
УДК 621.9.048

М. Г. Киселев, А. В. Дроздов, А. В. Москаленко, П. С. Богдан

ВЛИЯНИЕ РЕЖИМОВ ЭЛЕКТРОКОНТАКТНОЙ ОБРАБОТКИ ИСХОДНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ПРОВОЛОЧНОГО ИНСТРУМЕНТА НА ВЕЛИЧИНУ СИЛ РЕЗАНИЯ В ПРОЦЕССЕ РАСПИЛИВАНИЯ ИМ МАТЕРИАЛОВ БЕЗ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ АБРАЗИВНОЙ СУСПЕНЗИИ

UDC 621.9.048

M. G. Kiselyov, A. V. Drozdov, A. V. Moskalenko, P. S. Bogdan

THE INFLUENCE OF MODES OF CONTACT-INITIATED MACHINING OF THE INITIAL SURFACE OF A WIRE TOOL UPON ITS CUTTING CAPACITY IN THE PROCESS OF MATERIALS CUTTING WITHOUT ABRASIVE SLURRY

Аннотация

Рассматриваются результаты экспериментальной оценки влияния режимов электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента на величину сил резания в процессе распиливания им различных материалов, таких как дерево, органическое стекло, углеститалл, без использования абразивной суспензии. Приведено описание методики проведения экспериментальных исследований и проанализированы результаты, отражающие зависимость величины сил резания от напряжения накопительного конденсатора при обработке и времени распиливания.

Ключевые слова:

инструмент, заготовка, образец, проволока, лунка, абразивная суспензия, сила резания, электроконтактная обработка.

Abstract

The paper deals with the experimental estimation of the influence of modes of contact-initiated machining of the initial surface of a wire tool upon cutting forces exerted by it when cutting different materials such as wood, organic glass, and carbositall without using any abrasive slurry. The procedure of the experimental research is described and the results obtained are analyzed which reflect the dependence of the cutting capacity on the voltage of a reservoir capacitor during the process of machining and on the time of cutting.

Key words:

wire tool, nonprofiled tool, wire cutting, contact-initiated machining, cutting capacity, resistive-strain sensor, dynamogram.

Введение

Непрофилированный инструмент, представляющий собой тонкую диаметром 0,2...0,3 мм стальную или вольфрамовую проволоку, широко применяется в различных процессах обработки материалов, в частности, в качестве электрода-инструмента при электроэрозионном и электрохимическом отрезании, вырезании заготовок из труднообрабатываемых металлов и

сплавов [1], при многопроволочной механической резке слитков полупроводниковых материалов на пластины с подачей в зону обработки абразивной суспензии [2].

Во всех этих случаях используется проволока в исходном (после волочения) состоянии ее поверхности, которая не обладает режущей способностью, а сьем материала заготовки осуществляется за счет электрической эрозии,

анодного растворения или механического воздействия на него абразивных частиц. Вместе с тем, если придать исходной поверхности проволоки режущую способность, то с помощью такого инструмента становится возможным обрабатывать материалы, твердость которых ниже твердости проволоки.

Авторами [3, 4] предложено осуществлять модификацию исходной поверхности проволочного инструмента путем ее электроконтактной обработки, которая является разновидностью электроэрозионной. В ходе ее выполнения в результате электрической эрозии на поверхности проволоки образуются лунки, имеющие по краям характерные наплывы застывшего металла, выходящие за исходный диаметр проволоки, которые и придают проволочному инструменту режущую способность. Важным является то, что размерами и формой получаемых наплывов (режущих элементов) и, соответственно, режущей способностью инструмента можно эффективно управлять за счет изменения режимов и условий электроконтактной обработки исходной поверхности проволоки. Результатами экспериментальных исследований [4] доказано, что такой инструмент позволяет достаточно эффективно распиливать заготовки из материалов, твердость которых ниже твердости стальной (У8А) проволоки, в частности, из дерева, кости, органического стекла и углесталла.

Для комплексного изучения процесса распиливания указанных материалов рассматриваемым инструментом важно располагать данными, отражающими влияние режимов электроконтактной обработки его исходной поверхности на величину сил сопротивления, действующих в зоне обработки, т. к. их величина и характер изменения в процессе распиливания позволяют судить о режущей способности проволочного инструмента и ее снижении за время обработки различ-

ных материалов. Экспериментальному определению таких зависимостей посвящены исследования авторов.

Методика проведения экспериментальных исследований

Для выполнения операции разрезания образцов испытываемым проволочным инструментом была создана соответствующая установка, конструктивное исполнение и фотография общего вида которой показаны на рис. 1. Обработка осуществляется при относительном возвратно-поступательном движении проволочного инструмента и поверхности образца.

На массивном основании 1 установлены два кронштейна 2 и 13, в которых горизонтально и параллельно друг другу закреплены два стальных цилиндрических стержня 3, выполняющих роль направляющих скольжения. На них установлена каретка 4, которой от электродвигателя РД-09 (на рисунке не показан) посредством кривошипно-шатунного механизма 14 сообщается возвратно-поступательное движение вдоль горизонтальной оси. На каретке смонтирован рабочий стол 5 с помощью направляющих качения, благодаря которым он имеет возможность перемещаться вдоль горизонтальной оси с минимальным трением. Обрабатываемый образец 11 с помощью зажимных приспособлений закрепляется на рабочем столе.

Каретка 7 имеет возможность свободно перемещаться в вертикальном направлении по вертикально установленным направляющим скольжения 6 и 10. На ней устанавливается П-образная рамка 8, в которой в натянутом состоянии закрепляется испытываемая проволока 9. Минимальное усилие ее прижатия к поверхности обрабатываемого образца соответствует суммарному весу каретки 7 и рамки 8. Создание большего значения этого усилия обеспечивается путем установки на каретку 7 дополнительных грузов.

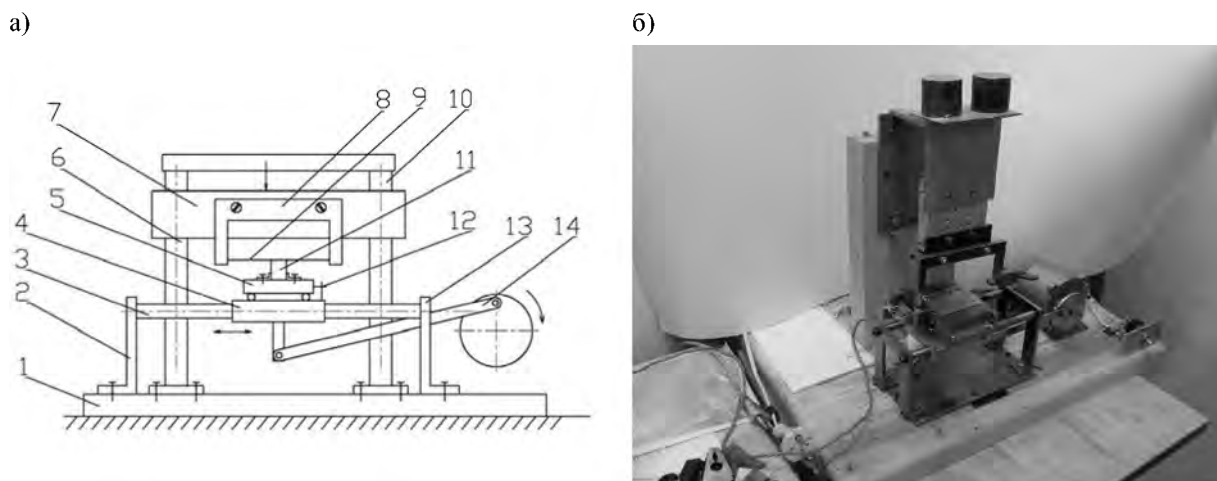


Рис. 1. Конструктивное исполнение установки для выполнения операции распиливания образцов испытываемым проволочным инструментом (а) и фотография ее общего вида (б)

Между собой каретка 4 и рабочий стол 5 связаны посредством упругой балки равного сопротивления 12 с наклеенными на ней по полумостовой схеме тензодатчиками. Ее применение позволило измерять величину сил сопротивления, действующих в зоне распиливания. Сигнал с тензодатчиков, пропорциональный величине сил сопротивления, поступает на усилитель постоянного тока и далее на самописец ЭНДИМ 622.01, где фиксируется на бумажном носителе. Тарировка тензобалки осуществляется путем ее нагружения

с помощью электронного динамометра WeiHeng WH-A05 с ценой деления 0,05 Н.

Запись сил сопротивления производилась в начале обработки, т. е. на стадии врезания проволочного инструмента в поверхность образца, а также по истечении 5 и 10 мин его распиливания. Пример записи изменения F_c за время двойного хода образца приведен на рис. 2 с указанием максимального значения силы сопротивления F_{cmax} , действующей в зоне распиливания.

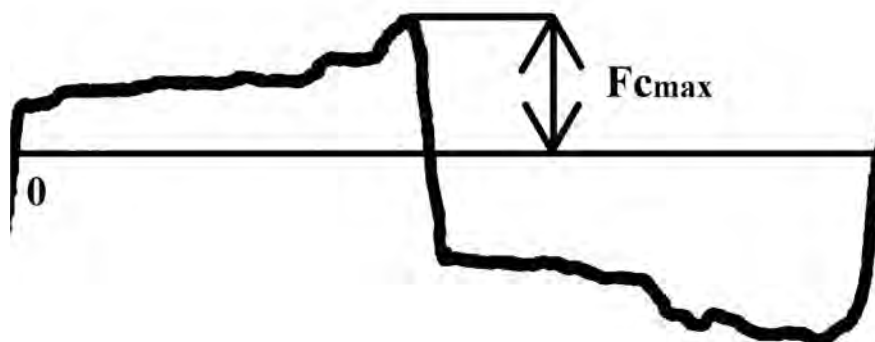


Рис. 2. Фотография полученной записи измерения F_c

Так как величина сил сопротивления, действующих в зоне распиливания, представляет собой сумму сил резания F_r и сил трения $F_{тр}$, для их разделения использовалась следующая методика. Вначале осуществлялась обработка образца проволочным инструментом с модифицированной поверхностью с фиксированием значения $F_{с_{max}}$. По истечении принятого времени обработки он заменялся на проволочный инструмент в исходном состоянии его поверхности, который устанавливался в пропилен на образце, и фиксировалось значение максимальной силы трения $F_{тр_{max}}$, действующей между ними в процессе их относительного возвратно-поступательного движения. По полученным значениям $F_{с_{max}}$ и $F_{тр_{max}}$ вычислялась максимальная величина сил резания $F_{r_{max}}$, действующих в процессе распиливания образца ($F_{r_{max}} = F_{с_{max}} - F_{тр_{max}}$).

В качестве инструмента использовалась стальная (У8А) закаленная проволока диаметром 0,37 мм. Электроконтактная обработка ее поверхности осуществлялась с помощью стального проволочного электрода-инструмента диаметром 0,78 мм при различных значениях напряжения накопительного конденсатора. Подробное описание методики выполнения этой операции приведено в [5]. Образцы, имеющие одинаковую толщину распиливаемой поверхности (10 мм), изготавливались из дерева (высушенная сосна), органического стекла и углеситалла. Во всех экспериментах статическое усилие прижатия инструмента к поверхности образца было постоянным и составляло 10 Н.

Результаты экспериментальных исследований и их обсуждение

На рис. 3 приведены экспериментально полученные зависимости максимального значения силы резания, действующей в зоне распиливания, от продол-

жительности выполнения операции при обработке образцов из различных материалов испытываемым проволочным инструментом, исходная поверхность которого подвергнута электроконтактной обработке при трех значениях напряжения накопительного конденсатора U .

Из анализа таких зависимостей следует, что во всех случаях с увеличением напряжения накопительного конденсатора U в ходе электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента значение сил резания, действующих в зоне обработки, возрастает. Объясняется это тем, что с повышением U увеличивается энергия электрического разряда [6, 7], в результате чего возрастают как размеры получаемых на ней лунок, так и образовавшихся по их краям наплывов металла. Так, при $U = 36$ В средняя высота h этих наплывов составляет 4 мкм, при $U = 46$ В $h = 6$ мкм и при $U = 75$ В $h = 18$ мкм. Так как именно эти наплывы металла на поверхности проволочного инструмента выполняют роль своеобразных режущих элементов, с увеличением их размеров возрастает глубина резания, а соответственно, и значение сил резания, действующих в зоне распиливания. В начале распиливания наибольшее значение силы резания ($F_r = 0,04$ Н) отмечается при обработке образца из углеситалла, несколько меньшее ($F_r = 0,035$ Н) из органического стекла и минимальное ($F_r = 0,025$ Н) из дерева. В то же время действующие в зоне обработки силы трения имеют наибольшую величину ($F_{тр} = 0,015$ Н) при распиливании органического стекла, меньшую ($F_{тр} = 0,010$ Н) – дерева, минимальную ($F_{тр} = 0,005$ Н) – углеситалла.

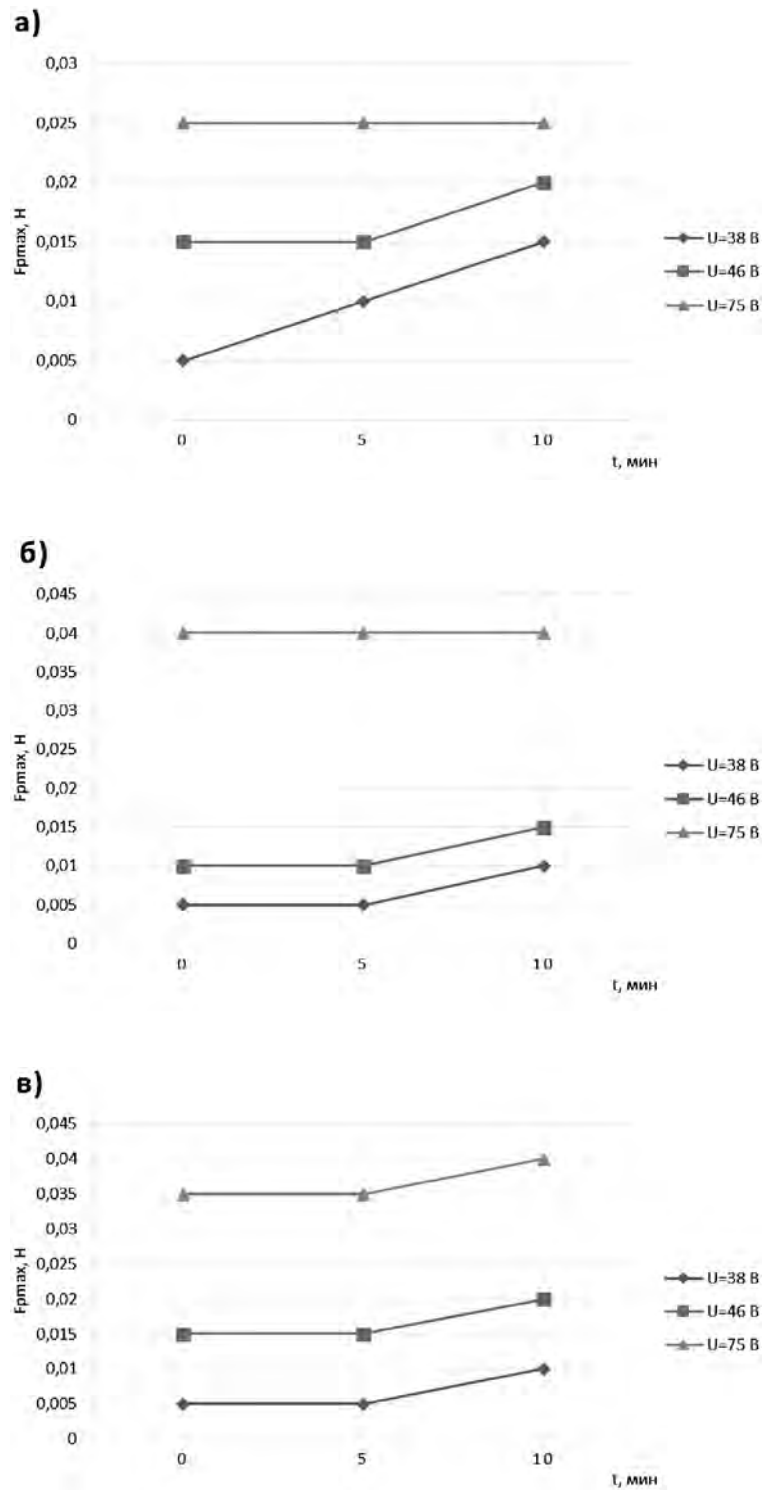


Рис. 3. Зависимость максимального значения силы резания $F_{рmax}$, действующей в зоне распиливания, от продолжительности выполнения операции t при обработке образцов испытываемым проволочным инструментом, исходная поверхность которого подвергнута электроконтактной обработке при трех значениях напряжения накопительного конденсатора U : а – образец из дерева; б – образец из углеродистой стали; в – образец из органического стекла

С повышением продолжительности распиливания до 5 мин, т. е. с увеличением глубины пропила на образце, значение сил сопротивления F_c , действующих в зоне обработки, а также сил трения $F_{тр}$ во всех случаях возрастает. Это связано с изменениями условий взаимодействия поверхностей проволочного инструмента и обрабатываемого образца, в частности, с увеличением площади их контактирования, вызывающего повышение сил трения. Вместе с тем, значение сил резания F_r на указанном временном интервале обработки остается постоянным, что свидетельствует о практически неизменной режущей способности проволочного инструмента.

При дальнейшем увеличении продолжительности распиливания образцов до 10 мин силы сопротивления F_c , действующие в зоне обработки, возрастают, и тем интенсивнее, чем меньше напряжение накопительного конденсатора при электроконтактной обработке исходной поверхности проволочного инструмента. Силы трения $F_{тр}$ на этом временном участке обработки остаются постоянными, в результате чего силы резания по мере увеличения t возрастают. Наличие такой зависимости $F_r(t)$ объясняется снижением режущей способности модифицированной поверхности проволочного инструмента за счет изнашивания и затупления режущих кромок образовавшихся на ней наплывов металла, что сопровождается возрастанием сил резания. Кроме того, в силу падения режущей способности инструмента ухудшаются условия удаления из зоны распиливания продуктов обработки, которые представляют собой мелкодисперсные частицы материала образца. Они пакетируются на поверхности инструмента, т. е. закрепляются на ней в зонах, прилегающих к напльвам металла (режущим элементам), вызывая тем самым дополнительное снижение режущей способности инструмента.

Выводы

1. Разработана методика проведения экспериментальных исследований, позволяющая определить силы сопротивления, силы трения и силы резания, действующих в зоне обработки, в процессе распиливания образцов из различных материалов проволочным инструментом с модифицированной исходной поверхностью за счет ее электроконтактной обработки.

2. Установлено, что с увеличением напряжения накопительного конденсатора емкостью 300 мкФ с 36 до 75 В в ходе выполнения электроконтактной обработки исходной поверхности стальной (У8А) закаленной проволоки диаметром 0,36 мм значение сил резания F_r , действующих в начале распиливания образцов из различных материалов, во всех случаях возрастает. При этом наибольшее значение силы резания ($F_r = 0,04$ Н) имеет место при распиливании образца из углеситалла, меньшее ($F_r = 0,035$ Н) при обработке образца из органического стекла и минимальное ($F_r = 0,030$ Н) при распиливании деревянного образца. Действующие в зоне обработки силы трения имеют наибольшую величину ($F_{тр} = 0,015$ Н) при распиливании органического стекла, меньшую ($F_{тр} = 0,010$ Н) при обработке дерева и минимальную ($F_{тр} = 0,005$ Н) при распиливании углеситалла.

3. Установлено, что с повышением продолжительности распиливания до 5 мин, т. е. с увеличением глубины пропила на образце, силы сопротивления F_c и силы трения $F_{тр}$, действующие в зоне обработки, во всех случаях возрастают, а силы резания F_r на указанном временном промежутке обработки остаются постоянными, что свидетельствует о неизменной режущей способности проволочного инструмента.

4. Установлено, что при дальнейшем увеличении продолжительности распиливания образцов t , до $t = 10$ мин,

силы сопротивления F_c , действующие в зоне обработки, возрастают, и тем интенсивнее, чем меньше значение напряжения накопительного конденсатора при электроконтактной обработке исходной поверхности проволочного инструмента. При этом силы трения $F_{тр}$ на этом временном промежутке обработки остаются постоянными, а силы резания F_r по мере увеличения t возрастают.

5. На основании обобщенного анализа результатов дано объяснение установленным зависимостям. В частности, показано, что при электроконтактной обработке исходной поверхности проволочного инструмента на ней образуются лунки, имеющие по краям наплывы металла, выполняющие роль своеобразных режущих элементов. При этом средняя высота этих наплывов возрастает с увеличением напряжения накопительного конденсатора U в ходе выполнения электроконтактной обработки исходной поверхности проволочного инструмента. Поэтому с повышением U увеличивается высота получаемых на поверхности проволочного инструмента

режущих элементов, а соответственно, и глубина резания в процессе распиливания образцов, что сопровождается возрастанием сил резания, действующих в зоне обработки.

Показано, что с увеличением продолжительности распиливания, т. е. глубины пропила на образце, в результате затупления режущих кромок на поверхности наплывов металла за счет их неизбежного изнашивания происходит снижение режущей способности инструмента, что сопровождается возрастанием сил сопротивления, действующих в зоне обработки. В свою очередь, падение режущей способности инструмента ухудшает условия удаления из зоны распиливания продуктов обработки, представляющих собой мелкодисперсные частицы материала образца, которые, пакетируясь на поверхности инструмента, т. е. закрепляясь на ней в зонах, прилегающих к напльвам металла (режущим элементам), вызывают тем самым дополнительное снижение режущей способности инструмента.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Артамонов, Б. А.** Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов : учеб. пособие в 2 т. Т. 1. Обработка материалов с применением инструмента / Б. А. Артамонов, Ю. С. Волков, В. И. Дрожалова ; под ред. В. П. Смоленцева. – М. : Высш. шк., 1983. – 247 с. : ил.
2. **Пичугин, И. Г.** Технология полупроводниковых приборов : учеб. пособие для вузов по специальности «Полупроводники и диэлектрики», «Полупроводниковые и микроэлектронные приборы» / И. Г. Пичугин, Ю. М. Таиров. – М. : Высш. шк., 1984. – 288 с.
3. 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. – С. 13–22.
4. Влияние режимов электроконтактной обработки поверхности на ее режущую способность, износостойкость и прочность на разрыв / М. Г. Киселев [и др.] // Вестн. Белорус.-Рос. ун-та. – 2013. – № 2. – С. 55–62.
5. Методика и оборудование для оценки режущей способности проволочного инструмента / М. Г. Киселев [и др.] // Метрология и приборостроение. – 2012. – № 1. – С. 23–25.
6. **Мицкевич, М. К.** Электроэрозионная обработка металлов / М. К. Мицкевич, А. И. Бушик, И. А. Бакуто ; под ред. И. Г. Некрашевича. – Минск : Наука и техника, 1988. – 216 с.
7. Теоретическое обоснование рациональных параметров режима электроконтактной обработки проволочного инструмента / М. Г. Киселев [и др.] // Вестн. ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2012. – № 3. – С. 3–10.

Статья сдана в редакцию 31 декабря 2013 года

Михаил Григорьевич Киселев, д-р техн. наук, проф., Белорусский национальный технический университет. Тел.: 8-029-756-64-05.

Алексей Владимирович Дроздов, канд. техн. наук, доц., Белорусский национальный технический университет. E-mail: dav7@tut.by.

Андрей Валерьевич Москаленко, начальник лаборатории, УП «Завод Электронмаш». E-mail: andrei.by@tut.by.

Павел Сергеевич Богдан, студент, Белорусский национальный технический университет. E-mail: bpc@mail.ru.

Mikhail Grigoryevich Kiselyov, DSc (Engineering), Prof., Belarusian National Technical University. Phone: 8-029-756-64-05.

Aleksei Vladimirovich Drozdov, PhD (Engineering), Associate Prof., Belarusian National Technical University. E-mail: dav7@tut.by.

Andrei Valeryevich Moskalenko, Head of the laboratory, UP «Elektionmash» Plant. E-mail: andrei.by@tut.by.

Pavel Sergeevich Bogdan, student, Belarusian National Technical University. E-mail: bpc@mail.ru.