

УДК 621.9.048.2

М.Г. КИСЕЛЕВ, д-р техн. наук; А.В. ДРОЗДОВ, В.Л. ГАБЕЦ, кандидаты техн. наук; П.С. БОГДАН

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА РЕЖУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ ШТРИПС С МОДИФИЦИРОВАННОЙ ПУТЕМ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ РАБОЧЕЙ ПОВЕРХНОСТЬЮ

Статья посвящена экспериментальной оценке режущей способности штрипс с модифицированной путем электроконтактной обработки рабочей поверхностью. Показано, что придание поверхности режущей способности обеспечивается за счет формирования на ней в процессе электроконтактной обработки углублений (лунок), имеющих по краям наплывы застывшего металла. Установлено, что высота этих наплывов определяется емкостью накопительного конденсатора и напряжением на нем, с повышением которых она возрастает. Экспериментально доказано, что эти конструктивные элементы способны снимать стружку при распиливании материалов, твердость которых ниже твердости стальной штрипсы. Приведены результаты экспериментальных исследований, отражающих влияние высоты наплывов на рабочей поверхности штрипсы на интенсивность распиливания ею ряда материалов. Исходя из установленных особенностей процесса распиливания материалов таким инструментом, разработаны рекомендации по практическому использованию результатов проведенных исследований.

Ключевые слова: проволочная резка, штрипсовая резка, электроконтактная обработка, пильный инструмент, режущая способность

Введение. Результаты ранее проведенных исследований [1–3] установлено, что эффективным способом повышения эксплуатационных показателей проволочного (непрофилированного) инструмента является модификация его поверхности путем электроконтактной обработки (ЭКО). В ходе ее выполнения на поверхности инструмента образуются характерные лунки (углубления), имеющие по краям наплывы металла, выходящие за исходный контур проволоки. В процессе распиливания материалов проволочным инструментом с подачей в зону обработки абразивной суспензии, лунки на его поверхности выполняют роль своеобразных препятствий, снижающих степень подвижности абразивных зерен за счет явления их перекатывания между взаимодействующими поверхностями. В результате процесс распиливания материала заготовки происходит за счет воздействия на него большего количества закрепленных абразивных частиц, вызывающих, в сравнении с перекатывающимися, более интенсивное его разрушение, обеспечивая тем самым повышение производительности выполнения операции. Кроме того, наличие на модифицированной поверхности проволочного инструмента наплывов металла, которые выполняют роль своеобразных режущих элементов, позволяет эффективно использовать такой инструмент для распиливания материалов, твердость которых ниже твердости применяемой проволоки.

Помимо проволочного инструмента для выполнения операции распиливания используются штрипсы (от англ. *strip* — полоса). Они представляют собой стальные тонкие (толщиной 0,05–0,3 мм) полосы различной длины и шириной от 4 до 10 мм. Механизм процесса распиливания хрупких мате-

риалов штрипсами с подачей в зону обработки абразивной суспензии аналогичен распиливанию проволочным инструментом и заключается в следующем. На раму с собранными через прокладки штрипсами (от 100 до 250 штук), совершающую возвратно-поступательное движение, сверху через форсунки подается абразивная суспензия. Свободные зерна абразива, попадая на кромку штрипс, прижимаются к распиливаемой поверхности материала и перекатываются по нему, вызывая образование микротрещин, переходящих в макротрещины, глубина которых зависит от природы и размеров зерен абразива. Дальнейшее перекатывание зерен может приводить к выкалыванию частиц обрабатываемого материала.

Таким образом, можно обоснованно утверждать, что, по аналогии с проволочным инструментом, модификация рабочей поверхности штрипсы путем ее электроконтактной обработки позволит, за счет снижения подвижности абразивных частиц в зоне обработки, повысить интенсивность распиливания. Кроме того, представляется перспективным использование штрипс с модифицированной рабочей поверхностью для распиливания материалов, твердость которых ниже твердости применяемого инструмента. Экспериментальной оценке эффективности применения штрипс с модифицированной рабочей поверхностью для распиливания различных материалов без применения абразива посвящена настоящая работа.

Методика проведения экспериментальных исследований. Объектом испытаний служили штрипсы, изготовленные из стали У8А, имеющие после закалки твердость HRC 50–55, толщиной 0,3, шириной 8 и длиной 110 мм. По концам полосы выпол-

нены два отверстия, которые служат для закрепления штрипсы в рамке.

На рисунке 1 представлена технологическая схема выполнения операции электроконтактной обработки рабочей поверхности штрипсы 4.

Последняя закрепляется в рамке 2, которая устанавливается на подвижном столе 3. На валу электродвигателя постоянного тока 1 закреплена оправка, в которой установлены проволочные стальные (У8А) электроды-инструменты 5 диаметром 0,76 мм. Электродвигатель расположен таким образом, чтобы при вращении его вала проволочные электроды-инструменты периодически контактировали с рабочей (обрабатываемой) поверхностью штрипсы. Она и электроды-инструменты изолированы друг от друга и включены в электрическую цепь, состоящую из накопительного конденсатора C , токоограничивающего резистора R и источника питания постоянного тока ИП. При вращении электрода-инструмента в момент его сближения с поверхностью штрипсы, на расстоянии между ними равном минимальной величине межэлектродного промежутка (МЭП), происходит электрический разряд. В результате за счет электрической эрозии [4, 5] на рабочей поверхности штрипсы образуется характерное углубление (лунка) с наплывами по его краям застывшего металла (рисунок 2).

Частота наносимых на рабочей поверхности штрипсы лунок регулируется изменением величины подачи стола S_{np} , а их геометрические параметры — за счет изменения емкости конденсатора C и подаваемого на него напряжения U . По завершению электроконтактной обработки рабочей поверхности штрипсы проводились испытания по определению ее режущей способности, для чего использовалась специальная установка, фотография общего вида которой представлена на рисунке 3.

В ходе проведения экспериментов использовались образцы из дерева, кости, органического стек-

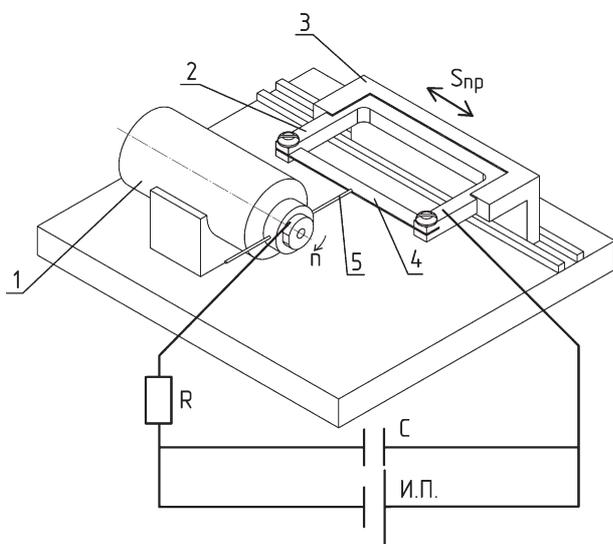
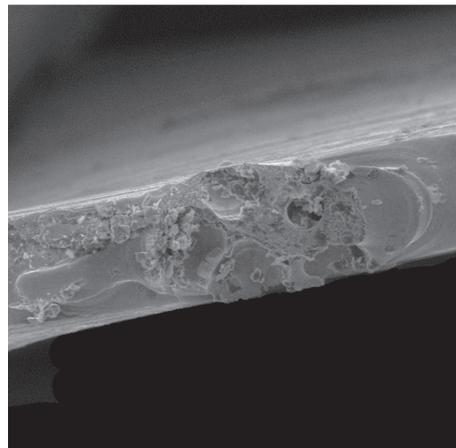
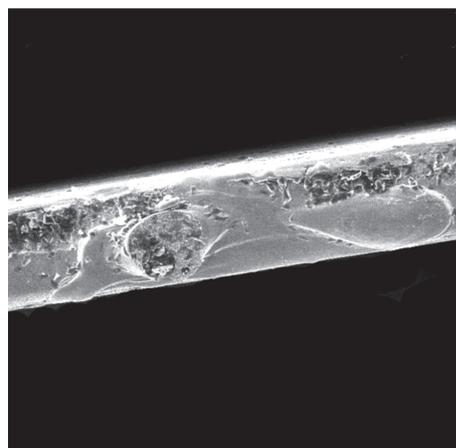


Рисунок 1 — Технологическая схема электроконтактной обработки рабочей поверхности штрипсы



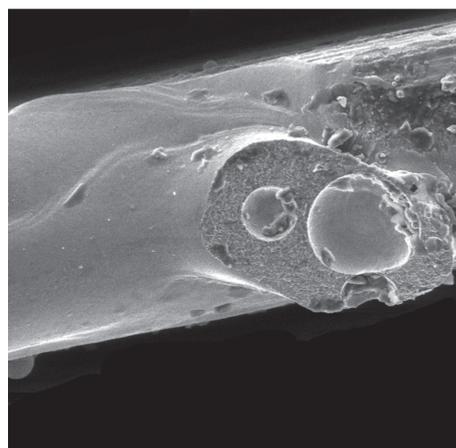
SEM HV: 20.00 kV View field: 953.9 μ m SEM MAG: 208 x WD: 12.8250 mm Det: SE Detector Date(m/d/y): 03/18/14 VEGAII TESCAN

а



SEM HV: 20.00 kV View field: 1.09 mm SEM MAG: 182 x WD: 12.8760 mm Det: SE Detector Date(m/d/y): 03/18/14 VEGAII TESCAN

б



SEM HV: 20.00 kV View field: 494.8 μ m SEM MAG: 401 x WD: 12.9430 mm Det: SE Detector Date(m/d/y): 03/18/14 VEGAII TESCAN

в

Рисунок 2 — Фотографии лунок, полученных на рабочей поверхности штрипсы после ее электроконтактной обработки: а — при напряжении обработки 36 В; б — 48 В; в — 75 В

ла и текстолита, которые имели форму пластин с толщиной распиливаемой поверхности, равной 5 мм. Учитывая, что твердость распиливаемых материалов была меньше твердости материала штрипсы, то

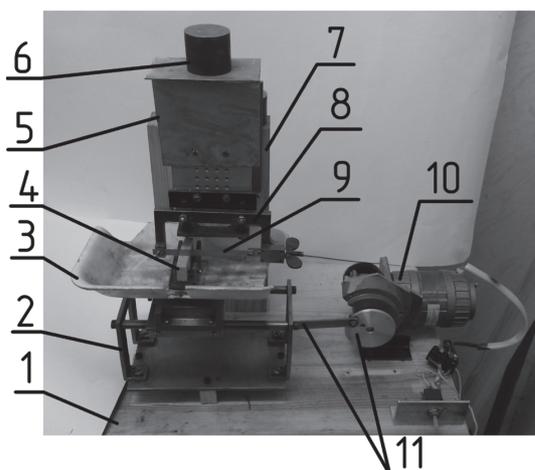


Рисунок 3 — Фотография общего вида установки по определению режущей способности штрипсы: 1 — основание; 2 — горизонтальные направляющие; 3 — нижняя каретка; 4 — узел крепления образца; 5 — верхняя каретка; 6 — грузы; 7 — вертикальные направляющие; 8 — рамка; 9 — штрипса; 10 — электродвигатель; 11 — кривошипно-шатунный механизм

сама операция распиливания выполнялась без подачи в зону обработки абразивной суспензии. Интенсивность распиливания I образцов испытываемой штрипсой определялась как отношение площади пропиленного на них участка F ко времени распиливания образцов t ($\text{мм}^2/\text{мин}$).

Распиливание образцов осуществлялось при следующих режимах: частота возвратно-поступательного движения штрипсы составляла 150 двойных ходов в минуту при величине хода 80 мм; статическое усилие прижатия штрипсы к образцу равнялось 10 Н.

Испытаниям подвергались штрипсы, рабочая поверхность которых обрабатывалась электроконтактным методом при следующих режимах: напряжение на накопительном конденсаторе U изменялось от 38 до 75 В при его неизменной емкости равной 150 мкФ и при постоянном шаге между лунками на рабочей поверхности штрипсы, равном 1 мм. После выполнения операции электроконтактной обработки с помощью электронного микрометра с ценой деления 1 мкм определялись высота и ширина наплывов металла (режущих элементов) на рабочей поверхности штрипсы. Численные значения этих параметров находились по результатам сравнительных измерений высоты и ширины штрипсы в ее исходном состоянии и

после электроконтактной обработки. Измерения проводились по длине штрипсы в пяти точках с последующим вычислением средних значений искомых параметров.

В таблице 1 приведены экспериментально полученные данные, отражающие влияния напряжения на накопительном конденсаторе при выполнении электроконтактной обработки штрипсы на геометрические размеры наплывов металла на ее рабочей поверхности.

Из их анализа следует, что с увеличением значения U величина наплывов металла, выполняющих роль режущих элементов, как по высоте Δh , так и по ширине Δb рабочей поверхности штрипсы возрастает. Объясняется это тем, что с повышением напряжения увеличивается энергия электрического разряда, действующего между поверхностями электрода-инструмента и штрипсы, вызывая тем самым формирование на ее поверхности углублений (лунок) больших размеров с одновременным увеличением по их краям размеров наплывов застывшего металла.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение. В таблице 2 представлены результаты экспериментальных исследований, отражающих влияние напряжения на накопительном конденсаторе при электроконтактной обработке штрипс на интенсивность распиливания ими образцов из различных материалов.

Из анализа приведенных данных следует, что применение электроконтактной обработки рабочей поверхности штрипсы обеспечивает придание ей режущей способности при распиливании материалов, твердость которых ниже твердости стального полотна. Таким образом, экспериментально доказано, что формируемые в процессе ЭКО на рабочей поверхности штрипсы наплывы металла представляют собой своеобразные режущие элементы, способные снимать стружку в процессе распиливания исследуемых материалов.

Также установлено, что с повышением в процессе электроконтактной обработки штрипс напряжения на накопительном конденсаторе интенсивность распиливания ими образцов во всех случаях возрастает. Объясняется это тем, что с увеличением U возрастает энергия электрического разряда, действующего между контактирующими поверхностями, что сопровождается увеличением как

Таблица 1 — Значения высоты и ширины наплывов металла на рабочей поверхности штрипсы при различных значениях напряжения на накопительном конденсаторе при ее электроконтактной обработке

Напряжение накопительного конденсатора, В	Исходная высота штрипсы h , мм	Высота наплывов металла, Δh , мкм	Исходная ширина штрипсы b , мм	Ширина наплывов металла Δb , мкм
38	8,04	4	0,29	1
46	8,12	9	0,29	2
75	7,88	19	0,29	6

Таблица 2 — Значения интенсивности распиливания образцов из различных материалов штрипсами, рабочая поверхность которых подвергнута электроконтактной обработке при различном напряжении на накопительном конденсаторе

Материал заготовки	Напряжение ЭКО штрипсы, В	Интенсивность распиливания, мм ² /с
Дерево	38 В	1,42
	46 В	1,51
	75 В	1,53
Текстолит	38 В	0,06
	46 В	0,10
	75 В	0,12
Оргстекло	38 В	1,66
	46 В	1,81
	75 В	2,19
Кость	38 В	0,27
	46 В	0,29
	75 В	0,75

размеров, образовавшихся на поверхности штрипсы лунок, так и высоты наплывов металла по их краям. Последнее равносильно увеличению размера режущих элементов (зубьев) на поверхности штрипсы, которые внедряются в обрабатываемый материал на большую глубину, а соответственно, срезают стружку большей толщины, что обеспечивает более высокую интенсивность процесса распиливания. Данное положение подтверждается результатами измерений на микроскопе БМИ-1 размеров продуктов разрушения обрабатываемого материала при его распиливании штрипсами, имеющими на рабочей поверхности наплывы металла различной высоты. В частности, при распиливании деревянного образца получены следующие данные. При использовании штрипсы с $\Delta h = 4$ мкм средний размер продуктов разрушения A_{cp} составил 83 мкм, при $\Delta h = 9$ мкм величина $A_{cp} = 125$ мкм, а при $\Delta h = 19$ мкм значение A_{cp} достигло 375 мкм.

Наибольшая интенсивность распиливания наблюдается при обработке образцов из органического стекла, затем по убыванию интенсивности располагаются образцы из дерева, кости и текстолита.

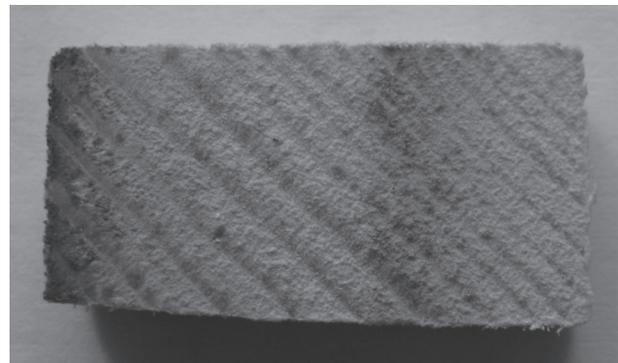
Очевидно, модификация рабочей поверхности штрипсы путем ее электроконтактной обработки придает ей эксплуатационные характеристики, которые в принципе соответствуют характеристикам многолезвийного инструмента, и в частности, ленточным пилам с нарезанным путем механической обработки зубьями. В отличие от них, штрипсы с модифицированной поверхностью не имеют регулярно расположенных зубьев, а полученные на их рабочих поверхностях наплывы металла располагаются симметрично

по краям лунки, что позволяет осуществлять процесс резания при движении штрипсы как при прямом, так и обратном ходе, т. е. сьем материала не зависит от направления главного движения штрипсы.

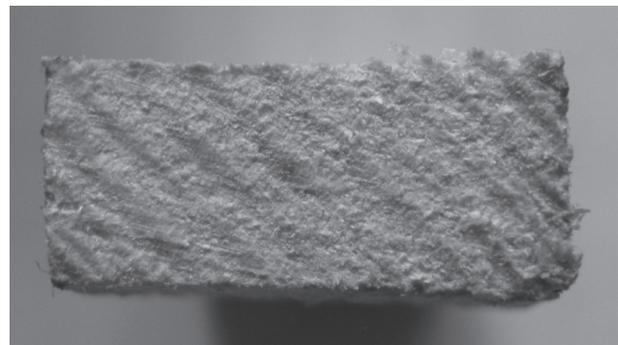
Второй особенностью штрипс с модифицированной рабочей поверхностью является незначительная высота наплывов металла (режущих элементов) на ней, определяющая малую толщину и размеры снимаемой стружки, что должно способствовать обеспечению высокого качества распиленной поверхности образцов. Данное положение подтверждается сравнением фотографий поверхности деревянного образца, распиленного штрипсой с модифицированной рабочей поверхностью и ножовочным полотном по металлу, представленных на рисунке 4.

При их визуальном сравнении видно, что поверхность, распиленная штрипсой, имеет более высокое качество, чем поверхность, обработанная ножовочным полотном.

Рекомендации по практическому использованию результатов проведенных исследований. С учетом отмеченных выше особенностей процесса распиливания материалов штрипсами с модифицированной поверхностью путем электроконтактной обработки рабочей поверхностью можно рекомендовать следующие направления практического использования такого инструмента. Это распиливание костной ткани, в частности, зубов при проведении различных исследований, когда необходимо обеспечить высокое качество обрабо-



а



б

Рисунок 4 — Фотографии поверхности деревянного образца, распиленного штрипсой (а) и ножовочным полотном по металлу (б)

танной поверхности при минимальном разогреве зоны обработки. Предложенный способ придания режущей способности рабочей поверхности штрипсы может быть эффективно использован для придания аналогичных свойств ленточному инструменту, широко применяемому при распиливании самых различных материалов. При этом можно довольно просто обеспечить поддержание высокой режущей способности такого инструмента непосредственно в процессе его эксплуатации путем электроконтактной обработки непрерывно движущегося полотна. В то время как при использовании обычных ленточных пил такую задачу решить невозможно, а поэтому при затуплении на них режущих зубьев требуется замена изношенного инструмента на новый.

Выводы.

1. Предложена технология и создано соответствующее экспериментальное оборудование, позволяющие выполнять операцию электроконтактной обработки (ЭКО) рабочей поверхности штрипсы с целью придания ей режущей способности.

2. На основании полученных экспериментальных данных установлено, что в процессе ЭКО на рабочей поверхности штрипсы в результате электрической эрозии образуются характерные углубления (лунки), имеющие по краям наплывы застывшего металла, которые придают инструменту режущую способность. Высота этих наплывов зависит от режимов выполнения ЭКО, в частности, от емкости накопительного конденсатора и напряжения на нем, с повышением которых она увеличивается.

3. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволяющая количественно оценивать режущую способность штрипсы, рабочие поверхности которых модифицированы путем их электроконтактной обработки, при распиливании ими образцов из дерева, органического стекла, текстолита и кости, т. е. материалов, твердость которых ниже стальной штрипсы.

4. Экспериментально установлено, что формируемые в процессе ЭКО на рабочей поверхности штрипсы наплывы застывшего металла представляют собой конструктивные элементы, придающие ей режущую способность, что подтверждается наличием в процессе распиливания характерной

стружки обрабатываемого материала. С увеличением высоты наплывов застывшего металла на поверхности штрипсы интенсивность распиливания во всех случаях возрастает.

5. Установлено, что благодаря незначительной высоте наплывов металла (от 4 до 19 мкм) на рабочей поверхности штрипсы, срезаемая ими в процессе распиливания стружка также имеет малые размеры (от 83 до 375 мкм), чем обеспечивается более высокое, по сравнению с распиливанием обычным ножовочным полотном, качество обработанной поверхности образцов.

6. Исходя из установленных особенностей процесса распиливания образцов штрипсами, рабочая поверхность которых модифицирована путем ее электроконтактной обработки, выработаны рекомендации по практическому использованию полученных результатов. В частности, такой инструмент можно эффективно использовать для прецизионного распиливания заготовок, когда требуется обеспечить высокое качество обработанной поверхности, к примеру, для распиливания зубов при проведении стоматологических исследований. Предложенную технологию модификации поверхности инструмента целесообразно использовать для придания и поддержания высокой режущей способности ленточных пил в процессе распиливания им различных материалов.

Список литературы

1. 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. — № 1(34).
2. Влияние способа выполнения электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на его режущую способность / М.Г. Киселев [и др.] // Материалы, технологии, инструменты. — 2012. — № 4(17).
3. Влияние режимов электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на величину сил резания в процессе распиливания им материалов без использования абразивной суспензии / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. — 2014. — № 1(42).
4. Электроэрозионная обработка металлов / М.К. Мишкевич [и др.]; под ред. И.Г. Некрашевича. — Минск: Наука и техника, 1988. — 216 с.
5. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: учеб. пособие в 2 т. — Т. 1: Обработка материалов с применением инструмента / Б.А. Артамонов [и др.]; под ред. В.П. Смоленцева. — М.: Высш. шк., 1983. — 247 с., ил.

Kiselev M.G., Drozdov A.V., Gabets V.L., Bohdan P.S.

The experimental evaluation of cutting ability with modified by ECoDM strips work surface

Article is devoted to the experimental evaluation of cutting ability with modified by ECoDM strips work surface. The article shown that making the cutting ability of surface provided by forming thereon during ECoDM recesses (holes) with the edges of the solidified metal nodules. Found that the height of the sag determined by the capacitance of the storage capacitor and the voltage on it, which increases with increasing it. Experimentally proved that these structural elements are capable of shooting chips when cutting materials whose hardness is lower than the hardness of the steel strips. The experimental results, reflecting the influence of height on working surface sagging strips on the intensity of cutting its range of materials. Proceeding from the peculiarities of the process of sawing materials such tool, developed recommendations for the practical use of the research results.

Keywords: wire cutting, strips cutting, ECoDM, cutting instrument, cutting ability

Поступила в редакцию 18.06.2014.