украины, России, Беларуси, Армении, Литвы).

Только от выпуска и реализации в промышленности в 1984 – 1990 гг. 400 специальных станков–полуавтоматов модели 3В624 (Мукачевский станкостроительный завод) годовой экономической эффект в сопоставимых ценах превысил 1,7 млн. долларов США. В целом по промышленности за период 1981 – 1990 гг. известный суммарный экономический эффект превысил 2,5 млн. долларов США, в том числе свыше 450 тыс. долларов США – за счёт внедрения промышленных технологий комбинированного шлифования и заточки в условиях модернизации универсального оборудования [11, 17].

В 1998 – 2005 гг. в условиях филиала НТУ «ХПИ» на ГП ХМЗ ФЭД, а также на базе изучения организации производства и производственной номенклатуры ОАО «Харьковский станкостроительный завод» были разработаны научно обоснованные рекомендации по назначению технологических параметров комбинированного алмазного шлифования, предложены и включены в производственный цикл прогрессивные технологии ряда изделий авиа- и станкостроения, в том числе из труднообрабатываемых сплавов и с повышенными требованиями к точности и качеству обработки. Эта совместная разработка харьковских политехников и заводчан представлялась и отмечена дипломом на региональной выставке - ярмарке «Наука Харьковщины - 2000» (23-25 февраля 2000 г.), а также на ряде других региональных, национальных и международных выставок 2000 – 2006 гг. в Харькове, Киеве, Москве.

В 1991 – 2000 гг. только по предприятиям авиационного машиностроения в г. Харькове, Харьковской и Луганской областях подтверждённый годовой экономический эффект от внедрения разработки составил свыше 1,1 млн. руб. в ценах 1991 г., а после 2001 г. – только по г. Харькову, и только в станкостроительном и авиамашиностроительном сегментах промышленности – свыше 750 тыс. грн. или ок. 100 тыс. долларов США.

В продвижении разработки в промышленность наряду с НТУ «ХПИ» и его филиалами на промышленных предприятиях г. Харькова участвуют и иногородние воспитанники и партнеры харьковской научной школы физики процессов резания по ее развитию и адаптации к конкретным научно-

производственным задачам. Например, усилиями доц. С.М. Братана (впоследствии профессор, зав. кафедрой технологии машиностроения СевНТУ) и асп. А.П. Фалалеева (впоследствии профессор, проректор по научной работе того же университета) в 1996 г. разработка получила «прописку» в АО Судоремонтный завод «Залив» (г. Керчь), и т.д.

Внедрение ближайших новых результатов (после 2010 года), полученных под руководством профессора М.Д. Узуяна на кафедре-основателе метода алмазно-искрового шлифования его молодыми исследователями [18, 19], только по первому опыту заточки на Харьковском электротехническом заводе «Укрэлектромаш» твердосплавных инструментов из ультрасовременного монокарбида вольфрама с субмикро- и наноразмерной структурой и повышенной плотностью компактирования [20], обеспечиваемыми передовыми технологиями электроспекания под давлением, оценено предприятием в 46,8 тыс. грн. годового экономического эффекта [18]. Результаты работы [21] по приложению метода алмазно-искрового шлифования к высококачественной заточке инструментов (резцов) с пластинами из сверхтвердых материалов – алмазно-твердосплавными и на основе кубического нитрида бора – в рамках выполнения научно-исследовательской тематики государственного бюджетирования [22] внедрены в производственную практику ПАО «Харьковский подшипниковый завод» с годовым экономическим эффектом 83,0 тыс. грн. (2015 г.).

Комплекс выполненных исследований и сформировавшихся по их результатам физических представлений о рабочих процессах алмазно-искрового шлифования, помимо резания материалов, способствует развитию и других научно-технических отраслей, в том числе современного инструментального материаловедения: подбор рациональных давлений плотной консолидации порошков из тугоплавкой инструментальной керамики в циклах электроспекания с прямым токоподводом, реализуемых в отношении объектов получения [20] и последующей окончательной обработки [18], следует производить с учетом впервые установленного [23] определенного подобия функций электрического разряда в технологиях электроконсолидации порошковых инструментальных материалов и алмазно-искрового шлифования.

И наоборот, 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 [24] позволяют предвосхищать 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 механического или электрического воздействия как одной из перспективных технологических доминант в механообработке [25, 26]. Несмотря на то, что такие, комбинированные взрывными эффектами потенциальные технологии алмазно-искрового шлифования 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 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.

Метод алмазно-искрового шлифования, отмеченный Кабинетом Министров Украины в рамках посвященной 20-летию независимости страны общегосударственной акции «Барвыста Украина» как «Лучший отечественный товар 2011 года», реально является конкурентоспособным источником эффективных комбинированных рабочих процессов и технологических решений такого рода в современной экспериментальной и широкой промышленной алмазно-абразивной практике изготовления изделий из труднообрабатываемых материалов.

Высокая оценка современной значимости метода в конкурентоспособном развитии промышленности Украины в самом НТУ «ХПИ», по инициативе руководства университета выдвинутого на авансцену юбилейного всеукраинского смотря-конкурса, высшая оценка на самом конкурсе способствовали возвращению проблематики развития метода в пространство проектов конкурсного отбора за право государственного бюджетирования под эгидой профильного министерства. В 2012 году разрабатывается и подается на министерский конкурс проект прикладной направленности, призванный «собрать камни» исследований и внедрений метода во всей его ретроспективе. В это же время трагически роковой для обоих ведущих инициаторов метода сентябрь, в 1979 году ставший последним в жизни М.Ф. Семко, в 2012 году после продолжительной болезни забирает жизнь Н.К. Беззубенко, которому таки удалось познать всеукраинский триумф своего детища в рамках посвященной 20-летию независимости страны выставки-ярмарки достижений регионов «Барвыста Украина»...

Проект 2012 года по научно-прикладному обобщению и анализу опыта

разработки и апробаций метода опроходит конкурсный отбор и выполняется в НТУ «ХПИ» в 2013-2014 гг. при государственной финансовой поддержке по плану НИОКР Министерства образования и науки, молодежи и спорта под руководством профессора А.И. Грабченко [27], возглавившего после М.Ф. Семко кафедру-основатель метода и её научную школу физики процессов резания, со временем всё более охватывающую своим вниманием и интегрированные технологии машиностроения, в новом веке – в особенности компьютерно интегрированные быстрого аддитивного прототипирования лазером [8]. К этому времени, надо заметить, в вузе уже имелся опыт научно-практической разработки лазерной правки алмазных шлифовальных кругов на металлических связках (Добровольская Л.Г., 1995 г. [28], и Добротворский С.С., 1996 г. [29]), потенциально конкурирующей с органически присущей алмазно-искровому шлифованию правкой инструмента в зоне режущего контакта, но не получившей широкого использования. Здесь надо воздать должное масштабу личности Н.К. Беззубенко как истинного рыцаря науки и технического прогресса, поскольку технологически конкурентные методу алмазно-искрового шлифования работы [28, 29] в основном были выполнены вышеназванными исследователями на возглавляемой им кафедре.

Как уже отмечалось выше, в текущем десятилетии нового века в базовой научной школе активизируется внимание к проблематике теоретического осмысления и практических возможностей, расширения объектов и организации эффективных применений метода. Под руководством профессора М.Д. Узуяна успешно завершаются диссертационные исследования, одно из которых посвящается уже выше отмеченному в связи с обращением к одному из примеров практической востребованности метода промышленностью в недавней ретроспективе (Харьковский электротехнический завод «Укрэлектромаш», 2011 г.) алмазно-искровому шлифованию тонкозернистого монокарбида вольфрама (Стрельчук Р.М., 2011 г. [18]), другое – алмазно-искровому шлифованию твердых сплавов с применением экологически предпочтительной технологии минимальной смазки (Агу Коллинз Агу – именно ему обязана Нигерия присутствием в приведенном выше списке дислокации резидентов-специалистов практики этого метода обработки, 2011 г. [19]), третье, также отмеченное выше в связи с использованием результатов в реальном секторе экономики (ПАО «Харьковский подшипниковый завод», 2015 г.), – обеспечению качества двухслойных алмазных пластин при алмазном шлифовании (Руднев А.В., 2017 г. [21]).

В ходе выполнения НИР [27] автором этих строк инициируется идея производства алмазно-абразивных инструментов для алмазно-искрового шлифования на универсальных станках с локальной токоизоляцией в местах посадочного контакта с инструментальным шпинделем станка металлических

корпусов алмазных шлифовальных кругов на металлических связках [30], посредством которых реализуется этот метод обработки. Токоподвод к таким кругам через свободную от электрической изоляции поверхность инструмента позволяет осуществлять алмазно-искровое шлифование на универсальном станке без специального модернизационного вмешательства в ответственный за его точность шпиндельный узел.

Патентная защита первой из предложенных конструкций шлифовального круга, заключающейся в электроизоляционном микродуговом окислении посадочного отверстия инструмента с алюминиевым корпусом, осуществлена совместно с энтузиастами инструментальной конверсии алмазно-искрового шлифования, специалистами-электрохимиками кандидатами технических наук ст. науч. сотрудником Севидовой Е.К. и доцентом Степановой И.И. и завершена в 2015 году [31].

Предварительные экспериментальные проверки функциональной работоспособности микродуговых алюмооксидных покрытий, а также специально разработанных на электроизоляционной эпоксидной основе [32], натуральных образцов алмазных шлифовальных кругов новых конструкций с их использованием по прямому назначению позволили обосновано подойти к подготовке ныне выполняемого в НТУ «ХПИ» двухгодичного проекта по разработке конструктивно-технологических основ и технических решений алмазных инструментов повышенной функциональности в реализации электрофизикохимических методов шлифования, в 2016 году получившего высокую оценку экспертов и почетный статус проекта-победителя среди 44-х соискателей государственного бюджетного финансирования в конкурсном отборе по секции «Машиностроение» Научного совета Министерства образования и науки Украины. Промежуточные результаты выполнения этого проекта отражены в научно-техническом отчете по первому этапу (2017 год) [33]. Выполнением этапа заложены предпосылки создания оригинальной системы технических и технологических решений по дальнейшему повышению эффективности комбинированного введением энергии электрического тока в зону резания алмазного шлифования, конкурентоспособности национальных конструкторско-технологических разработок станкоинструментальной систем с расширенными возможностями алмазно-абразивной обработки, а также началу нового системологического направления в классификации и производстве алмазно-абразивных инструментов.

Во всем сорокапятилетии алмазно-искрового шлифования научно-практическая разработка метода, его изучение и индустриализация осуществлялись в содружестве с академическими научными институтами и производственными предприятиями, опирались и ныне опираются на сотрудничество с их ведущими учеными и специалистами, в особенности на

выпускников НТУ «ХПИ» и тех из них, кто имеет опыт работы с методом в лабораторных практиках в стенах alma mater, хорошо знаком с ним по совместным исследованиям на экспериментальных площадках научной школы или по собственной производственной практике. За время своего существования метод алмазного шлифования завоевал доверие и уважение у многих профессионалов вне НТУ «ХПИ». Среди них – ныне начальник лаборатории сверхтвердых аморфных алмазоподобных и поликристаллических алмазных покрытий ННЦ «ХФТИ», доктор физико-математических наук, старший научный сотрудник, лауреат Государственной премии СССР Стрельницкий В.Е., в ушедшем веке прошедший в научной школе физики процессов резания совместную экспериментальную практику криогенного охлаждения зоны резания, а в нынешнем – электрохимических исследований высокофункциональных покрытий. Принятие Стрельницким В.Е. предложения к участию в разработке и выполнении проекта [33] существенно усилило его кадровое обеспечение и стало заслуживающим публичного признания весомым фактором обеспечения успеха проекта на конкурсном этапе его жизненного цикла.

В ближайшей ретроспективной семилетке 2012 – 2018 гг. о своей заинтересованности в имплементации метода, первичной или расширенной, или ее уже проведенном осуществлении официально заявили [27, 22, 33] ГП «Завод им. В.А. Малышева», ГП ХМЗ «ФЭД», ГП «Электротяжмаш», ОАО «Турбоатом», ПАО ХМЗ «Свет шахтера», ПАО «Харьковский подшипниковый завод», ООО «Кермет-У», Институт проблем машиностроения им. А.Н.Подгорного НАН Украины (все – г. Харьков), Институт сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля НАН Украины (г. Киев), ПАО «Полтавский алмазный инструмент» (г. Полтава).

Возвращаясь к актуализации возникновения алмазно-искрового шлифования обострившимся научно-техническим соперничеством сверхдержав, следует заметить, что и сегодня это соперничество в центре геополитической и глобальной экономической конкуренции. В связи с этим отнюдь не случайным представляется присутствие приведенной первой четверки из перечисленного выше десятка предприятий и учреждений в перечне объектов государственной собственности, являющихся стратегически значимыми для экономики и безопасности государства согласно постановления Кабинета Министров Украины № 83 от 4 марта 2015 г.

В разработке алмазно-искрового шлифования, в конце третьей четверти прошлого века шагнувшего в мир техники и технологий из возглавляемой М.Ф. Семко харьковской научной школы физики процессов резания, в разные годы приняли участие десятки сотрудников ряда кафедр и лабораторий Харьковского политехнического института. Она стала достойным всесоюзным детищем в эпоху СССР, продолжается в новом веке, заслуженно

является гордостью НТУ «ХПИ», и нет никакого сомнения, что и число ее энтузиастов, и ряд поддерживающих ее развитие и практику научно-исследовательских институций и промышленных предприятий еще многие годы будут произрастать, как не исчерпает себя и сам метод алмазно-искрового шлифования, открывающий своим исследователям все новые и новые грани технологических, экономических и экологических возможностей и перспектив; являющий собой искорки светлой памяти о М.Ф. Семко и Н.К. Беззубенко, аспирантом которых соответственно в 1978-1979 гг. и в 1979-1980 гг. автор этой обзорной статьи имел честь быть и которым благодарно ее посвящает.

Список использованных источников: 1. Семко, М.Ф. О некоторых физических особенностях процесса резания алмазным инструментом / М.Ф. Семко // Станки и режущие инструменты. Респ. межведомств. науч.-техн. сб. – Вып. 1. – Алмазная обработка материалов. – Харьков: Изд-во Харьк. гос. ун-та, 1966. – С. 3-9. 2. Семко, М.Ф. Способ абразивной обработки металлов: А.с. 494130 СССР, МКИ¹ В 24 в 1/00, В 23 р 1/10 / М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко, И.С. Сальтвевский, А.Т. Калашиников. – № 1828222/25-8; заявл. 12.09.72; опубл. 25.08.76. Бюл. № 31. 3. Семко, М.Ф. Электроэрозионная правка алмазных кругов на металлических связках / М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко, Э.Б. Михайлуца // Синтетические алмазы. – Вып. 4. – 1974. – С. 14-17. 4. Семко, М.Ф. Интенсифицированный способ алмазно-искрового шлифования / М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко, И.С. Сальтвевский, А.Т. Калашиников // Новые технологические процессы. – М.: ГосИНТИ. 1975. – Вып. 11-75. – С. 1-4. 5. Калашиников, А.Т. Исследование физических особенностей и технологических возможностей алмазно-искрового шлифования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.03 – обработка материалов резанием / А.Т. Калашиников, Харьк. политехн. ин-т [выполнена], Моск. высш. техн. училище им. Н.Э. Баумана [защищена]; науч. рук.: М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко. – М., 1976. – 22 с. 6. Семко, М.Ф. Разработки на уровень изобретений / М.Ф. Семко, Н.К. Беззубенко // Ленинские кадры. – 31 августа 1979. – № 25. – С. 2. 7. Беззубенко, Н.К. Разработать и проверить в производстве технологический процесс алмазного шлифования деталей из твердых сплавов с воздействием электрическими разрядами на режущую поверхность круга и обрабатываемую деталь, обеспечивающий повышение (в 2 раза) производительности труда и качества обработки, выдать рекомендации по внедрению этого процесса на машиностроительных предприятиях (Дополнит. задание Гос. ком. по науке и технике СССР, постановление № 80 от 3 мая 1979 г.): Отчет о НИР / Н.К. Беззубенко, Н.П. Иванов, Ю.Г. Гуцаленко, Н.Н. Серова, П.К. Скоробогатько; рук. темы Н.К. Беззубенко. – № гос. рег. 80016180; Инв. № Б924882. – Харьков. политехн. ин-т; Проблемная науч.-исслед. лаб. физики процессов резания инструментами из сверхтвердых поликристалл. материалов. – Харьков, 1980. – 99 с. 8. Машинобудівний факультет. 125 років у складі ХПІ: монографія / За заг. ред. А.І. Грабченка і М.С. Степанова. – Х.: Вид-во «Курсор», 2010. – 212 с. 9. Коньшин, А.С. Шлифовальные станки в двенадцатой пятилетке / А.С. Коньшин // Механизация и автоматизация производства. – М.: Изд-во "Машиностроение". – 1987. – № 4. – С. 6-9. 10. Кобзарь, Л.Е. Прогрессивное алмазно-искровое шлифование / Л.Е. Кобзарь, В.А. Фадеев, Н.К. Беззубенко. – Харьков: ХГПУ – ХНПО «ФЭД», 1995. – 152 с. 11. Беззубенко, Н.К. Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: Дис. ... докт. техн. наук: 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты / Н.К. Беззубенко, Харьк. гос. политехн. ун-т. – Харьков, 1995. – 468 с. 12. Набока, Е.В. Интенсификация алмазно-искрового шлифования ультразвуковыми колебаниями // Резание и инструмент в технологических системах / Е.В. Набока. – Харьков, 1997. – Вып. 51. – С. 186-190. 13. Новиков, Ф.В. Эффективность применения алмазного электроэрозионного шлифования / Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко // В кн.: Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения / Под

общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10-ти томах. – Т. 6 : Качество обработки деталей машин. – Одесса : ОНПУ, 2003. – С. 171-220. **14. Новиков, Ф.В.** Оптимизация параметров энергетически равновесного процесса алмазного шлифования / *Ф.В. Новиков, Г.В. Новиков, Ю.Г. Гуцаленко* // В кн. : Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологий машиностроения / Под общ. ред. Ф.В. Новикова и А.В. Якимова. В 10-ти томах. – Т.9 : Проектирование технологических процессов в машиностроении. – Одесса : ОНПУ, 2005. – С. 477-509. **15. Гуцаленко, Ю.Г.** Доцільність і особливості організації торцевого планетарного шліфування у електрофізикохімічних технологіях / *Ю.Г. Гуцаленко* // Вісн. Харк. нац. техн. ун-ту сіл. госп-ва. – 2010. – Вип.106: Техн. сервіс АПК, техніка та технології у с.-г. машинобудуванні. – С. 134-140. **16. Узунян, М.Д.** Алмазно-іскрове шліфування твердих сплавів / *М.Д. Узунян*. – Х. : НТУ «ХПІ», 2003. – 359 с. **17. Беззубенко, Н.К.** Алмазно-іскрове шліфування: краткий обзор разработки харьковской научной школы физики процессов резания / *Н.К. Беззубенко, Ю.Г. Гуцаленко* // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : Матеріали міжнар. наук.-практ. конф. 18-19 трав. 2006 р., присвяч. 100-річчю з дня народження М.Ф. Семка. – Х. : Вид-во „Курсор”, 2006. – С. 60-66. **18. Стрельчук, Р.М.** Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокрибу вольфраму : Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / *Р.М. Стрельчук*, Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т»; наук. кер. М.Д. Узунян. – Х., 2011. – 193 с. **19. Азу Коллінз Азу.** Підвищення ефективності алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів шляхом застосування технології мінімального змащування : Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / *Азу Коллінз Азу*, Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т»; наук. кер. М.Д. Узунян. – Х., 2011. – 177 с. **20. Геворкян, Е.С.** Щільні та поруваті конструкційні матеріали з нано- та субмікронних порошків WC, Al₂O₃ і SiC поліфункціонального призначення : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.17.11 – технологія тугоплавких неметалічних матеріалів / *Е.С. Геворкян*, Укр. держ. акад. залізнич. трансп. [виконана], Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т» [захищена]. – Харків, 2008. – 289 с. **21. Руднєв, О.В.** Забезпечення якості двошарових алмазних пластин при алмазно-іскровому шліфуванні на основі аналізу приведенного профілю ріжучої поверхні круга : Дис. ... канд. техн. наук : 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / *О.В. Руднєв*, Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т»; наук. кер. М.Д. Узунян. – Х., 2017. – 164 с. **22. Грабченко, А.** Розробка техніко-технологічних рішень і дослідних зразків елементів системи «верстат-оснастка-інструмент» плоского торцевого шліфування важкооброблюваних матеріалів : Звіт про НДР (заключн.) / *А. Грабченко, Ю. Гуцаленко, І. Пижов та ін.*; кер. теми *А. Грабченко*, відп. вик. *Ю. Гуцаленко*. – № держ. реєстрації 0115U000524; інв. № 0217U001289. – Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2016. – 380 с. **23. Гуцаленко, Ю.Г.** Определение рационального давления прессования при нанопорошковой электроконсолидации / *Ю.Г. Гуцаленко* // Високі технології в машинобудуванні: зб. наук. праць. – Х. : НТУ “ХПІ”, 2011. – Вип.1 (21). – С. 50-61. **24. Марахтанов, М.** Металл взрывается! / *М. Марахтанов, А. Марахтанов* // Наука и жизнь. – 2002. – № 4. – С. 16-19. **25. Гуцаленко, Ю.Г.** Особенности электроэрозионного разрушения металлов при высокоскоростном алмазно-искровом шлифовании / *Ю.Г. Гуцаленко* // 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. **26. Беззубенко, М.К.** Алмазно-іскрове шліфування: назустріч 40-річчю / *Н.К. Беззубенко, Ю.Г. Гуцаленко* // Інформаційні технології: наука, техніка, технологія, освіта, здоров'я : Тези доп. XX міжнар. наук.-практ. конф., Ч. I (15-17 трав. 2012 р., Харків). – Х. : НТУ «ХПІ», 2012. – С. 92. **27. Грабченко, А.** Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов : Отчет о НИР (заключит.) / *А. Грабченко, Ю. Гуцаленко, И. Пижов и др.*; рук. темы *А. Грабченко*, отв. исп. *Ю. Гуцаленко*. – № гос. рег. 0113U000425; инв. № 0215U001303. – Нац. техн. ун-т "Харк. политехн. ин-т". – Харьков, 2014. – 518 с. **28. Добровольская, Л.Г.** Совершенствование технологии процесса правки алмазных шлифовальных кругов на металлических связках путем использования лазерного излучения : Дис...канд. техн. наук : 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструменты / *Л.Г. Добровольская*,

Харьков. гос. политехн. ун-т. – Х., 1995. – 194 с. **29.** Доброворський, С.С. Наукові основи процесу лазерної правки шліфувальних кругів з надтвердих матеріалів : Дис. ... д-ра техн. наук : 05.03.07 – процеси лазерної та фізико-технічної обробки / С.С. Доброворський, Харк. держ. техн. ун-т [виконана], Нац. техн. ун-т України «Київ. політехн. ін-т» [захищена]. – К., 1996. – 327 с. **30.** Гуцаленко, Ю.Г. Организация технических систем и технологические перспективы алмазно-искрового шлифования / Ю.Г. Гуцаленко // Високі технології в машинобудуванні : зб. наук. праць. – Вип. 1(23) – Х. : НТУ «ХПІ», 2013. – С.30-39. **31.** Гуцаленко, Ю.Г. Шліфувальний круг: патент на корисну модель № 96568 Україна: МПК (2006.01) B24D 3/06 / Ю.Г. Гуцаленко, О.К. Севидова, І.І. Степанова; власник : Нац. техн. ун-т «Харків. політехн. ін-т». – № 201409394; заявл. 26.08.2014; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 3. **32.** Гуцаленко, Ю.Г. Композиція для електроізоляційних зносостійких покриттів : патент на корисну модель № 92786 Україна : МПК C08L 63/02 (2006.01), C08J 5/16 (2006.01) / Ю.Г. Гуцаленко, В.В. Івкін, О.В. Руднев, О.К. Севидова; власник : Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т». – № 201315441; заявл. 30.12.2013; опубл. 10.09.2014. Бюл. № 17. **33.** Грабченко, А.І. Розробка конструкційно-технологічних основ і технічних рішень алмазних інструментів підвищеної функціональності в реалізації електрофізикохімічних методів шліфування : Звіт про НДР (пром. інж.) / А.І. Грабченко, О.К. Севидова, О.М. Шелковий та ін.; кер. теми А.І. Грабченко, відп. вик. О.К. Севидова. – № держ. реєстрації 0117U004883; інв. № 0218U001286. – Нац. техн. ун-т "Харк. політехн. ін-т". – Х., 2017. – 256 с.

Bibliography (transliterated): 1. Semko, M.F. "O nekotoryh fizicheskikh osobennostyah processa rezaniyaalmaznym instrumentom". *Stanki i rezhushchie instrumenty*. Iss. 1: Almaznaya obrabotka materialov. Kharkov, 1966. 3-9. Print. 2. Semko, M.F., et al. *Sposob abrazivnoy obrabotki metallov: a. s.* No. 494130 USSR. IPC¹ B 24 в 1/00, B 23 p 1/10. No. 1828222/25-8. Appl. 12.09.1972. Publish. 25.08.1976. Bull. No. 31. Print. 3. Semko, M.F., N.K. Bezzubenko, and E.B. Mihajluca. "Elektroehrozionnaya pravkaalmaznyhkrugov na metallicheskih svyazkah". *Sinteticheskie almazы*. 1974. Iss. 4. 14-17. Print. 4. Semko, M.F., et al. "Intensificirovannyi sposobalmazno-iskrovogoshlifovaniya". *Novyetechnologicheskiesprocessы*. Moscow: GosINTI. 1975. Iss. 11-75. 1-4. Print. 5. Kalashnikov, A.T. *Issledovanie fizicheskikh osobennostej i tekhnologicheskikh vozmozhnostejalmazno-iskrovogoshlifovaniya. Avtoref. dis. ... kand. tehn. nauk*. Moscow, 1976. Print. 6. Semko, M.F., and N.K. Bezzubenko. "Razrabotki na uroven' izobretenij". *Leninskie kadry*. 1979, August 31. No. 25. 2. Print. 7. Bezzubenko, N.K., et al. *Razrabotat' i proverit' v proizvodstvetekhnologicheskij processalmaznogoshlifovaniya detalej iz tverdyh splavov s vozdejstviem ehlektricheskimi razryadami na rezhushchuyupoverhnost'kruga i obrabatyvaemuyu detal', obespechivayushchij povыshenie (v 2 raza) proizvoditel'nosti truda i kachestva obrabotki, vydat' rekomendacii po vnedreniyu ehtogo processa na mashinostroitel'nyh predpriyatiyah (Dopolnit. zadanie Gos. kom. po nauke i tekhnike SSSR, postanovlenie № 80 ot 3 maya 1979 g.)*. *Otchet o NIR*. No. gos. reg. 80016180, Inv. No. B924882. Ruk. temy N.K. Bezzubenko. – No. gos. reg. 80016180, inv. No. B924882. Kharkov Polytechnic Inst., Problemnaya nauch.-issled. lab. fiziki processov rezaniya instrumentami iz sverhtverdyh polikrystall. materialov. Khar'kov, 1980. Print. 8. *Mashinobudivnij fakul'tet. 125 rokov u skladi KhPI*. Ed. by A.I. Grabchenko and M.S. Stepanov. Kharkov: Kursor, 2010. Print. 9. Kon'shin, A.S. "Shlifoval'nye stanki v dvenadcatoy pyatiletke". *Mekhanizatsiya i avtomatizatsiya proizvodstva*. Moscow: Mashinostroenie, 1987. No. 4, 6-7. Print. 10. Kobzar', L.E., V.A. Fadeev, and N.K. Bezzubenko. *Progressivnoealmazno-iskrovoeshlifofanie*. Kharkov: Kharkov State Polytech.Univ., Kharkov R&D Prod. Assoc. FED, 1995. Print. 11. Bezzubenko, N.K. *Povыshenie jeffektivnostialmaznogoshlifovaniya putem vvedeniya v zonu obrabotki dopolnitel'noj jenerгии v forme jelektricheskikh razryadov*. Dis. ... d-ra tehn. nauk. Kharkov, 1996. Print. 12. Naboka, E.V. "Intensifikatsiyaalmazno-iskrovogoshlifovaniya ul'trazvukovymi kolebaniyami". *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemah*. Kharkov, 1997. Iss. 51, 186-190. Print. 13. Novikov, F.V., G.V. Novikov, and Yu.G. Gutsalenko. "Effektivnost' primeneniyaalmaznogo ehlektroehrozionnogoshlifovaniya". In the 10-vol. ed.: *Fiziko-matematicheskaya teoriya processov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya. Vol. 6: Kachestvo obrabotki detalej mashin*. Ed. by F.V. Novikov and A.V. Yakimov. Odessa: ONPU, 2003. 171-220. Print. 14. Novikov, F.V., G.V. Novikov, and Yu.G. Gutsalenko. "Optimizatsiya parametrov ehnergeticheskigravnovesnogoprocessaalmaznogoshlifovaniya". In the 10-vol. ed.: *Fiziko-*

matematicheskaya teoriya processov obrabotki materialov i tekhnologii mashinostroeniya. Vol. 9: Proektirovanie tekhnologicheskikh processov v mashinostroenii. Ed. by F.V. Novikov and A.V. Yakimov. Odessa: ONPU, 2005. 477-509. Print. **15.** Gutsalenko, Yu.G. "Docil'nist' i osoblivosti organizacii torcevoogo planetarnogo shlifuvannya u elektrofizikohimichnih tekhnologiyah". *Visn. Hark. nac. tekhn. un-tu sil. gosp-va.* 2010. Iss. 106: Tekhn. servis APK, tekhnika ta tekhnologii u s.-g. Mashinobuduvanni, 134-140. Print. **16.** Uzunyan, M.D. *Almazno-iskrove shlifuvannya tverdyih splavov.* Kharkov, NTU "KhPI", 2003. Print. **17.** Bezzubenko, N.K. "Almazno-iskrovoe shlifovanie: kratkij obzor razrabotki har'kovskoj nauchnoj shkoly fiziki processov rezaniya". Informacijni tekhnologii : nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ya: Materiali mizhnar. nauk.-prakt. konf. 18-19 trav. 2006 r., prisvyach. 100-richchyu z dnya narodzhennya M.F. Semka. Kharkov: Cursor, 2006. 60-66. Print. **18.** Strel'chuk, R.M. *Viznachennja osoblivostej ta racional'nih umov almazno-iskrovogo shlifuvannya tverdyih splaviv z nanorozmernih zeren monokarbidu vol'framu. Dis. ... kand. tehn. nauk.* Kharkov, 2011. Print. **19.** Agu Kollinz Agu. *Pidvishchennja efektyvnosti almazno-iskrovogo shlifuvannya tverdyih splaviv shlyahom zastosuvannya tekhnologii minimal'nogo zماشchuvannya. Dis. ... kand. tekhn. nauk.* Kharkov, 2011. Print. **20.** Gevorkyan, E.S. *Shchil'ni ta poruvati konstrukcijnii materiali z nano- ta submikronnih poroshkiv WC, Al2O3 i SiC polifunkcional'nogo priznachennya. Dis. ... d-ra tekhn. nauk.* Kharkov, 2008. Print. **21.** Rudnev, O.V. *Zabezpechennja yakosti dvosharovykh almaznykh plastyn pry almazno-iskrovomu shlifuvanni na osnovi analizu pryvedenoho profilu rizhuchoyi poverkhnji kruha. Dis. kand. tekhn. nauk.* Kharkov, 2017. Print. **22.** Grabchenko, A., et. al. *Rozrobka tekhniko-tekhnologichnih rishen' i doslidnih zrazkiv elementiv sistemi «verstat-osnastka-instrument» ploskogo torcevoogo shlifuvannya vazhkoobroblyvanih materialiv. Zvit pro NDR (zaklyuchn.).* No. derzh. reestracii 0115U000524, inv. No. 0217U001289. Ker. temi A. Grabchenko, vidp. vik. Yu. Gutsalenko. Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst." Kharkov, 2016. Print. **23.** Gutsalenko, Yu.G. "Opredelenie racional'nogo davleniya pressovaniya pri nanoporoshkovoj ehlektrokonsolidacii". *Visoki tekhnologii v mashinobuduvanni.* Kharkov: NTU «KhPI», 2011. Iss. 1(21), 50-61. Print. **24.** Marahtanov, M., and A. Marahtanov. "Metall vzryvaetsya!". *Nauka i zhizn'.* 2002, No. 4. 16-19. Print. **25.** Gutsalenko, Yu. G. "Osobennosti jelektroeroziionnogo razrusheniya metallov pri vysokoskorostnom almazno-iskrovom shlifovanii". *Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologija, osvita, zdorov'ja: Mater. mizhnar. nauk.-prakt. konf. 15th-16th May 2003.* Kharkov: NTU "KhPI", 2003. 17-26. Print. **26.** Bezzubenko, M.K., and Yu. Gutsalenko. "Almazno-iskrove shlifuvannya: nazustrich 40-richchyu". *Informacijni tekhnologii: nauka, tekhnika, tekhnologiya, osvita, zdorov'ja: Tezi dop. XX mizhnar. nauk.-prakt. konf., Part 1 (15-17 trav. 2012, Kharkov).* Kharkov: NTU «KhPI», 2012. 92. Print. **27.** Grabchenko, A., et. al. *Razrabotka tehniceskikh reshenij special'noj modernizacii universal'nyh stankov i tekhnologicheskikh baz dannyh dlja almazno-iskrovogo shlifovanija trudnoobrabatyvaemyh materialov. Otchet o NIR.* No. gos. reg. 0113U000425, inv. No. 0215U001303. Ruk. temy A. Grabchenko, otv. isp. Yu. Gutsalenko. Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst." Kharkov, 2014. Print. **28.** Dobrovol'skaya, L.G. *Sovershenstvovanie tekhnologii processa pravki almaznyh shlifoval'nyh krugov na metallicheskih svyazkah putem ispol'zovaniya lazernogo izlucheniya. Dis...kand. tekhn. nauk.* Kharkov, 1995. Print. **29.** Dobrotvors'kij, S.S. *Naukovi osnovi procesu lazernoj pravki lshlifoval'nyh krugiv z nadtverdyh materialiv. Dis. ... d-ra tekhn. nauk.* Kiev, 1996. Print. **30.** Gutsalenko, Yu.G. "Organizaciya tehniceskikh sistem i tekhnologicheskie perspektivy almazno-iskrovogo shlifovaniya". *Visoki tekhnologii v mashinobuduvanni.* Kharkov: NTU «KhPI», 2013. Iss. 1(23), 30-39. Print. **31.** Gutsalenko, Yu.G., O.K. Sevidova, and I.I. Stepanova. *Shlifoval'nij krug: patent na korisnu model'. No. 96568 Ukraine.* IPC, 2006.01 B24D 3/06. No. u 2014 09394. Appl. 26.08.2014. Publish. 10.02.2015. Bull. No. 3. Print. **32.** Gutsalenko, Yu.G., et al. *Kompoziciya dlja elektroizoljacijnih znosostijkih pokrittiv: patent na korisnu model'. No. 92786 Ukraine.* IPC, 2006.01 C08L 63/02, C08J 5/16. No. u 201315441. Appl. 30.12.2013. Publish. 10.09.2014. Bull. No. 17. Print. **33.** Grabchenko, A.I., et. al. *Rozrobka konstrukcijnno-tekhnologichnih osnov i tekhnichnih rishen' almaznih instrumentiv pidvishchenoi funkcional'nosti v realizacii elektrofizikohimichnih metodiv shlifuvannya : Zvit pro NDR (promizhn.).* No. derzh. reestracii 0117U004883, inv. No. 0218U001286. Ker. temi A.I. Grabchenko, vidp. vik. O.K. Sevidova. Nat. Tech. Univ. "Kharkov Polytechnic Inst." Kharkov, 2017. Print.

Надійшла до редколегії 25.06.2018