

УДК 621.923

Ю.Г. Гуцаленко, Харьков, Украина

ОРГАНИЗАЦИЯ ТЕХНИЧЕСКИХ СИСТЕМ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ ПЕРСПЕКТИВЫ АЛМАЗНО-ИСКРОВОГО ШЛИФОВАНИЯ

Представлені перспективні напрямки прикладного використання технологічного методу алмазно-іскрового шліфування, що розвиваються у НТУ «ХПІ» і є пов'язаними з розробкою нових і модернізацією існуючих верстатів та інструментів, високошвидкісною обробкою, остаточним формоутворенням високоякісної кераміки після її іскрового плазмового спікання і формуванням високотвердих білих шарів в сталях.

Представлены развиваемые в НТУ «ХПИ» перспективные направления прикладного использования технологического метода алмазно-искрового шлифования, связанные с разработкой новых и модернизацией существующих станков и инструментов, высокоскоростной обработкой, окончательным формообразованием высококачественной керамики после ее искрового плазменного спекания и формированием высокотвердых белых слоев в сталях.

Perspective directions for applied use of technological method of diamond-spark grinding that are being developed at the NTU "KHPi" and associated with working-out of new and modernization of existing machines and tools, high-speed processing, the final shaping of high-quality ceramics after spark plasma sintering and formation of hard white layers in steels are presented.

Введение

Пятое десятилетие продолжается жизненный цикл метода алмазно-искрового шлифования (АИШ), шагнувшего в мир техники и технологий из основанной М.Ф. Семко харьковской научной школы физики процессов резания [1]. Сущность метода [2, 3] заключается в целенаправленной инициации электрических разрядов в зоне резания введением в нее дополнительной энергии в форме импульсов тока определенной мощности, формы, продолжительности и частоты, а также использовании разрядных эффектов в скользящих (стружечных) электрических контактах постоянного тока, в том числе с наложением ультразвуковых колебаний, в среде простых, технически и экологически безвредных смазывающе-охлаждающих жидкостей.

Эта разработка, в эпоху СССР координируемая госкомитетом по науке и технике на отраслевом уровне как приоритетная [4], продолжает развиваться в новом веке, заслуженно являясь гордостью НТУ «ХПІ» и современной Украины, реально оставаясь 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. В 2011 г. в рамках проводимой под эгидой Кабинета Министров и посвященной 20-летию независимости страны общегосударственной акции «Барвыста Украина» метод АИШ отмечен как лучший отечественный научный товар.

Современные перспективы АИШ

Основу привлекательности реализации разработок в тематическом поле АИШ 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 современной теории и практике резания материалов основные перспективы повышения производительности обработки и ее качества связываются с повышением скоростей взаимодействующих в формообразующем контакте тел. АИШ кругами с алмазно-металлическими композициями, испытывающими в зоне резания понижающее уровень металлической связки и тем самым обновляющее режущий рельеф воздействие электрических разрядов, является эффективным способом реализации скоростной обработки, проверенным в экспериментальной и промышленной практике. 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 [3].

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. [5], 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 [3], 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.

Современную актуализацию внимания к 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 [6]. Эта гипотеза поддерживается экспериментально выявленной тенденцией повышения удельного расхода алмазов с повышением скорости резания в ее обычном скоростном диапазоне в условиях действия электрических разрядов при АИШ [7]. 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 протекают с захватом и взрывным испарением микрообъемов связки в пятнах каналов разрядов.

Использование известных возможностей АИШ в формировании в поверхностных слоях обрабатываемых металлов и сплавов повышенного уровня сжимающих напряжений и прочностной наследственности (по сравнению с технологической альтернативой конвенционального алмазного шлифования) [2] технологически привлекательно в постпроцессах современного высокоскоростного термофрикционного формообразования изделий с повышенными требованиями к микро- (шероховатость) и макроразмерной геометрической точности, ограниченно обеспечиваемыми собственно термофрикционной обработкой, обычно практикуемой как

предварительное формообразование с образованием в приповерхностном слое стали, под микроскопом визуализируемом как белый, измененной микроструктуры повышенной твердости. По результатам дюраметрии – со значительным, например практически двукратным превышением микротвердости в сопоставлении с характеристикой основного металла: 8,2-11,2 ГПа, с модальным значением распределения по глубине до 0,6 мм примерно 10 ГПа, при средней микротвердости основы 5,3 ГПа (марганцовистая Сталь 65Г ГОСТ 14959-79 режущих лезвий деревообрабатывающих ножей после закалки в воде и низко температурного отпуска в воздухе, с «подстройкой» его режима из условия перекрытия глубины отпущенного слоя формируемым последующей термофрикционной обработкой белым слоем (БС) – во избежание появления между БС и основным металлом зоны разупрочнения сорбито- и троститоподобной структуры, до значений микротвердости порядка 3-3,5 ГПа в контексте приводимого здесь примера) [8].

В отличие от известного опыта формирования БС в сталях посредством собственно АИШ, по толщине обычно соизмеримых с глубиной шлифования или немного превосходящих ее, термофрикционная обработка осуществляется с большей интервенцией обрабатываемого тела в обрабатываемое (в экспериментальной практике [8] по кинематической схеме плоского шлифования – с глубиной и скоростью продольного среза соответственно 0,7 мм и 21 мм²/с) и оставляет после себя БС с толщинами повышенной твердости, вызывающими углубленный потребительский интерес.

АИШ предварительно подвергнутых ТФО стальных поверхностей органично поддерживает доставшееся ему в финишной операции прочностное наследие предыдущей операции. Адекватность АИШ рассматриваемой физической состоятельности ТФО, проявляющейся повышенной твердостью ее объектов, в их окончательном формообразовании следует из электроразрядных эффектов, обеспечивающих скоростной импульсный нагрев шлифуемых поверхностей до температур фазовых превращений, аналогично ТФО вплоть до формирования высокотвердого приповерхностного БС. В пятне электрического контакта, максимально покрывающем обрабатываемую поверхность в технологиях двойного скоростного АИШ (с повышенными скоростями рабочих движений и шлифовального круга, и обрабатываемой заготовки [3]), – вплоть до плавления и даже частичного испарения металла с обрабатываемой поверхности, с последующим достаточно быстрым ее охлаждением, особенно под влиянием СОТС эффективных составов и техники подачи. Как и теплофизический результат экстремальной механики ТФО, появление или эффективное (после ТФО) поддержание упрочненного поверхностного БС

после АИШ также является следствием присущих этому методу экстремальных условий реализации с вовлечением обрабатываемой (шлифуемой) стальной поверхности в теплофизическое последствие разрядного разрешения электрической напряженности зоны шлифования.

При этом, по-видимому, не следует рассматривать формирование БС как целенаправленной технологической наследственности АИШ сталей вне маршрутной комбинации с предварительной ТФО. Хотя бы потому, что технологическая идеология рационального АИШ всегда исходит из максимального использования режущего потенциала выступающих над уровнем связки круга зерен сверхтвердых абразивов при минимизации фрикционных эффектов вообще и, особенно, вне их режущих контактов [3].

При осуществляемом в рабочих процессах АИШ комбинировании алмазного шлифования с электроразрядным воздействием возможно более направленно регулировать параметры качества обрабатываемого слоя, чем в традиционных технологиях, в том числе управлять формированием как структур вторичной закалки, так и структур отпуска [3].

Исходя из условий и задач использования изделия, с целью повышения равномерности напряженного состояния БС, стабилизации тем самым прочностных характеристик готового изделия, повышения его надежности и безопасности в эксплуатации, технологический маршрут его производства можно рекомендовать заключить проведением операции низкотемпературного отпуска после чистовой обработки шлифованием. Или включить в цикл АИШ выхаживание без тока предварительно правленным кругом, проведение которого сопровождается относительно незначительным (по сравнению с ТФО) нагревом поверхности обработки, эквивалентным влиянию низкотемпературного отпуска.

Наряду с показанными перспективными приложениями метода АИШ к высокоскоростной обработке и финишной поддержке ТФО постпроцессированием, он предоставляет также возможность улучшения структуры и повышения плотности токопроводных SPS-нанокерамик, в особенности тугоплавких, в рабочих постпроцессах окончательного формообразования методом АИШ, как и после ТФО преследующих основной целью обеспечение надлежащего размерного и микрогеометрического качества готовой продукции. На такую возможность, согласующуюся с теоретическими представлениями [9] об участии электрических разрядов в подавлении пористости токопроводных керамических консолидатов технологий SPS (Spark Plasma Sintering [10] – искровое плазменное спекание), указывает современный опыт НТУ «ХПИ» в обработке спеченного по технологии SPS наномонокрибида вольфрама, когда оптимальные физико-механические свойства по критерию напряженного состояния шлифованного материала в поверхностном слое наблюдаются при некотором внутреннем

значении напряжения в экспериментальном диапазоне напряжений токоподвода в зону шлифования [11], по-видимому соответствующем оптимуму Пашена-Пеннинга в физико-геометрическом рассмотрении с позиций подобия [9] условий возбуждения электроразрядных эффектов в порах во всем объеме спекаемого консолидата (SPS [12]) и в приповерхностном слое шлифуемого твердого тела (АИШ [11]).

Обострение кризисных явлений в условиях глобальной конкуренции товаров особенно стимулирует как заинтересованность производителей в энергоэффективных производственных технологиях высококачественной обработки, так и пользователей к повышению их функционально-эксплуатационных показателей. Метод АИШ как технологическая парадигма по обоим группам требований (производителей и потребителей продукции), кроме дальнейшей рыночной популяризации на современном уровне представлений о его возможностях, нуждается также в дальнейших разработках типовых технических решений современного уровня по обеспечению готовности к его воплощениям нового оборудования и существующего – после специальных реновационных мероприятий, в том числе с опорой на специальные разработки электронной документации по модернизации универсальных шлифовальных станков для его расширенной реализации.

Модернизационные подходы к универсализации технических систем

Эффективная поддержка конструкторской, технологической и организационной подготовки производства (у производителя станков и инструментов) является одним из реально востребованных направлений современного периода в развитии разработки метода и средств реализации АИШ [1].

В конвенциональных подходах к организационно-техническому обеспечению операций АИШ подводом в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов как в специальном станкостроении, так и при специальной модернизации универсального оборудования его потребителями предусматривается электроизоляция шпинделя станка [3]. При этом в базовую конструкцию вводятся новые (нетокопроводные) элементы (детали), служащие необходимым барьером электрическому току в функционально запрещенных направлениях, но повышающие степень сборочной сложности технической системы. Инструмент (шлифовальный круг) как объект барьерных технических решений, обеспечивающих нетокопроводность его контакту с посадочным местом на металлической планшайбе станка, в известной исследовательской и производственной практике не рассматривается.

Решение задач приспособляемости универсальных станков (инструмента) в шлифовальном станкостроении и на механообрабатывающих предприятиях (в инструментальном производстве шлифовальных кругов) к их использованию в технологиях АИШ предлагается обеспечивать в результате применения специально разработанных диэлектрических покрытий на прочную основу базовых деталей (элементов конструкции), конструктивно требующих электроизоляции [3], в традиционном исполнении изготавливаемых из конструкционной стали (планшайба) и конструкционных сплавов (несущий корпус инструмента).

Высокие диэлектрические свойства специально разработанных в НТУ «ХПИ» покрытий сочетаются с высоким сопротивлением износу при периодической смене инструмента в связи с полным использованием или при переустановках шлифовальных кругов из-за несоответствия их характеристик необходимым для следующей операции. Повышенная износостойкость предлагаемых производственной практике электроизоляционных композиций на основе семейства эпоксидно-диановых смол (ЭДС),готавливаемых и наносимых на поверхность по специальному регламенту [13], обеспечивается использованием в качестве наполнителя диэлектрических порошков триоксида алюминия Al_2O_3 или диоксида кремния SiO_2 с возможным варьированием массовой доли как диэлектрических порошков, так и эпоксидных групп (по техническим условиям ГОСТ 10587-84 содержание собственно эпоксидных групп в ЭДС может составлять от 14 до 22 %, соответственно с понижением вязкости и повышением технологичности использования в поверхностно распределенных отвердевающих покрытиях).

Это решение повышает контактную жесткость посадки инструмента на планшайбу, а с ней и потенциальную точность обработки по сравнению с функционально альтернативным использованием промежуточных текстолитовых втулок и прокладок, обычно применяемых на предприятиях-потребителях универсальных шлифовальных станков в модернизационной практике электроизоляции от корпуса инструмента-круга и обрабатываемых деталей.

По результатам сравнительных испытаний износостойкость композитного покрытия на основе ЭДС с 20 % содержанием массовой доли эпоксидных групп и 30 мас. % Al_2O_3 на 60-70% выше, чем у такого же, но без алюмооксидного порошкового наполнителя, при полуторакратном превышении твердости ($H_v = 204$ МПа, по Виккерсу) и прочности на сжатие ($\sigma_{сж} = 135$ МПа). В сочетании с высоким уровнем необходимой противоелектрической защиты отдельных элементов станочно-инструментальных систем шлифования (удельное электрическое сопротивление разработанного покрытия $\rho = 1014$ Ом·м) это позволяет

эффективно расширять их технологические возможности успешной реализацией АИШ и других электрофизикохимических технологий,

Инверсия задачи электроизоляции металлического корпуса шлифовального круга от стальной планшайбы шлифовального станка в сторону измененного конструктивного решения инструмента может быть также решена с использованием специальных диэлектрических покрытий, например, путем поверхностного электролитического оксидирования материала корпуса в ускоренном микродуговом режиме по разработанной в НТУ «ХПИ» технологии [14] для титановых имплантов. Выбор материала корпуса шлифовального круга при этом должен учитывать электроизоляционные свойства его потенциальных оксидов. Перспективность титана и его сплавов в этом применении, помимо известных диэлектрических перспектив, привлекателен также облегчением по массе конструкции корпуса шлифовального круга по сравнению со стальными альтернативами.

Конструктивно задача принуждения зоны шлифования к участию в электроразрядной цепи АИШ при соответственно организованном токоподводе к участникам электрического контакта, помимо организации токоподвода, в принципе может решаться одним лишь рациональным использованием электроизоляционных материалов в производстве отдельных деталей станкоинструментальных систем без изменения их конструкции, как это показано в работе [15] на примере с использованием торцевых планетарно-шлифовальных головок. Такой подход к универсализации металлорежущего оборудования и алмазно-абразивных инструментов на металлических связках для возможности их использования в процессах электрофизикохимической обработки, как конструктивно максимально облегченный, несомненно заслуживает повышенного внимания практических специалистов, особенно по мере появления новых изоляционных материалов повышенной прочности и износостойкости.

В машиностроительной промышленности разрабатываемые модернизационные решения расширения технологических возможностей универсального станочного оборудования и алмазно-абразивных инструментов готовностью к осуществлению с их помощью АИШ предпочтительно использовать как инструмент стратегического технологического менеджмента [16], с реализацией в станкоинструментальной подотрасли производителями шлифовальных станков соответствующим расширением модельного ряда выпускаемого оборудования и номенклатуры переделов инструментального производства. Это создает конструктивно решающие предпосылки для высокотехнологичной организации рабочих процессов потребителями АИШ и электрофизикохимических альтернатив размерной алмазно-абразивной обработки, поскольку последующие модернизационные мероприятия

(включение в станочную систему источника-генератора технологического тока и обеспечение токоподвода в зону резания) уже не требуют вмешательства в формообразующую точность шлифовальных станков, обеспеченную в станкостроительной промышленности.

Заключение

Современный уровень развития и перспективы использования метода АИШ в высокопроизводительном и высококачественном формообразовании поверхностей изделий из труднообрабатываемых высокофункциональных материалов стимулируют дальнейшее развитие и имплементацию предлагаемых по результатам разработок НТУ «ХПИ» рассмотренных модернизационных подходов к универсализации технических систем для расширенной практической реализации этого метода как у производителей техники, так и потребителей технологий АИШ, как в отношении станочных систем, так и инструментов шлифования.

Статья подготовлена по материалам исследований по комплексному проекту 0113U001340 ХНУ, НТУ «ХПИ», УГАЖТ (г. Харьков) и СГУ (г. Сумы) «Многокомпонентные композиционные материалы и покрытия на основе наносоединений тугоплавких металлов» (в части современных перспектив АИШ) и по проекту 0113U000425 НТУ «ХПИ» «Разработка технических решений специальной модернизации универсальных станков и технологических баз данных для алмазно-искрового шлифования труднообрабатываемых материалов» (в части модернизационных подходов к универсализации технических систем).

Список использованных источников: 1. *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. 2. *Калашников А.Т.* Исследование физических особенностей и технологических возможностей алмазно-искрового шлифования: Автореф. дис. ... канд. техн. наук: 05.03.03 – обработка материалов резанием / Харьк. политехн. ин-т; науч. рук.: М.Ф. Семю, Н.К. Беззубенко. – М., 1976. – 22 с. 3. *Беззубенко Н.К.* Повышение эффективности алмазного шлифования путем введения в зону обработки дополнительной энергии в форме электрических разрядов: дис. ... д-ра техн. наук: 05.03.01 – процессы механической обработки, станки и инструмент. – Харьков, 1996. – 468 с. 4. *Коньшин А.С.* Шлифовальные станки в двенадцатой пятилетке // Механизация и автоматизация производства. – М.: Изд-во "Машиностроение". – 1987. – № 4. – С. 6-9. 5. *Wertheim G.* Memoire sur l'equilibre des corps solides homogenes // Annales de Chimie. – Paris. – 1948. – Т. 23. – Р. 52-95. 6. *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. 7. *Гуцаленко Ю.Г.* Влияние скорости резания на расход алмазов при круглом наружном алмазно-искровом шлифовании твердого сплава ВК6 // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 13-й междунар. науч.-техн. конф., 03-07 июня 2013 г., г. Ялта. – Киев: АТМУ Украины, 2013. – С. 70-74. 8. *Гуцаленко Ю.Г., Погребной Н.А., Волков О.А.* Поддержка алмазно-искровым шлифованием упрочнения сталей термофрикционной обработкой // Инженерия поверхности и

реновация изделий: Материалы 12-й междунар. науч.-техн. конф., 04-08 июня 2012 г., г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2012. – С. 83-85. **9.** Физика и практика электроконсолидации под давлением вольфрамокарбидных материалов и композитов [электронный ресурс]: доклад / Ю.Г. Гуцаленко [НТУ «ХПИ»] // 2-я международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей»; г. Москва, Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», ЛЭМПНМ, 20-23 мая 2013 г. – М.: Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», 2013. – Электрон. дан. (32 с.: 26269538 байт). – Режим доступа: <http://lemc-labmephi.ru/content/file/news/gutsalenko.pdf>. **10.** Recent Advanced Spark Plasma Sintering (SPS): Technology, Systems and Applications in Japan [электронный ресурс]: доклад / М. Tokita [SPS R&D Center, NJS Co., Ltd, Japan] // 2-я международная школа-семинар «Перспективные технологии консолидации материалов с применением электромагнитных полей»; г. Москва, Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», ЛЭМПНМ, 20-23 мая 2013 г. – М.: Нац. исслед. ядер. ун-т «МИФИ», 2013. – Электрон. дан. (65 с.: 9987534 байт). – Режим доступа: <http://lemc-labmephi.ru/content/file/news/tokita.pdf>. **11.** Стрельчук Р.М. Визначення особливостей та раціональних умов алмазно-іскрового шліфування твердих сплавів з нанорозмірних зерен монокарбиду вольфраму: Дис. ... канд. техн. наук: 05.03.01 – процеси механічної обробки, верстати та інструменти / Нац. техн. ун-т «Харк. політехн. ін-т»; наук. консультант М.Д. Узуян. – Х., 2011. – 193 с. **12.** Гуцаленко Ю.Г. Применение закона Пашена для определения давления горячего прессования при электроконсолидации наноструктурной тугоплавкой керамики // Инженерия поверхности и реновация изделий: Материалы 13-й междунар. науч.-техн. конф., 03-07 июня 2013 г., г. Ялта. – Киев: АТМ України, 2013. – С. 67-70. **13.** Гуцаленко Ю.Г., Севидова Е.К., Руднев А.В. Современные подходы к универсализации станкоинструментальных решений для осуществления алмазно-искрового шлифования // Современные проблемы производства и ремонта в промышленности и на транспорте: Материалы 13-го междунар. науч.-техн. семинара, 18-22 февр. 2013 г., г. Свальява. – Киев: АТМ України, 2013. – С. 38-40. **14.** Спосіб формування біоінертного покриття на імплантатах із титану та його сплавів: патент на корисну модель 58763 Україна: МПК (2011.01) С 25 D 11/00 / О.К. Севидова, І.І. Степанова, А.А. Симонова, І.Д. Рой. – №u201011436, заявл. 27.09.10; опубл. 26.04.11, Бюл. №8. **15.** Гуцаленко Ю.Г. Доцільність і особливості організації торцевого планетарного шліфування у електрофізикохімічних технологіях // 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.** Крыжынський Г.К. Стратегический технологический менеджмент. – Х.: НТУ ХПИ, 2003. – 447с.

Поступила в редколлегию 19.09.2013