

УДК 621.9.048

М.Г. КИСЕЛЕВ, д-р техн. наук, профессор
заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов»¹
E-mail: kiselev.maikl@gmail.com

А.В. ДРОЗДОВ, канд. техн. наук, доцент
доцент кафедры «Конструирование и производство приборов»¹
E-mail: dav7@tut.by

В.Л. ГАБЕЦ, канд. техн. наук, доцент
доцент кафедры «Конструирование и производство приборов»¹
E-mail: vgabets@mail.ru

П.С. БОГДАН
аспирант кафедры «Конструирование и производство приборов»¹
E-mail: bpc@mail.ru

¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь

Статья поступила 07.04.2015.

ВЛИЯНИЕ ЭНЕРГИИ И УСЛОВИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ ЭЛЕКТРИЧЕСКИХ РАЗРЯДОВ В ПРОЦЕССЕ МОДИФИЦИРОВАНИЯ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛЬНОГО ОТРЕЗНОГО ДИСКА НА ЕГО РЕЖУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

Статья посвящена экспериментальной оценке эффективности использования энергии электрических разрядов в процессе модифицирования рабочей поверхности тонких стальных дисков с целью придания ей режущей способности. Изложены основные положения методики проведения экспериментальных исследований, включая описание устройства для электроконтактной обработки (ЭКО) рабочей поверхности диска и установки для оценки его режущей способности при распиливании образцов из различных материалов (дерево, органическое стекло, кость и углесталл). Приведены и проанализированы зависимости влияния режимов выполнения ЭКО рабочей поверхности диска на интенсивность распиливания им образцов. Представлены и проанализированы данные, отражающие влияние режимов выполнения ЭКО рабочей поверхности диска на параметры формируемых на ней лунок и наплывов металла по их краям, которые в совокупности выполняют роль своеобразных конструктивных элементов, придающих ей режущую способность.

Ключевые слова: *распиловочный диск, электроконтактная обработка, режущая способность, технологическая схема, испытание*

Введение. Согласно результатам предшествующих исследований [1], модифицирование исходной металлической поверхности путем ее электроконтактной обработки сопровождается формированием на ней своеобразных конструктивных элементов, придающих ей режущую способность. Они представляют собой наплывы застывшего металла, образовавшегося по краям лунок, полученной на обрабатываемой поверхности в результате электрической эрозии, которые расположены выше ее исходного контура. Благодаря этому, модифицированная с использованием энергии электрических разрядов поверхность способна срезать микростружку с материалов, твердость которых ниже твердости металла наплывов. Важно подчеркнуть, что параметрами формируемых на поверхности наплывов металла можно управлять за счет изменения энергии электрического разряда и условий его протекания, а соответственно, ее режущей способностью.

Эффективность использования энергии электрических разрядов с целью придания поверхности режущей способности экспериментально подтверждена применительно к проволочному [2] и ленточному (штрипсовому) инструменту [3]. Вместе с тем для распиливания заготовок на части, пропиливания в них пазов, канавок широко применяются дисковые пилы, имеющие на рабочей поверхности режущие зубья соответствующей геометрии. В этой связи, значительный научный и практический интерес представляет применения тонких отрезных дисков, рабочая поверхность которых модернизирована с использованием энергии электрических разрядов. Поэтому цель данной работы заключалась в экспериментальной оценке влияния энергии и условий воздействия электрических разрядов в процессе модифицирования рабочей поверхности специального отрезного диска на его режущую способность.

Методика проведения экспериментальных исследований. Объектом исследования являлись диски

из стали У8А диаметром 75 мм и толщиной 0,3 мм с центральным посадочным отверстием 16 мм. Обработка их рабочей поверхности с использованием энергии электрических разрядов осуществлялась следующим образом (рисунок 1).

Диск 1 закреплялся на горизонтально расположенной оправке 2, установленной в подшипниках 3, и вместе с ней имел возможность поворачиваться вокруг оси. В качестве электрода-инструмента использовалась пластина 4 из стали У8А толщиной 0,3 мм, шириной 8 мм и длиной 110 мм. Диск с помощью токосъемного устройства 5 и электрод-инструмент были включены в электрическую цепь, состоящую из источника питания постоянного тока ИП, накопительного конденсатора C и токоограничивающего резистора R . Использовалась прямая полярность, при которой анодом являлся обрабатываемый диск, а катодом — электрод-инструмент.

Пластина, выполняющей роль электрода-инструмента, вручную сообщалось колебательное движение v_k , при котором ее кромка периодически контактировала с рабочей поверхностью диска. В процессе их сближения на расстоянии, соответствующем минимальному межэлектродному промежутку (МЭП), происходил его пробой, и между поверхностями возникал электрический разряд, вызывающий электрическую эрозию поверхностей диска и инструмента. В результате расплавления и испарения металла на рабочей поверхности образуется лунка (рисунок 2), имеющая по краям наплывы застывшего металла, выходящие за ее исходный контур. Именно эти элементы придают поверхности режущую способность.

В ходе проведения экспериментов варьировались следующие технологические параметры: напряжение U накопительного конденсатора от 50

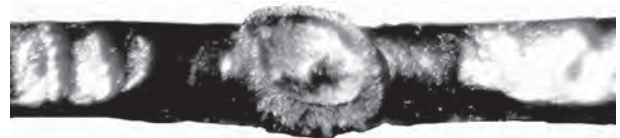


Рисунок 2 — Фотография рабочей поверхности после однократного воздействия электрическим разрядом

до 80 В, количество электрических разрядов n_p , приходящееся на длину окружности рабочей поверхности диска с 25 до 75, количество разрядов k_p , воздействующее на одно и то же место рабочей поверхности диска от 1 до 3. Диэлектрическая жидкость не применялась, т. е. обработка осуществлялась на воздухе.

После завершения операции по модифицированию рабочей поверхности диска на принятых режимах обработки он снимался, затем с помощью микрометра МК-25 0,01 кл1 измерялась толщина его режущей кромки в местах воздействия электрических разрядов, а с использованием микроскопа ММИ-2 определялась высота наплывов металла в этих местах, и, соответственно, наружный диаметр полученного инструмента. Указанные измерения проводились не менее, чем в пяти радиальных сечениях диска, за окончательное значение искомого параметра принималось среднее арифметическое полученных результатов.

После этого проводились экспериментальные исследования по оценке его режущей способности с использованием специально созданной установки, схема которой приведена на рисунке 3.

На массивном основании 1 установлен электродвигатель 7 (ПЛ-062У4), на валу которого закрепляется испытуемый диск 2. Последнему сообщается вращательное движение с постоянной частотой, равной $n_d = 1500 \text{ мин}^{-1}$. Подлежащий распиливанию

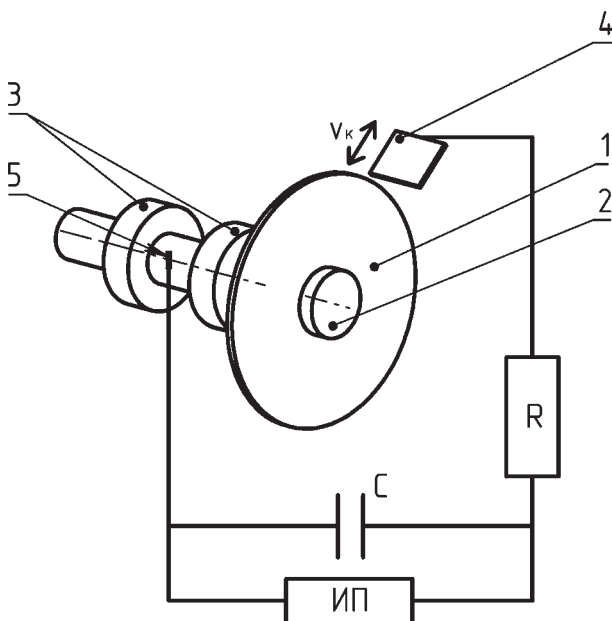


Рисунок 1 — Технологическая схема электроконтактной обработки рабочей поверхности диска

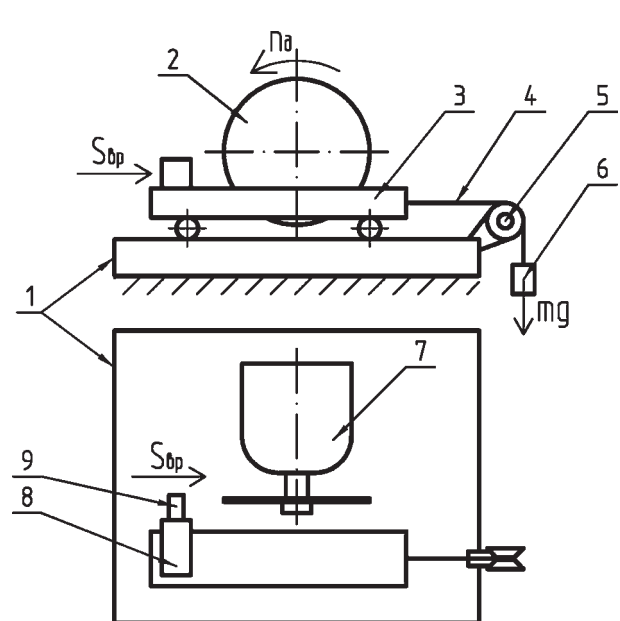


Рисунок 3 — Технологическая схема установки по испытанию дисков

образец 9 зажимается в оправке 8, которая закреплена на поверхности подвижной части 3 шариковых направляющих. Усилие прижатия образца к рабочей поверхности диска, т. е. врезная подача, обеспечивалась посредством аттестованных грузов 6 массой m , связанных с подвижной частью направляющих с помощью проволоки 4 и блока 5. При проведении экспериментов по распиливанию образцов величина этого усилия была постоянной и составляла 2 Н.

Образцы изготавливались из дерева (сухая сосна), углеситалла, кости и органического стекла. Они, за исключением образцов из кости, имели в распиливаемом сечении форму квадрата со сторонами 11×11 мм. При распиливании костной ткани плоские кости телячьих ребер. Время распиливания образца t измерялось с помощью секундомера наручных часов «Мелодия ЧН-55», который запускали в момент начала операции и останавливали в момент ее завершения. Режущая способность диска оценивалась по значению интенсивности распиливания i им образца, которая определялась отношением площади его распиленной поверхности F ко времени выполнения операции t ($i = F / t$, мм²/мин).

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. На рисунке 4 представлена диаграмма зависимости интенсивности распиливания образцов из различных материалов испытываемыми дисками от напряжения накопительного конденсатора в процессе ЭКО их рабочей поверхности. Эти данные получены при усилии прижатия образца к инструменту $P = 2$ Н, $n_p = 75$, $k_p = 1$ и емкости накопительного конденсатора 300 мкФ.

Как видно, наибольшая интенсивность распиливания наблюдается при обработке деревянного образца, затем по убывающему значению i идет органическое стекло, кость и углеситалл. Наличие такой зависимости объясняется повышением твердости материала распиливаемого образца. Вместе с тем во всех случаях с увеличением напряжения накопительного конденсатора с 50 до 80 В интенсивность распиливания образцов возрастает. В частности, для деревянного с 1906 до 2371 мм²/мин

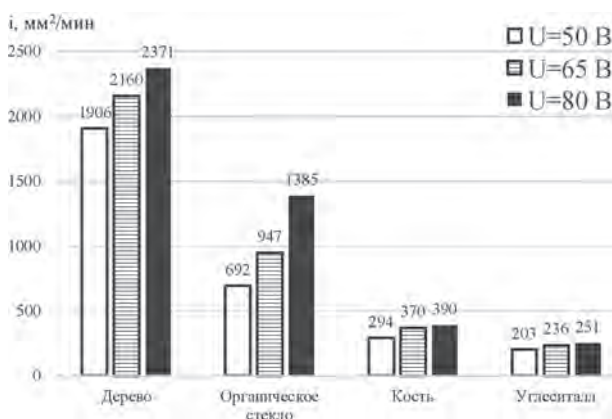


Рисунок 4 — Диаграмма зависимости интенсивности распиливания образцов из различных материалов испытываемыми дисками от напряжения накопительного конденсатора в процессе ЭКО их рабочей поверхности

(в 1,24 раза), для образца из органического стекла — с 692 до 1385 мм²/мин (в 2 раза), для кости — с 294 до 390 мм²/мин (в 1,32 раза) и для углеситалла — с 203 до 251 мм² мин (в 1,24 раза).

Влияние количества электрических разрядов, воздействующих по длине окружности рабочей поверхности диска в процессе ее ЭКО, то есть параметра n_p , на интенсивность распиливания деревянного образца отражают данные, представленные на рисунке 5. Они получены при $U = 80$ В, $C = 300$ мкФ и $k_p = 1$.

Из представленных экспериментальных данных следует, что с увеличением параметра n_p с 25 до 75 значение интенсивности распиливания образца возрастает с 1676 до 2371 мм²/мин, т.е. оно повышается в 1,41 раза.

На рисунке 6 представлена диаграмма зависимости интенсивности распиливания деревянного образца испытываемым диском от количества разрядов, воздействующих на одно и то же место его поверхности, т. е. от параметра k_p . Эти данные получены при $P = 2$ Н, $U = 80$ В, $C = 300$ мкФ, $n_p = 75$.

Из анализа этих данных следует, что с увеличением параметра k_p с 1 до 3 интенсивность распиливания образца испытываемым диском возрастает с 2 371 до 2 777 мм²/мин, то есть в 1,17 раза.

Особо следует подчеркнуть, что направление вращения испытываемого диска практически не влияет на его режущую способность. Так, при распиливании деревянного образца одним и тем же диском при его вращении против часовой стрелки (см. рисунок 3) значение i составило 2 777 мм²/мин, а при вращении по часовой стрелке — $i = 2 694$ мм²/мин. Разница в указанных значениях i не превышает 3%, что укладывается в статистическую погрешность определения этого параметра.

Для объяснения установленных зависимостей $i(U, n_p, k_p)$ проанализируем данные, характеризующие геометрические параметры рабочей поверхности диска в результате ее ЭКО. Как уже отмечалось, под действием электрической эрозии на поверхности образуются лунки, по форме

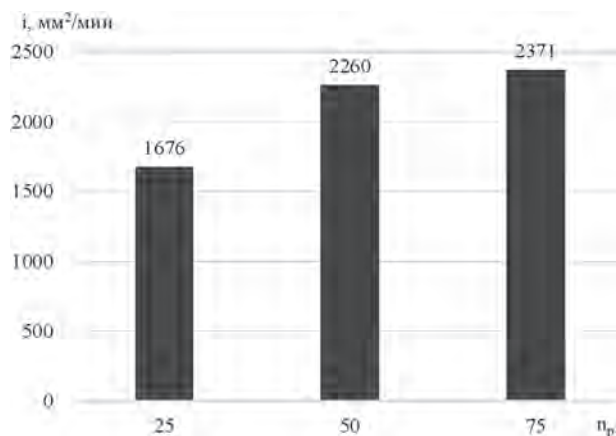


Рисунок 5 — Диаграмма зависимости интенсивности распиливания деревянного образца испытываемым диском от количества электрических разрядов, воздействующих по длине окружности его рабочей поверхности

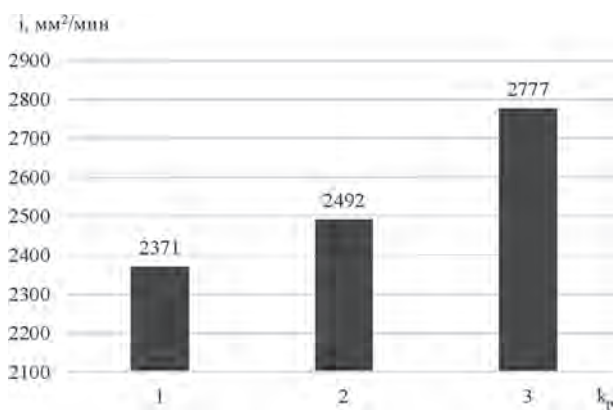


Рисунок 6 — Диаграмма зависимости интенсивности распиливания деревянного образца испытываемым диском от количества разрядов, воздействующих на одно и то же место его поверхности

близкие к сферической, имеющие по краям наплывы застывшего металла, которые выходят за ее исходный контур. Благодаря наличию этих элементов обработанная поверхность приобретает режущую способность. На рисунке 7 схематически показаны геометрические параметры рабочей поверхности диска после ее ЭКО, которые измерялись в ходе проведения исследований.

Это — высота наплывов h_n при известном исходном диаметре диска D_0 ; глубина лунки h_l ; высота режущего элемента (аналога зуба) H ; ширина режущей кромки B_1 и ширина исходной заготовки диска B_0 .

В таблице приведены экспериментальные данные, отражающие влияние режимов ЭКО рабочей поверхности диска на значения параметров h_n , h_l , H и ΔB ($\Delta B = B_1 - B_0$).

Из анализа этих данных видно, что с повышением напряжения накопительного конденсатора с 50 до 80 В при неизменных значениях n_p и k_p , высо-

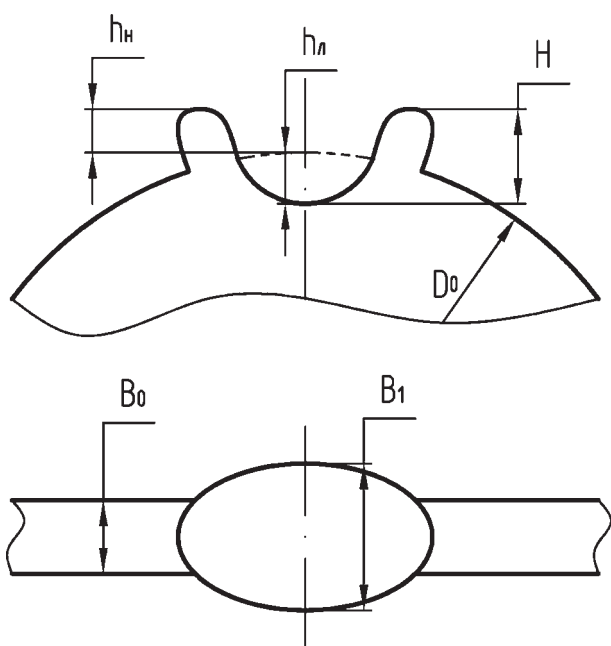


Рисунок 7 — Схема измеряемых параметров на рабочей поверхности диска после ее ЭКО

та наплывов металла на наружной поверхности диска и глубина образовавшейся на ней лунки возрастают, соответственно, с 37 до 80 мкм и с 67 до 132 мкм, а также происходит увеличение ширины режущей кромки диска с 47 до 67 мкм. Связано это с тем, что с повышением напряжения накопительного конденсатора увеличивается энергия электрического разряда, воздействующего на поверхность диска, вызывая образование лунки больших размеров, включая высоту наплывов металла по ее краям. В результате высота режущего элемента на поверхности диска H (аналог зуба инструмента), которая определяется $H = h_n + h_l$, возрастает со 104 мкм при $U = 50$ В до 212 мкм при $U = 80$ В. Благодаря этому повышается режущая способность диска, что подтверждается зависимостью $i(U)$, приведенной на рисунке 4.

Повышение значения параметра n_p при постоянной высоте H режущих элементов на рабочей поверхности диска приводит к соответствующему увеличению их количества на ней, чем объясняется возрастание его режущей способности (см. рисунок 5).

Существенное влияние на высоту H режущих элементов на рабочей поверхности диска, а следовательно, на его режущую способность (рисунок 6) оказывает параметр k_p , то есть количество электрических разрядов, воздействующих на нее в одном и том же месте. С увеличением k_p с 1 до 3 ($U = 80$ В, $n_p = 75$) высота режущих элементов на рабочей поверхности диска возрастает с 212 до 238 мкм. Происходит это за счет интенсивного увеличения глубины лунки h_l с 132 до 218 мкм, в то время как высота наплывов металла h_n и приращение ширины режущей кромки ΔB , соответственно, снижалась с 80 до 20 мкм и с 67 до 42 мкм. Объясняется это тем, что при воздействии серии импульсов, происходит повторное расплавление и испарение материала наплывов, образовавшихся после воздействия предыдущего разряда, в результате чего по мере увеличения k_p высота наплывов по краям формируемой лунки снижается, а ее глубина резко увеличивается.

В практическом плане результаты данных исследований будут использованы при разработке технологии модифицирования исходной рабочей поверхности дисков с использованием энергии электрических разрядов с целью придания ей режущей способности и получения таким образом инструментов, в частности, отрезных дисков, позволяющих осуществлять распиливание материалов, уступающих по твердости материалу диска.

Выводы. 1. Исходя из анализа результатов предшествующих исследований, показана перспективность модифицирования исходной рабочей поверхности тонких металлических дисков с использованием энергии электрических разрядов с целью придания ей режущей способности.

Таблица — Значения геометрических параметров рабочей поверхности диска при различных режимах ее ЭКО

Режимы выполнения ЭКО рабочей поверхности диска		Высота наплывов металла на наружной поверхности диска h_n , мкм	Глубина лунки h_d , мкм	Высота режущего элемента на поверхности диска H , мкм	Увеличение ширины режущей кромки диска ΔB , мкм
$n_p = 75$ $k_p = 1$	$U = 50$ В	67	37	104	47
	$U = 65$ В	90	58	148	59
	$U = 80$ В	132	80	212	67
$U = 80$ В $k_p = 1$	$n_p = 25$	132	80	212	67
	$n_p = 50$	132	80	212	67
	$n_p = 75$	132	80	212	67
$U = 80$ В $n_p = 75$	$k_p = 1$	132	80	212	67
	$k_p = 2$	163	62	225	42
	$k_p = 3$	218	20	238	42

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, включая устройство для электроконтактной обработки (ЭКО) рабочей поверхности диска с варьированием напряжения накопительного конденсатора U , количества разрядов, по длине ее окружности n_p , количества разрядов, воздействующих на одно и то же место поверхности k_p , а также установку для оценки режущей способности испытуемых дисков по значению интенсивности распиливания ими образцов i из различных материалов (дерево, органическое стекло, кость, углеситалл).

3. Получены экспериментальные зависимости влияния параметров режима ЭКО рабочей поверхности стального (сталь У8А) диска номинальным диаметром 75 мм и толщиной 0,2 мм на интенсивность распиливания им образцов. Установлено, что с увеличением U , n_p и k_p при выполнении ЭКО рабочей поверхности диска интенсивность распиливания им образцов возрастает, т. е. его режущая способность повышается. При прочих равных условиях выполнения ЭКО ($U = 80$ В, $n_p = 75$ и $k_p = 1$) с повышением твердости материала образца значение интенсивности его распиливания испытуемым диском снижается. Так, при обработке деревянного образца, имеющего наименьшую твердость, значение i составило 2371 мм²/мин, а при распиливании углеситалла, обладающего наибольшей из обрабатываемых материалов твердостью, значение i снизилось до 251 мм²/мин.

4. Показано, что придание режущей способности рабочей поверхности диска при ее ЭКО обеспечивается за счет формирования на ней в результате электрической эрозии характерных лунок по форме, близкой к сферической, имеющих по краям наплывы застывшего металла, которые в совокупности представляют собой своеобразные режущие элементы, параметры которых определяют уровень ее режущей способности.

5. Получены экспериментальные данные, отражающие влияние режимов ЭКО рабочей поверхности диска на глубину получаемой на ней лунки h_d , высоту наплывов металла по ее краям h_n , высоту ре-

жущего элемента на ней $H = h_d + h_n$ и приращение толщины диска ΔB . Установлено, что с повышением энергии электрического разряда за счет увеличения U с 5 до 80 В ($n_p = 75$, $k_p = 1$) происходит возрастание h_d и h_n , соответственно, с 37 до 80 мкм, при этом H увеличивается с 104 до 212 мкм, обуславливая тем самым повышение режущей способности диска. С увеличением n_p с 25 до 75 ($U = 80$ В, $k_p = 1$) высота режущих элементов на рабочей поверхности диска не изменяется ($H = 212$ мкм), но, соответственно, возрастает их количество на ней, что также обуславливает повышение режущей способности диска. Увеличение параметра k_p режима ЭКО с 1 до 3 приводит к увеличению высоты режущих элементов с 212 до 238 мкм и происходит это за счет интенсивного возрастания глубины лунки h_d с 132 до 218 мкм, в то время как высота наплывов металла h_n и приращение толщины диска ΔB , соответственно, снижаются с 80 до 20 мкм и с 67 до 42 мкм.

6. Указана практическая значимость результатов проведенных исследований, которая заключается в их использовании при разработке технологии модифицирования исходной рабочей поверхности дисков с использованием энергии электрических разрядов с целью придания ей режущей способности. В частности, при изготовлении отрезных дисков из токопроводящих материалов, позволяющих осуществлять распиливание заготовок, твердость которых ниже твердости материала диска.

Список литературы

1. Эффективность применения электроконтактной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности / М.Г. Киселев [и др.] // Вестник ПГУ. — 2013. — № 11.
2. Влияние режимов электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на величину сил резания в процессе распиливания им материалов без использования абразивной суспензии способности / М.Г. Киселев [и др.] // Вестник БГУ. — 2014. — № 1(42).
3. Экспериментальная оценка режущей способности штрипс с модифицированной путем электроконтактной обработки рабочей поверхностью / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 3(28). — С. 64–68.

KISELEV Mikhail G., Dr. Techn. Sc., Professor

Head of Department "Device Design and Manufacture"¹

E-mail: kiselev.maikl@gmail.com

DROZDOV Aleksei V., Cand. Techn. Sc., Associate Professor

Associate Professor of Department "Device Design and Manufacture"¹

E-mail: dav7@tut.by

GABETS Viacheslav L., Cand. Techn. Sc., Associate Professor

Associate Professor of Department "Device Design and Manufacture"¹

E-mail: vgabets@mail.ru

BOHDAN Pavel S.

Graduate Student of Department "Device Design and Manufacture"¹

E-mail: bpc@mail.ru

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

Received 07 April 2015.

EFFECT OF ENERGY AND ENVIRONMENT IMPACT ELECTRICAL DISCHARGES IN THE PROCESS OF MODIFYING THE WORKING SURFACE OF STEEL DISC ON HIS CUTTING CAPACITY

Article is devoted to the experimental evaluation of the energy efficiency of electrical discharges in the process of modifying the working surface of thin steel disks to give it the cutting ability. The main provisions of the methodology of experimental studies, including a description of the device for electrical contact discharge machining (ECoDM) the working surface of the disk and install for evaluation of its cutting power when cutting samples from a variety of materials (wood, organic glass, bone and uglesital). Presented and analyzed based on the effect of execution of IVF working surface of the disk on the intensity of cutting them samples. Presented and analyzed the data, reflecting the influence of execution modes ECO working surface of the disk on the parameters formed on her hole and spatter at their edges, which together serve as a distinctive design elements, giving it a cutting ability.

Keywords: saw disc, electrical contact discharge machining, cutting ability, technological scheme, test

References

1. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Bogdan P.S. Effektivnost primeneniia elektrokontaktnoi obrabotki poverkhnosti provolochnogo instrumenta s tseliu pridaniia ei rezhushchei sposobnosti [Efficacy of treatment of the surface electric-wire tool to give it a cutting capacity]. *Vestnik PGU* [Journal of PGU], 2013, no. 11, pp. 73–77.
2. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Bogdan P.S. Vliianie rezhimov elektrokontaktnoi obrabotki iskhodnoi poverkhnosti provolochnogo instrumenta na velichinu sil rezaniia v protsesse raspilivaniia im materialov bez ispolzovaniia abrazivnoi suspenzii [Effect of electric-processing the original surface of the wire tool by the cutting forces during cutting them materials without the use of abrasive slurry]. *Vestnik BRU* [Journal of BRU], 2014, no. 1, pp. 15–22.
3. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Gabets V.L., Bogdan P.S. Eksperimentalnaia otsenka rezhushchei sposobnosti shtrips s modifitsirovannoi putem elektrokontaktnoi obrabotki rabochei poverkhnosti [Experimental evaluation of cutting power strips with modified by treatment with electro worktop]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2014, no. 3, pp. 64–68.