

УДК 621.9.048

М.Г. КИСЕЛЕВ; А.В. ДРОЗДОВ; В.С. КРИНИЧЕВ; П.С. БОГДАН

Белорусский национальный технический университет, г. Минск

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНАЯ ОЦЕНКА ВЛИЯНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ ПРОВОЛОЧНОЙ ВИТОЙ ПИЛЫ НА ЕЕ РЕЖУЩУЮ СПОСОБНОСТЬ

*Работа посвящена экспериментальной оценке влияния электроэрозионной обработки проволочной витой пилы на ее режущую способность. Приведено описание конструкции проволочной витой пилы, указаны области ее применения. На основании результатов ранее проведенных исследований обоснована перспективность применения электроэрозионной обработки проволочной витой пилы с целью повышения ее режущей способности. Приведено описание методики проведения экспериментальных исследований. Представлены и проанализированы результаты экспериментальных исследований, отражающие влияние электроэрозионной обработки проволочной витой пилы на повышение интенсивности распиливания ею образцов из различных материалов (кость, дерево, текстолит).*

**Ключевые слова:** витая проволочная пила, распиливание, электроэрозионная обработка, модифицирование поверхности, режущая способность

**Введение.** Проволочная витая пила (рисунок 1) представляет собой стальной жгут с четырьмя или тремя стальными проволоками 1, сплетенными «косичкой».

В свою очередь, каждая из них обмотана более тонкой стальной проволокой 2 с шагом витка 0,5–1 мм. Рабочая длина пилы составляет порядка 500 мм, на ее концах закреплены два кольца диаметром около 3,5 мм, которые предназначены для удобства выполнения рабочих движений при осуществлении операции распиливания. Достоинствами проволочной пилы являются ее незначительные габариты и малый вес (порядка 20 г). Благодаря этим качествам, проволочная пила нашла применение в различных экстремальных ситуациях, в частности, в критических условиях выживания людей для распиливания дерева, в военно-полевой хирургии [1, 2]. Также возможно применение витой проволочной пилы для разрезания пластмасс, полимеров и прочих материалов, по твердости уступающих материалу проволоки. Основным недостатком проволочной витой пилы связан с весьма низкой производительностью выполняемых операций, т. е. с низкой режущей способностью такого инструмента.

Согласно ранее полученным данным [3–5], повысить режущую способность одиночного проволочного инструмента можно путем электроэрозионной обработки (ЭЭО) его поверхности. Достигается это путем формирования на ней в результате электрической эрозии лунок

(рисунок 2), имеющих по краям наплывы застывшего металла, которые выходят за исходный контур поверхности и выполняют роль своеобразных режущих элементов, способных снимать стружку с поверхности материалов, уступающих по твердости металлу наплывов.

Причем в отличие от традиционной размерной ЭЭО [6–8] в данном случае обработка поверхности (модифицирование) осуществляется без перекрытия лунок, т. е. они наносятся на нее последовательно на определенном расстоянии друг от друга [9, 10]. Исходя из этого, оправдано полагать, что электроэрозионное модифицирование поверхности проволочной пилы также позволит повысить ее режущую способность. Экспериментальному подтверждению этого положения посвящена данная работа.

**Методика проведения экспериментальных исследований.** В ходе экспериментов использовались образцы длиной 110 мм, полученные в результате разрезания на четыре части исходной проволочной витой пилы с фиксацией их концов с помощью пайки и формированием на них петель для крепления. С их помощью

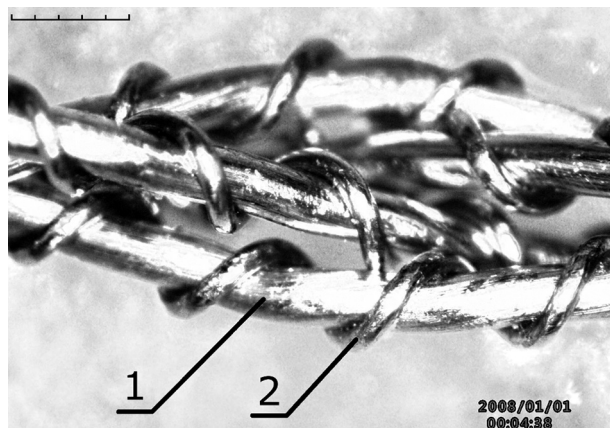


Рисунок 1 — Фотография участка проволочной витой пилы

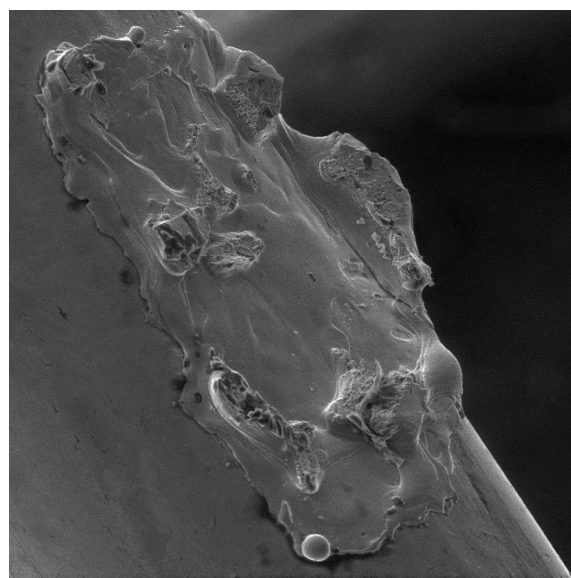


Рисунок 2 — Изображение лунки, полученной на поверхности проволоки в результате электрической эрозии

образец пилы натягивали с постоянным усилием между свободными концами П-образной стальной скобы и затем закрепляли на ней. После этого осуществлялась электроэрозионная обработка поверхности испытуемого образца пилы, схема выполнения которой представлена на рисунке 3.

Скоба 2 закреплялась на основании 3 из диэлектрического материала таким образом, чтобы был свободный доступ к образцу проволочной пилы 1. Последняя и электрод-инструмент 4, в виде тонкой, толщиной 0,2 мм, стальной пластины, были включены в электрическую цепь, состоящую из источника питания постоянного тока ИП, накопительного конденсатора  $C$  и токоограничивающего резистора  $R$ . Электроду-инструменту вручную сообщались колебательные движения  $A_k$ , направленные перпендикулярно обрабатываемой поверхности образца пилы. В результате этого между взаимодействующими поверхностями возникали электрические (искровые) разряды, вызывающие эрозию их материалов. Для обработки образца пилы по всей длине электрод-инструмент периодически перемещался относительно его поверхности в продольном направлении  $S_{np}$  с шагом 3 мм. Использовалась прямая полярность, при которой анодом являлась проволочная пила, диэлектрическая жидкость не применялась, т. е. обработка осуществлялась на воздухе. Напряжение накопительного конденсатора составило 48 В при его емкости 300 мкФ.

После завершения электроэрозионной обработки образца пилы с помощью микроскопа ММИ-2 визуально исследовалось состояние его поверхности и фиксировались произошедшие на ней изменения.

Затем проводились сравнительные испытания режущей способности образцов проволочной витой пилой в исходном состоянии и после электроэрозионного модифицирования ее поверхности. Оценивался этот показатель по значению интенсивности распиливания испытуемыми пилами образцов из различных материалов. Для этого использовалась специально созданная установка, принцип работы которой поясняется схемой, представленной на рисунке 4.

П-образная планка 4 с испытуемой витой пилой 7 закрепляется на подвижной плите 5, которая имеет возможность свободно перемещаться по вертикальным направляющим 3. Под действием веса каретки и дополнительно устанавливаемых на нее аттестованных

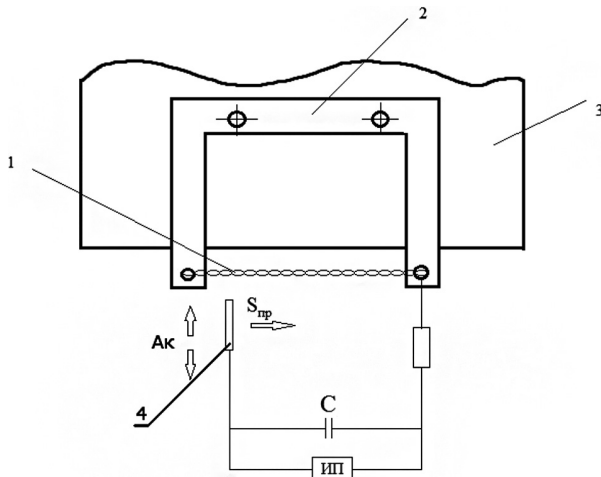


Рисунок 3 — Схема выполнения операции электроэрозионной обработки поверхности образца проволочной витой пилой

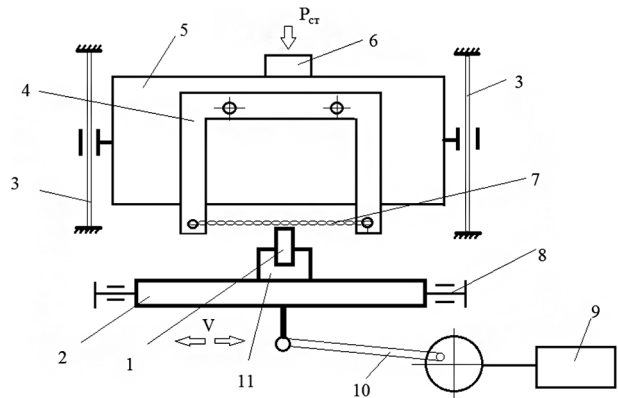


Рисунок 4 — Принципиальная схема установки для распиливания образцов проволочной витой пилой

грузов 6 пила со статическим усилием  $P_{ст}$  прижимается к поверхности распиливаемого образца 1, закрепленного в приспособлении 11 на горизонтальной каретке 2. Последняя от электродвигателя 9 посредством кривошипно-шатунного механизма 10 получает возвратно-поступательное движение по горизонтальным направляющим 8. Во всех экспериментах частота этого движения была постоянной и составляла 50 двойных ходов в минуту с величиной хода 100 мм, также постоянной была величина  $P_{ст}$ , которая составляла 30 Н.

Распиливаемые образцы изготавливались из дерева (сосна), кости, текстолита и имели одинаковую толщину обрабатываемой поверхности, равную 5 мм. Продолжительность их распиливания составляла 2 минуты. Значение интенсивности распиливаемых образцов  $i$  определялось отношением площади распиленного участка  $F$  к продолжительности выполнения операции  $t$  ( $i = F / t$ , мм<sup>2</sup>/мин). Площадь пропиленного на образце участка вычислялась произведением ширины пропила  $b$  на его глубину  $h$ , значения которых измерялись с помощью малого инструментального микроскопа ММИ-2. В процессе распиливания образцов, с помощью липкой ленты, установленной вблизи зоны обработки, собирались продукты разрушения, которые затем исследовались с помощью указанного микроскопа.

**Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение.** На рисунке 5 приведены значения интенсивности распиливания образцов проволочной витой пилой в ее исходном состоянии и после электроэрозионного модифицирования ее поверхности.

Из анализа полученных экспериментальных данных следует, что использование проволочной пилы после ее

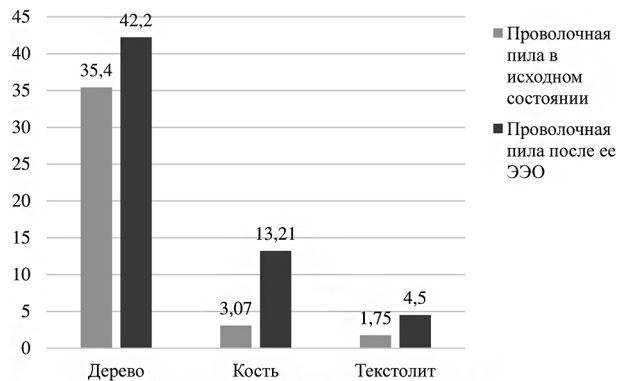


Рисунок 5 — Значение интенсивности распиливания образцов витой проволочной пилой в исходном состоянии и после ее ЭЭО

ЭЭО в сравнении с пилой в исходном состоянии во всех случаях обеспечивает более высокую интенсивность распиливания образцов, т. е. обладает более высокой режущей способностью. При этом степень повышения этого показателя зависит от материала распиливаемого образца. Так, наибольшее повышение значения  $i$  (в 4,3 раза) наблюдается при распиливании образца из кости: с 3,07 мм<sup>2</sup>/мин при использовании пилы в исходном состоянии до 13,21 мм<sup>2</sup>/мин при использовании пилы после ЭЭО. Меньшее увеличение  $i$  (в 2,57 раза) происходит при распиливании образца из текстолита: с 1,75 мм<sup>2</sup>/мин при использовании пилы в исходном состоянии до 4,5 мм<sup>2</sup>/мин при использовании пилы после ЭЭО. Наименьшее повышение  $i$  (в 1,2 раза) наблюдается при распиливании деревянного образца: с 35,4 мм<sup>2</sup>/мин до 42,2 мм<sup>2</sup>/мин, соответственно, при использовании пилы в исходном состоянии и после ее ЭЭО. В обоих случаях с повышением твердости материала образца интенсивность его распиливания снижается.

Исследования состояния пилы после ее ЭЭО показали, что помимо формирования на поверхности такой проволоки лунок, под действием электрических разрядов может происходить нарушение ее целостности, т. е. разделение витков тонкой проволоки, навитой на несущую проволоку, на части (рисунок 6). При этом за счет освобожденных сил упругости, концы проволоки частично выпрямляются и принимают положение, при котором они выходят за исходный контур навитой проволоки.

В результате этого на проволочной обмотке пилы образуются элементы в виде консолюно выступающих концов тонкой проволоки, которые, равно как и наплывы металла по краям лунок, способны осуществлять разрушение материала в процессе распиливания, повышая тем самым режущую способность инструмента.

**Выводы.** 1. Обоснована перспективность применения электроэрозионной обработки проволочной витой пилы с целью повышения ее режущей способности.

2. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, включая методику и аппаратные средства для электроэрозионной обработки проволочной витой пилы, а также для оценки ее режущей способности по интенсивности распиливания образцов из различных материалов.

3. На основании анализа полученных экспериментальных данных установлено, что, по сравнению с использованием проволочной витой пилы в ее исходном состоянии, применение пилы после ее электроэрозион-

ной обработки обеспечивает повышение интенсивности распиливания образцов из кости в 4,3 раза, текстолита — в 2,57 раза и дерева — в 1,2 раза.

4. Установлено, что после электроэрозионной обработки проволочной витой пилы, помимо формирования по поверхности тонкой проволоки лунок, под действием электрических разрядов может происходить нарушение ее целостности, т. е. разделение витков на части. В результате этого на проволочной обмотке пилы образуются элементы в виде консолюно выступающих концов тонкой проволоки, которые способны, наряду с наплывами металла по краям лунки, осуществлять разрушение материала в процессе распиливания, повышая тем самым режущую способность инструмента.

#### Список литературы

1. Тургунов, Е.М. Хирургические инструменты / Е.М. Тургунов, А.А. Нурбеков. — Караганда, 2008. — 48 с.
2. Островерхов, Г.Е. Оперативная хирургия и топографическая анатомия / Г.Е. Островерхов, Ю.М. Бомаш, Д.Н. Лубоцкий. — Курск: КГМУ, 1996. — 738 с.
3. Эффективность применения электроэрозионной обработки поверхности проволочного инструмента с целью придания ей режущей способности / М.Г. Киселев [и др.] // Вестн. Полоцкого гос. ун-та. — 2013. — № 11. — С. 73–77.
4. Экспериментальная оценка режущей способности штрипса с модифицированной путем электроэрозионной обработки рабочей поверхностью / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 3. — С. 64–68.
5. Теоретическое и экспериментальное исследование процесса формирования лунки на обрабатываемой поверхности при однократном электроэрозионном воздействии / М.Г. Киселев [и др.] // Механика машин, механизмов и материалов. — 2014. — № 1. — С. 76–81.
6. Бирюков, Б.Н. Электрофизические и электрохимические методы размерной обработки / Б.Н. Бирюков. — М.: Машиностроение, 1981. — 128 с.
7. Артамонов, Б.А. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов: в 2 т. / Б.А. Артамонов. — М.: Высш. шк., 1983. — Т. 1: Обработка материалов с применением инструмента. — 247 с.
8. Коваленко, В.С. Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов / В.С. Коваленко. — Киев: Вища школа, 1975. — 236 с.
9. Методика и оборудование для оценки режущей способности проволочного инструмента / М.Г. Киселев [и др.] // Метрология и приборостроение. — 2012. — Т. 56, № 1. — С. 23–25.
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 M.G., Drozdov A.V., Krinichev V.S., Bogdan P.S.

#### Experimental assessment of EDM wire spiral saws at its cutting capacity

The article is devoted to the experimental evaluation of the impact of EDM process of wire spiral saw on its cutting ability. A description of wire spiral saw construction and its field of application are indicated. On the base of results of the previous studies we proved the prospects of use of EDM process of wire spiral saw to increase its cutting ability. The description of the methods of experimental research is shown. We presented and analyzed the results of experimental studies, reflecting the impact of EDM process of wire spiral saw to increase the intensity of its cutting of samples of a variety of materials (bone, wood, PCB).

Поступил в редакцию 17.10.2016.