

УДК 621.9.048

М.Г. КИСЕЛЕВ, д-р техн. наук, проф.заведующий кафедрой «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: kiselev.maikl@gmail.com**В.Л. ГАБЕЦ**, канд. техн. наук, доц.доцент кафедры «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: vgabets@bntu.by**П.С. БОГДАН**аспирант кафедры «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: bpc@mail.ru**Д.В. РОЩИН**магистрант кафедры «Конструирование и производство приборов» приборостроительного факультета¹
E-mail: dimka.roshchin@mail.ru¹Белорусский национальный технический университет, г. Минск, Республика Беларусь*Поступила в редакцию 23.03.2017.*

ЭКСПЛУАТАЦИОННЫЕ ПОКАЗАТЕЛИ СТАЛЬНЫХ ОТРЕЗНЫХ ДИСКОВ С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ ПРИ РЕЗКЕ ХРУПКИХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

Статья посвящена экспериментальной оценке влияния электроэрозионного модифицирования гладкой поверхности стального (У8А) отрезного диска на его эксплуатационные показатели при распиливании стеклянных образцов с использованием свободного абразива, в частности, на интенсивность распиливания, шероховатость поверхности реза, ширину пропила и износостойкость инструмента. Изложены основные положения методики проведения экспериментальных исследований, включая описание устройств модифицирования рабочей и боковых поверхностей диска, а также примененных методов и средств определения его эксплуатационных показателей. Приведены и обсуждены результаты экспериментальных исследований, отражающие влияние модифицирования поверхности диска на интенсивность распиливания стеклянных образцов, шероховатость поверхности реза, ширину пропила и износостойкость инструмента. Показано, что в результате модифицирования поверхности диска на ней образуются лунки, выполняющие роль своеобразных микрокарманов, в которых закрепляется абразивная паста. Благодаря этому, по сравнению с гладкой поверхностью диска, большее количество абразивных зерен попадает непосредственно в зону обработки, обуславливая тем самым более интенсивное разрушение материала образца. Установлено, что по сравнению с диском в исходном (гладком) состоянии модифицирование его рабочей поверхности повышает интенсивность распиливания в 1,1 раза, а при дополнительном модифицировании его боковых поверхностей — в 1,25 раза, но при этом в 1,5–2 раза возрастает значение параметра Ra шероховатости поверхности реза и в 1,4 раза увеличивается ширина пропила. Экспериментально показано, что путем периодического модифицирования изношенной поверхности диска, которое технически осуществляется непосредственно в процессе выполнения операции, можно обеспечить поддержание его высокой режущей способности на протяжении всего времени использования инструмента.

Ключевые слова: *отрезной диск, свободный абразив, абразивная паста, распиливание, электроэрозионная обработка, модифицирование поверхности, режущая способность, хрупкий материал*

Введение. Операция механического распиливания исходного сырья из хрупких неметаллических материалов, в частности стекла, полупроводников, керамики, поделочных и драгоценных камней, на штучные заготовки (полуфабрикаты) широко используется в технологии оптического и электронного приборостроения, а также в ювелирном производстве. В зависимости от формы и размеров физико-механических свойств и стоимости исход-

ного сырья применяются несколько способов выполнения этой операции: алмазным отрезным кругом с наружной и внутренней режущей кромками, а также штрипсами и тонкой проволокой с подачей в зону обработки свободного абразива [1–3].

Распиливание указанных материалов вращающимся гладким диском с использованием свободного абразива применяется редко, главным образом для резки пластин, стержней, трубок,

и других изделий из стекла [4–5]. Это объясняется весьма низкой производительностью выполнения операции, которая напрямую зависит от количества абразивных зерен, непосредственно попадающих в зону обработки и вызывающих разрушение материала заготовки. В данном случае абразивная суспензия или абразивная паста, подаваемые в зону обработки, не удерживаются на вращающейся с большой скоростью гладкой поверхности диска, в результате чего только незначительная часть абразивных зерен попадает в зону его контакта с поверхностью заготовки. Поэтому для повышения производительности такого способа распиливания, необходимо создать условия, обеспечивающие гарантированную доставку в зону обработки как можно большего количества абразивных зерен, находящихся в абразивной суспензии или в абразивной пасте.

Как следует из анализа результатов предшествующих исследований [6–8], одним из направлений решения этой задачи является применение электроэрозионного модифицирования гладкой поверхности инструментов, применяемых для распиливания материалов с использованием свободного абразива, в частности, проволочного и ленточного. В результате выполнения этой операции за счет электрической эрозии на них формируются лунки (углубления), имеющие форму, близкую к сферической. Оправданно полагать, что совокупность таких лунок на модифицированной поверхности инструмента может выполнять роль своеобразных микрокарманов, благодаря которым абразивная суспензия или абразивная паста будут более эффективно удерживаться на ней по сравнению с гладкой поверхностью. За счет этого создаются благоприятные условия для доставки в зону обработки большего количества абразивных зерен, обеспечивающих повышение производительности выполнения операции распиливания. В настоящее время практически отсутствуют систематизированные как теоретические, так и экспериментальные данные, отражающие влияние электроэрозионного модифицирования гладкой поверхности отрезного диска на его эксплуатационные показатели.

В этой связи цель данной работы заключалась в экспериментальной оценке влияния электроэрозионного модифицирования гладких рабочих и боковых поверхностей отрезного диска на его эксплуатационные показатели при распиливании хрупких неметаллических материалов с использованием свободного абразива, в частности на производительность выполнения операции, качество распиленной поверхности, ширину распила и износостойкость инструмента.

Методика проведения экспериментальных исследований. Объектом исследования является стальной (У8А) диск толщиной 0,2 мм, наружным диаметром 75 мм, с центральным посадочным отверстием диа-

метром 16 мм, имеющий в исходном состоянии гладкие наружную и боковые поверхности.

Для осуществления их электроэрозионного модифицирования (далее просто модифицирования) использовались два вида устройств: одно для обработки рабочей (режущей) его поверхности, а второе — для обработки его боковых поверхностей.

Принципиальная схема первого устройства приведена на рисунке 1.

Оно состоит из основания 7, на котором установлен электродвигатель 4. На валу последнего закрепляется отрезной диск 1, наружная поверхность которого подлежит модифицированию. Для получения на ней равномерно расположенных лунок с управляемым шагом между ними предварительно на боковую поверхность диска с помощью двухстороннего скотча наклеивается круговая бумажная шкала 3 с ценой деления 5°. На корпусе электродвигателя неподвижно закреплен указатель 5, с помощью которого отсчитывается требуемый угол дискретного поворота диска в процессе выполнения операции модифицирования.

Посредством токосъемного устройства 2 диск и электрод-инструмент в виде стальной (У8А) пластины 6 толщиной 0,3 мм, шириной 8 мм и длиной 110 мм включены в электрическую цепь, состоящую из источника постоянного тока ИП, накопительного конденсатора C и токоограничивающего резистора R . Пластине вручную сообщается колебательное движение перпендикулярно обрабатываемой поверхности диска, чем обеспечивается прерывание электрической цепи с формированием на ней лунок. После протекания каждого электрического разряда диск вручную (при неработающем электродвигателе) поворачивается на требуемый угол, после чего на его наружной поверхности формируется очередная лунка. Таким образом осуществляется модифицирование всей наружной поверхности диска.

На рисунке 2 представлена принципиальная схема устройства для модифицирования боковых поверхностей диска.

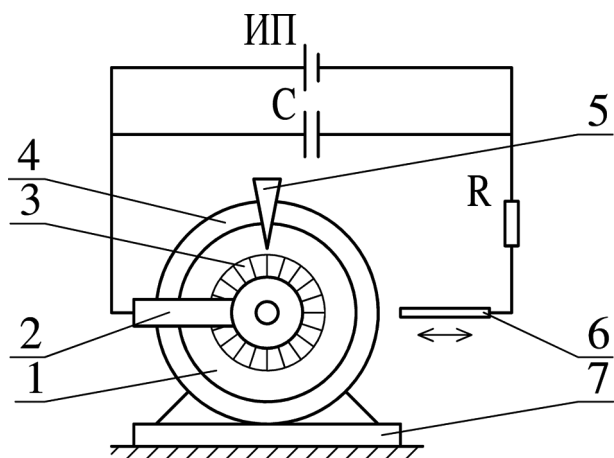


Рисунок 1 — Принципиальная схема устройства модифицирования рабочей поверхности отрезного диска

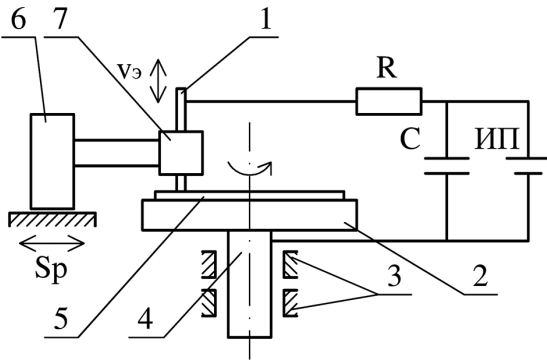


Рисунок 2 — Принципиальная схема устройства электроэрозионного модифицирования боковых поверхностей диска

На валу 4, свободно вращающегося в подшипниках 3, вокруг вертикальной оси установлена планшайба 2, на которой закрепляется обрабатываемый диск 5. В этом случае электродом-инструментом служит тонкая стальная проволока 1 диаметром 0,3 мм, которая по скользящей посадке перемещается в отверстии направляющей втулки 7. Последняя закреплена на каретке 6, которая имеет возможность перемещения в радиальном направлении S_p .

Электрод-инструмент и диск включены в такую же электрическую цепь, как и в предыдущем устройстве. Проволоке вручную сообщается колебательное движение $v_э$, направленное перпендикулярно обрабатываемой поверхности диска. Использование электрода-инструмента с малой площадью рабочей (торцевой) поверхности ($0,07 \text{ мм}^2$) позволило локализовать зону протекания единого разряда, а соответственно, место формирования лунки на поверхности диска. Применение направляющей втулки обеспечило точное позиционирование рабочей поверхности электрода-инструмента относительно поверхности диска в процессе ее модифицирования. Так, после формирования на ней единичной лунки за счет соответствующих относительных круговых и продольных перемещений последовательно наносились лунки на всю подлежащую обработке поверхность диска. Лунки располагались друг от друга на расстоянии 1,0–1,5 мм, а ширина модифицированной дорожки составляла 5 мм. По завершению обработки одной боковой стороны диск на планшайбе переустанавливался и осуществлялось модифицирование его противоположной стороны.

В процессе модифицирования как наружной, так и боковых поверхностей диска использовалась прямая полярность, при которой он являлся анодом. Напряжение накопительного конденсатора составило 75 В при его емкости 350 мкФ, диэлектрическая жидкость не применялась, т. е. обработка осуществлялась на воздухе.

По завершении этих операций исследовалось состояние модифицированной поверхности диска и измерялись геометрические параметры полученных на ней лунок.

На рисунке 3 приведены фотографии лунок на модифицированной наружной и боковой поверхностях диска с указанием измеряемых параметров.

К ним относятся диаметр лунки $d_л$, высота наплывов металла $h_н$ по ее краям, их ширина ΔB и расстояние между центрами лунок в продольном $l_{пр}$ и радиальном l_p направлениях. Параметры $d_л$, $h_н$, $l_{пр}$, l_p измерялись на малом инструментальном микроскопе ММИ–2 с точностью $\pm 5 \text{ мкм}$. С помощью микрометра МК–25–0,01 определялось приращение режущей кромки диска ΔB за счет образовавшихся на краю лунки наплывов металла: $\Delta B = B - B_0$, где B и B_0 измеренные значения толщины диска в месте расположения лунки и его толщины в исходном состоянии соответственно. Аналогичным образом определялось приращение толщины диска в результате модифицирования его боковых поверхностей.

В таблице приведены значения указанных параметров лунок, полученных на поверхности диска в результате ее модифицирования при различном напряжении U накопительного конденсатора при его емкости 350 мкФ.

На следующем этапе проведения исследований определялась режущая способность испытуемых дисков. Количественно она оценивалась по значению интенсивности распиливания i ими образцов из стекла, которое находилось как отношение площади распиленной поверхности S ко времени выполнения операции t ($i = S / t$, $\text{мм}^2/\text{мин}$).

Распиливание образцов испытуемыми дисками выполнялось с использованием устройства, подробное описание которого приведено в работе [9]. Частота вращения диска, закрепленного на валу электродвигателя, была постоянной и составляла 250 мин^{-1} . Подлежащие распиливанию стеклянные образцы имели форму прямоуголь-

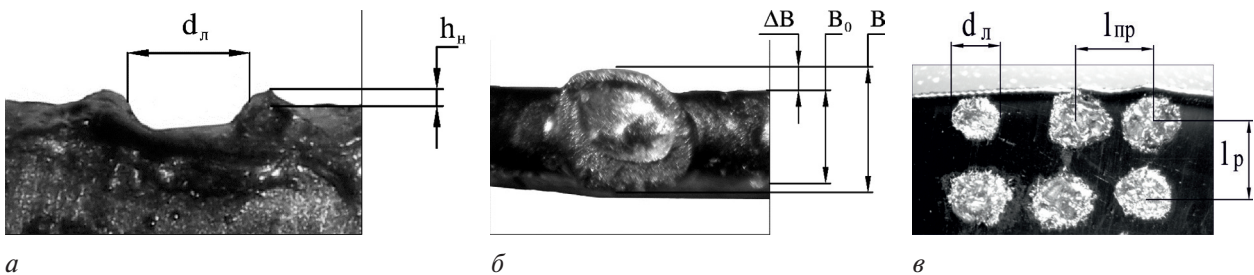


Рисунок 3 — Фотография единичной лунки на наружной поверхности диска: а — вид сбоку; б — вид в плане (увеличение 150°); в — фотография лунок на боковой поверхности диска (увеличение 30°)

Таблица — Значения геометрических параметров лунок, полученных на поверхности диска после ее модифицирования при различном напряжении накопительного конденсатора

Напряжение накопительного конденсатора, В	Значения геометрических параметров лунок, полученных на поверхности диска после ее модифицирования				
	d_l , мкм	h_n , мкм	ΔB , мкм	l_p , мм	l_{np} , мм
36	115	37	47	0,5–1,0	0,5–1,0
42	140	58	59	0,5–1,0	0,5–1,0
75	260	80	67	0,5–1,0	0,5–1,0

ного параллелепипеда длиной 30 мм и сечением 5×5 мм. Усилие прижатия образца к рабочей поверхности диска составляло 2 Н.

В качестве абразивной пасты использовалась приготовленная смесь микропорошков М28 из карбида кремния зеленого и карбида бора с техническим вазелином при их объемном соотношении 1:1. Абразивная паста в процессе распиливания однократно (перед началом распиливания) с помощью деревянной лопатки наносилась на рабочую и боковые поверхности диска.

Качество распиленной поверхности образцов оценивалось по значению высотного параметра Ra ее шероховатости, который измерялся с помощью профилометра-профилографа Taylor Hobson.

Износостойкость диска оценивалась по изменению значения интенсивности распиливания им образцов по мере увеличения площади распиленной поверхности, а также путем периодичности фотографирования и последующего исследования состояния его рабочей и боковой поверхностей.

В ходе проведения экспериментов образцы распиливались дисками при трех состояниях их поверхностей: в исходном (гладком) состоянии, с модифицированной рабочей поверхностью и с дополнительно модифицированными боковыми поверхностями.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. На рисунке 4 представлены экспериментально полученные значения интенсивности распиливания стеклянных образцов отрезным диском при трех состояниях его поверхности

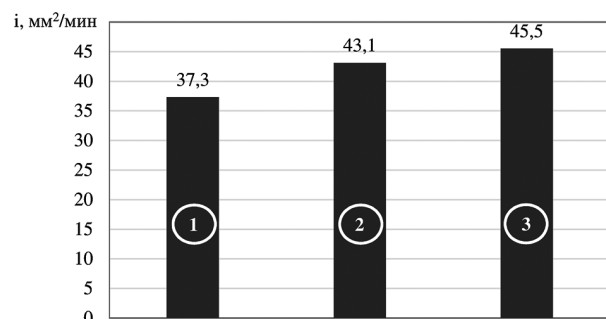


Рисунок 4 — Значения интенсивности распиливания i стеклянных образцов отрезным диском при трех состояниях его поверхности: 1 — в исходном состоянии; 2 — после модифицирования рабочей поверхности; 3 — после модифицирования рабочей и боковых поверхностей

с использованием абразивной пасты на основе карбида бора.

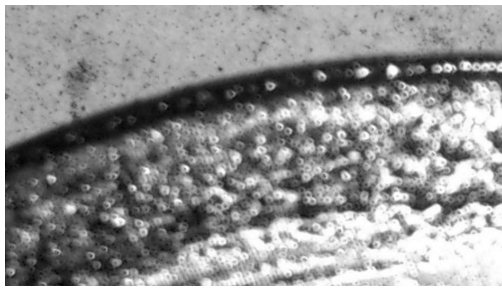
Из их анализа видно, что наименьшее значение интенсивности распиливания ($i = 37,3$ мм²/мин) наблюдается при использовании диска в исходном состоянии. Модифицирование только его рабочей поверхности приводит к повышению значения i до 43,1 мм²/мин, а наибольшую интенсивность распиливания ($i = 45,5$ мм²/мин) обеспечивает диск, у которого модифицированы как рабочая, так и боковые поверхности. Если принять значение i , соответствующее распиливанию образцов диском в исходном состоянии, за единицу, то модифицирование его рабочей поверхности повышает интенсивность распиливания в 1,1 раза, а при дополнительном модифицировании его боковых поверхностей — в 1,25 раза.

Аналогичные результаты получены при использовании в качестве абразива карбида кремния зеленого с той только разницей, что интенсивность распиливания образцов имеет меньшие значения. Так, при использовании диска в исходном состоянии значение i составило 21,4 мм²/мин, после модифицирования его рабочей поверхности — $i = 23,8$ мм²/мин, а после дополнительного модифицирования его боковых поверхностей — $i = 26,9$ мм²/мин. В этом случае интенсивность распиливания за счет модифицирования рабочей поверхности диска повысилась в 1,15 раза, а при дополнительном модифицировании его боковых поверхностей — в 1,22 раза, что свидетельствует о достаточно высокой эффективности применения операции модифицирования поверхностей отрезного диска.

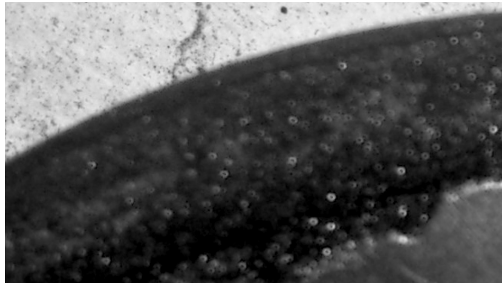
Положительное влияние этой операции на повышение интенсивности распиливания в первую очередь связано с созданием благоприятных условий для доставки абразивных зерен непосредственно в зону обработки. Дело в том, что в этом случае лунки, сформированные на модифицированной поверхности, выполняют роль своеобразных микрокарманов (микроемкостей), которые легко заполняются абразивной пастой и в которых она достаточно прочно удерживается в процессе распиливания. Благодаря этому, значительно большее, чем при использовании диска с гладкими поверхностями, количество абразивных зерен доставляется в зону обработки, обуславливая тем самым более интенсивное разрушение материала образца.

Данное положение подтверждается результатами наблюдения в процессе распиливания за наличием и расположением абразивной пасты на боковой поверхности диска в ее исходном состоянии и после модифицирования (рисунок 5).

Из сравнения этих фотографий видно, что при распиливании диском в исходном состоянии абразивная паста удерживается на его гладкой поверхности в виде отдельных фрагментов, в то время как на модифицированной поверхности она ее



a



б

Рисунок 5 — Фотография участка боковой поверхности диска с закрепившейся на ней в процессе распиливания абразивной пастой: *a* — в исходном состоянии поверхности; *б* — после ее модифицирования

полностью покрывает, располагаясь на ней в виде кольцевой дорожки, ширина которой соответствует ширине модифицированной боковой поверхности диска.

Установлено, что модифицирование поверхности диска приводит к увеличению шероховатости распиленной поверхности образца. Так, при использовании диска в исходном состоянии и с применением абразивной пасты на основе карбида бора значение параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образца составило 8,8 мкм; при использовании диска с модифицированной только рабочей поверхностью оно увеличилось до 13,1 мкм; а при распиливании диском с дополнительно модифицированными боковыми поверхностями значение параметра Ra возросло до 18,4 мкм. Аналогичная зависимость, только при несколько меньших значениях параметра Ra , сохраняется при использовании в процессе распиливания абразивной пасты на основе карбида кремния зеленого.

Увеличение шероховатости распиленной поверхности образцов при использовании дисков с модифицированными поверхностями по сравнению с исходными гладкими объясняется следующими причинами. Благодаря модифицированию поверхностей диска обеспечиваются благоприятные условия для попадания абразивных зерен в зону обработки, количество которых возрастает в случае модифицирования как рабочей, так и его боковых поверхностей. Одновременно с этим снижается, по сравнению с использованием диска в исходном состоянии, дробление абразивных зерен в процессе их попадания в зону обработки.

Поэтому в процессе разрушения (микрорезания) обрабатываемого материала участвует большее количество абразивных зерен, имеющих больший по сравнению с использованием диска в исходном состоянии размер, в результате чего шероховатость распиленной поверхности образца возрастает.

Установлено, что модифицирование поверхности диска приводит к увеличению ширины пропила b на образце. При распиливании диском в исходном состоянии значение b составило 0,64 мм, при использовании диска с модифицированной рабочей поверхностью ширина пропила увеличилась до 0,76 мм, а наибольшее значение $b = 0,89$ мм наблюдается при распиливании диском с дополнительно модифицированными боковыми поверхностями. Объясняется это увеличением толщины режущей кромки диска за счет закрепившихся в лунках абразивных зерен, что особенно проявляется при модифицировании его боковых поверхностей.

На рисунке 6 представлены зависимости интенсивности распиливания образцов от площади распиленной поверхности S при использовании диска с однократным модифицированием его поверхностей и диска, поверхности которого были периодически модифицированы после распиливания образцов площадью 50 мм². Использовалась абразивная паста на основе карбида кремния зеленого.

Как видно, в первом случае значение i по мере увеличения S снижается, достигая при $S = 275$ –300 мм² своего наименьшего и практически постоянного значения, равного 23,2 мм²/мин. Наличие такой зависимости $i(S)$ объясняется изнашиванием поверхности диска и уменьшением высоты наплывов металла по краям лунок, их диаметров и глубины, что подтверждается фотографиями, представленными на рисунке 7.

В результате этих изменений степень положительного влияния модифицированной поверхности диска на условия доставки абразивных зерен в зону обработки падает, что влечет за собой снижение интенсивности распиливания, а ее состояние постепенно приближается к исходному. Отметим, что при использовании диска в исходном состоянии его поверхности увеличение площади

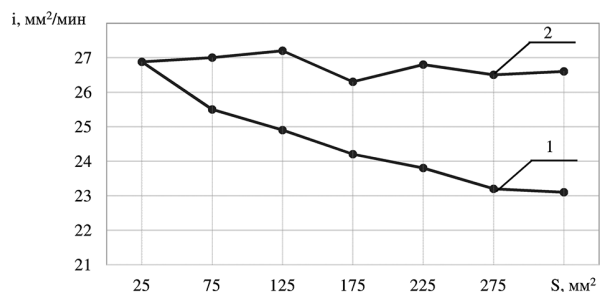
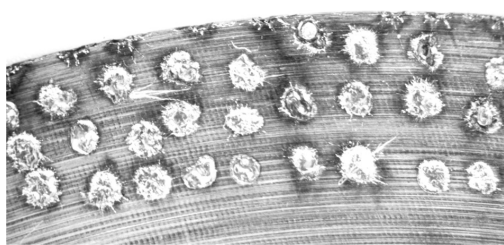


Рисунок 6 — Зависимости интенсивности распиливания образцов от площади распиленной поверхности S при использовании диска с однократным модифицированием поверхностей (1) и диска, поверхности которого периодически модифицированы в процессе выполнения операции (2)



а



б

Рисунок 7 — Фотография участка поверхности диска:
а — после модифицирования; б — после распиливания им
образцов площадью 325 мм²

распиленной поверхности образцов существенно не влияет на изменение его режущей способности, т. е. значение интенсивности распиливания остается практически постоянным и составляет 21,2–21,4 мм²/мин.

В случае применения периодического модифицирования поверхности диска значение интенсивности распиливания образцов с увеличением S сохраняется практически постоянным и составляет в среднем 26,8 мм²/мин. Поэтому данную операцию, в принципе, можно рассматривать как своеобразную операцию переточки инструмента, в результате выполнения которой на его поверхности образуются новые и восстанавливаются изношенные лунки, обеспечивающие поддержание его высокой режущей способности. Причем выполнение этой операции не требует применения дорогостоящего оборудования и высокой квалификации исполнителя, что определяет ее низкую трудоемкость. Более того, как было показано в работе [10], технически возможно осуществление выполнения этой операции непосредственно в процессе распиливания материалов, что позволит существенно повысить эффективность применения электроэрозионного модифицирования поверхности стального отрезного диска.

Выводы. 1. На основе анализа условий, позволяющих повысить производительность распиливания хрупких неметаллических материалов гладким стальным диском с использованием свободного абразива, на уровне рабочей гипотезы обоснована перспективность применения электроэрозионного модифицирования его поверхностей, обеспечивающего, за счет формирования на них лунок (микрочашинок), доставку в зону обработки большего

количества абразивных зерен, что приводит к интенсификации процесса разрушения обрабатываемого материала, а соответственно, к повышению производительности выполнения операции.

2. Созданы устройства электроэрозионного модифицирования рабочей и боковых поверхностей стального диска, обеспечивающие формирование на них совокупности не перекрывающих друг друга лунок, имеющих форму, близкую к сферической. Разработана методика проведения экспериментальных исследований по оценке влияния этой операции на эксплуатационные показатели диска при распиливании стеклянных образцов с применением абразивной пасты, в частности на интенсивность распиливания, шероховатость поверхности реза, ширину пропила и износостойкость диска.

3. На основании полученных данных экспериментально подтверждено, что электроэрозионное модифицирование гладкой поверхности стального диска обеспечивает повышение его режущей способности. Так, наименьшее значение интенсивности распиливания ($i = 37,3$ мм²/мин) наблюдается при использовании диска в исходном состоянии (паста на основе карбида бора М28). Модифицирование только его рабочей поверхности приводит к повышению значения i до 43,1 мм²/мин, т. е. повышает интенсивность распиливания в 1,1 раза, а наибольшую интенсивность распиливания ($i = 45,5$ мм²/мин) обеспечивает диск, у которого дополнительно модифицированы боковые поверхности, что соответствует повышению значения i в 1,25 раза. Аналогичные результаты получены при использовании в качестве абразива карбида кремния зеленого М28 с той только разницей, что интенсивность распиливания имеет в среднем на 40 % меньшие значения.

4. Результаты визуального наблюдения за наличием и расположением абразивной пасты на боковой поверхности диска в процессе распиливания установлено, что при использовании диска в исходном состоянии она практически отсутствует на его гладкой поверхности, а при распиливании диском с модифицированной поверхностью она стабильно удерживается на ней, располагаясь в виде кольцевой дорожки, ширина которой соответствует ширине модифицированной боковой поверхности диска.

5. Экспериментально установлено, что электроэрозионное модифицирование поверхности диска приводит к увеличению шероховатости распиленной поверхности образца. Так, при использовании диска в исходном состоянии (паста на основе карбида бора М28) значение параметра Ra шероховатости распиленной поверхности образца составило 8,8 мкм, при использовании диска с модифицированной только рабочей поверхностью оно увеличилось до 13,1 мкм, при распиливании диском с дополнительно модифицированными

боковыми поверхностями значение параметра Ra возросло до 18,4 мкм. При этом наименьшая ширина пропила $b = 0,64$ мм наблюдается при распиливании образцов диском в исходном состоянии, при использовании диска с модифицированной рабочей поверхностью значение b увеличилось до 0,76 мм, а при распиливании диском с дополнительно модифицированными боковыми поверхностями ширина пропила имеет наибольшее значение и составляет 0,89 мм.

6. Показано, что использование диска с модифицированной поверхностью по сравнению с гладкой создает более благоприятные условия для попадания (доставки) абразивных зерен в зону обработки, снижая тем самым степень их дробления, в результате чего в процессе разрушения (микрорезания) обрабатываемого материала участвует большее количество абразивных зерен, имеющих больший (исходный) размер, что в совокупности приводит к повышению интенсивности распиливания при одновременном увеличении шероховатости поверхности реза и ширины пропила.

7. Экспериментально установлено, что при использовании диска с однократным модифицированием его поверхности по мере увеличения площади S распиленной поверхности образцов, т. е. машинного времени его работы, интенсивность распиливания снижается, достигая при $S = 275\text{--}300$ мм² своего минимального и далее практически не изменяющегося значения, равного 23,0–23,2 мм²/мин, в то время как при $S = 25$ мм² интенсивность распиливания составляла 26,7–26,9 мм²/мин. Наличие такой зависимости $i(S)$ объясняется протеканием процесса изнашивания элементов на модифицированной поверхности диска, вызывающим уменьшение наплывов металла по краям лунки, их диаметра и глубины. В результате степень положительного влияния модифицированной поверхности диска на условия доставки абразивных зерен в зону об-

работки снижается, что влечет за собой падение интенсивности распиливания. Экспериментально показано, что путем периодического модифицирования изношенной поверхности диска, что технически осуществляется непосредственно в процессе выполнения операции, можно обеспечить поддержание его наибольшей режущей способности на протяжении всего времени использования инструмента.

Список литературы

1. Курносов, А.И. Технология производства полупроводниковых приборов и интегральных микросхем / А.И. Курносов, В.В. Юдин. — М.: Высш. шк., 1986. — 368 с.
2. Доводка прецизионных деталей машин / П.Н. Орлов [и др.]; под ред. Г.М. Ипполитова. — М.: Машиностроение, 1978. — 256 с.
3. Запорожский, В.П. Обработка полупроводниковых материалов / В.П. Запорожский, Б.А. Лапшинов. — М.: Высш. шк., 1988. — 184 с.
4. Справочник технолога-оптика / М.А. Окатов [и др.]. — СПб.: Политехника, 2004. — 679 с.
5. Зубаков, В.Г. Технология оптических деталей / В.Г. Зубаков, М.Н. Семибратов, С.К. Штандель. — М.: Машиностроение, 1985. — 368 с.
6. Модификация исходной поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности путем применения электроконтактной обработки / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2012. — Т. 34, № 1. — С. 13–22.
7. Влияние параметров режима электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на его режущую способность / М.Г. Киселев [и др.] // Докл. БГУИР. — 2013. — Т. 73, № 3. — С. 5–11.
8. Влияние способа выполнения электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на его режущую способность / М.Г. Киселев [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. — 2012. — Т. 17, № 4. — С. 83–88.
9. Определение эксплуатационных показателей отрезного диска с модифицированной путем электроконтактной обработки поверхностью / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2015. — № 4(49). — С. 22–32.
10. Влияние скорости вращения рабочей поверхности отрезного диска в процессе ее электроэрозионной обработки на режущую способность инструмента / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2016. — Т. 35, № 2. — С. 58–62.

KISELEV Mikhail G., D. Sc. in Eng., Prof.

Head of Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹
E-mail: kiselev.maikl@gmail.com

GABEC Viacheslav L., D. Sc. in Eng., Assoc. Prof.

Associate Professor of Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹
E-mail: vgabets@bntu.by

BOHDAN Pavel S.

Graduate Student of Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹
E-mail: bpc@mail.ru

ROSHCHIN Dmitrii V.

Undergraduate Student of Department “Device Design and Manufacture”, Instrumentation Engineering Faculty¹
E-mail: dimka.roshchin@mail.ru

¹Belarusian National Technical University, Minsk, Republic of Belarus

PERFORMANCE CHARACTERISTICS OF STEEL CUTTING DISCS WITH A MODIFIED SURFACE FOR CUTTING BRITTLE NON-METALLIC MATERIALS

The paper is devoted to the experimental estimation of the effect of electroerosive modification of the smooth surface of a steel (USA) cutting disc on its operational parameters when cutting glass samples using free abrasive, in particular, on the intensity of sawing, the roughness of the cutting surface, the width of the cut and the wear resistance of the tool. The main provisions of the experimental research methodology are described, including a description of the devices for modifying the working and lateral surfaces of the disk, as well as the methods and means used to determine its operational parameters. The results of experimental studies reflecting the effect of modifying the surface of a disc on the intensity of sawing glass specimens, the roughness of the cutting surface, the width of the cut and the wear resistance of the tool are presented and discussed. It is shown that, as a result of modifying the surface of the disk, holes are formed on it, which serve as a kind of micro-folds in which an abrasive paste is fixed. Due to this, in comparison with the smooth surface of the disc, a greater number of abrasive grains fall directly into the treatment zone, thereby causing more intensive destruction of the sample material. It is established that, in comparison with the disk in the initial (smooth) state of the surface, modifying its working surface raises the sawing intensity 1,1 times, and with additional modification of its lateral surfaces 1,25 times, but at the same time 1,5–2 times the value R_a of the roughness of the surface of the cut increases and the width of the cut increases by a factor of 1,4. It has been experimentally shown that by periodically modifying the worn out surface of the disc, which is technically carried out directly during the operation, it is possible to maintain its high cutting ability throughout the entire time of use of the tool.

Keywords: cutting disc, free abrasive, abrasive paste, sawing, electro-erosion treatment, surface modification, cutting ability, brittle material

References

1. Kurnosov A.I., Yudin V.V. *Tehnologija proizvodstva poluprovodnikovyykh priborov i integralnykh mikroshem* [Manufacturing process of semiconductor devices and integrated circuits]. Moscow, Vysshaja shkola, 1986. 368 p.
2. Orlov P.N. [et al.] *Dovodka precizionnykh detalei mashin* [Finishing of precision machine parts]. Moscow, Mashinostroenie, 1978. 256 p.
3. Zaporozhskii V.P., Lapshinov B.A. *Obrabotka poluprovodnikovyykh materialov* [Processing of semiconductor materials]. Moscow, Vysshaja shkola, 1986. 368 p.
4. Okatov M.A. [et al.] *Spravochnik tekhnologa-optika* [Handbook of the technologist-optics]. St. Petersburg, Politehnika, 2004. 679 p.
5. Zubakov V.G., Semibratov M.N., Shtandel S.K. *Tekhnologiya opticheskikh detalei* [Technology of optical parts]. Moscow, Mashinostroenie, 1985. 368 p.
6. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Bohdan P.S. Modifikatsiya iskhodnoi poverkhnosti provolochnogo instrumenta s tseliu pridaniia ei rezhushchei sposobnosti putem primeneniia elektrokontaktnoi obrabotki [Modification of the initial surface of a wire tool to give it a cutting ability by applying an electrocontact treatment]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University], 2012, no. 1, pp. 13–22.
7. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Bohdan P.S. Vliianie parametrov rezhima elektrokontaktnoi obrabotki iskhodnoi poverkhnosti provolochnogo instrumenta na ego rezhushchuiu sposobnost [Effect of parameters of the mode of electrocontact treatment of the initial surface of a wire tool on its cutting ability]. *Doklady BGUIR* [Reports of BSUIR], 2013, no. 3, pp. 5–11.
8. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Moskalenko A.V., Monich S.G., Bogdan P.S. Vliianie sposobna vypolneniia elektrokontaktnoi obrabotki iskhodnoi poverkhnosti provolochnogo instrumenta na ego rezhushchuiu sposobnost [Influence of the method of performing electrocontact treatment of the initial surface of a wire tool on its cutting ability]. *Materialy, tekhnologii, instrumenty* [Materials, technologies, tools], 2012, no. 4, pp. 83–88.
9. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Bohdan P.S., Tcikhovich A.I. Opredelenie ekspluatatsionnykh pokazatelei otreznogo diska s modifitsirovannoi putem elektrokontaktnoi obrabotki poverkhnosti [Determination of operational characteristics of the cutting disc with modified by electrocontact surface treatment]. *Vestnik Belorussko-Rossiiskogo universiteta* [Bulletin of the Belarusian-Russian University], 2015, no. 4, pp. 22–32.
10. Kiselev M.G., Drozdov A.V., Bohdan P.S., Sentemova D.V. Vliianie skorosti vrashcheniia rabochei poverkhnosti otreznogo diska v protsesse ee elektroerozionnoi obrabotki na rezhushchuiu sposobnost instrumenta [Influence of speed of the working surface cutting discs during on edm cutting ability tool]. *Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov* [Mechanics of machines, mechanisms and materials], 2016, no. 2, pp. 58–62.