

PACS: 81.40.Np

Е.Н. Высоцкий

## НЕКОТОРЫЕ АСПЕКТЫ ПРИМЕНЕНИЯ ЭЛЕКТРОЭРОЗИОННОЙ ОБРАБОТКИ

НПП «Станко Маш»

ул. Р. Люксембург, 72а, г. Донецк, 83114, Украина

E-mail: stankomash2004@ukr.net

Статья поступила в редакцию 21 декабря 2006 года

*Показана возможность эффективного использования электроэрозионной обработки при изготовлении изделий сложной конфигурации. Исследовано влияние условий такой обработки на изменение структурного состояния в зоне воздействия электрического разряда, что приводит к повышению твердости, износостойкости и в целом работоспособности обрабатываемых изделий в 2–2.5 раза. Показано, что использование электроэрозионного способа обработки для получения концентратора напряжений при разделении проката изгибом обеспечивает минимальное отклонение траектории трещины по сравнению с другими способами и значительно снижает усилие ломки.*

### Введение

При осуществлении электрических способов обработки, к которым относится и электроэрозионный, съем металла или изменение структуры и качества поверхностного слоя детали являются следствием термического, химического или комбинированного действия электрического тока, подводимого непосредственно к детали или инструменту. Разрушение поверхностных слоев металла и придание заготовке заданной формы и размеров под влиянием внешнего воздействия электрических разрядов происходит в среде диэлектрика в результате электрической эрозии.

Основные технологические показатели электроэрозионной обработки (точность, качество поверхности, производительность) зависят от напряженности электрического тока, силы тока короткого замыкания, количества металла, выплавленного из лунки за один импульс. Для повышения производительности обработки необходимо, чтобы как можно больше импульсов участвовало в процессе эрозии. Кроме того, требуется подобрать оптимальное сочетание факторов, позволяющих увеличить долю полезной энергии рабочих импульсов, их мощность и частоту следования, для чего необходи-

мо достичь оптимального соотношения между максимальным значением силы тока в импульсе и его длительностью [1,2].

В производстве стальной фибры, которая является основным наполнителем при получении наиболее перспективного строительного материала – сталефибробетона, особое место занимает формообразующий инструмент. Такой инструмент в виде роликов, имеющих на своей поверхности идентичные по форме и размерам профильные ячейки (иногда со вставками), обеспечивает непосредственно гибку, деформацию и резку группы проволок (фибр) на мерные длины. При таком высокоскоростном процессе, каковым является получение фибры, необходимо обеспечить высокую точность, стойкость и качественную поверхность формообразующего инструмента. Эту технологическую задачу при изготовлении деталей сложной конфигурации можно решить, выбрав оптимальные условия ведения процесса электроэрозионной обработки.

### Методика и результаты исследований

Электроэрозионную обработку формообразующих роликов проводили на станке модели ZAPbp-95d (рис. 1), который включает генератор импульсов, систему очистки рабочей среды и подачу ее в зону обработки, средства регулирования и управления процессом. Важными элементами технологического процесса электроэрозии являются преобразование спроектированной формы детали и последовательность команд, управляющих обрабатываемыми инструментами. Программы, выполняющие такие функции, называют САМ (Computed Aided Machinery), в отличие от программ САД (Computed Aided Design), служащих для создания проектов и выполнения технических рисунков.

Специфика работы электроэрозионного проволочного станка требует нетипичного решения проблемы управления электродами, обрабатываемыми деталью. Во время вырезания конусных элементов направляющие проволоки двигаются не по кривым, имеющим форму, идентичную форме верхней



Рис. 1. Станок для электроэрозионной обработки модели ZAPbp-95d

кромки обрабатываемого элемента, а по их равноудаленным эквивалентам. В случае вырезания элемента, когда форма верхней грани поверхности отличается от нижней, кривые, по которым двигаются направляющие, уже являются равноудаленными эквивалентами кромки детали. Вектор перемещения направляющей электрода (относительно вырезаемой кромки) нужно рассчитывать для каждой точки вырезаемой поверхности, причем отдельно для каждого изделия.

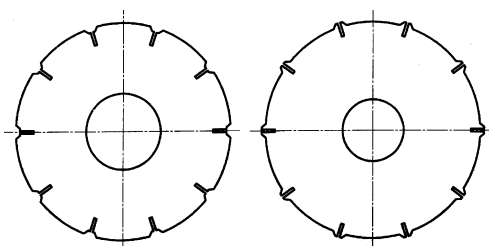


Рис. 2. Схематическое изображение пары формообразующих деталей

Между режимами электроэрозионной обработки и технологическими показателями существует тесная взаимосвязь. Имеются четкие зависимости высоты неровности профиля, величин внутренних напряжений, белого слоя и производительности от параметров импульса, регулирование которых приводит к одновременному изменению всех технологических показателей. В результате электроэрозионной обработки деталь приобретает характерные неровности, а приповерхностные слои в зоне термического влияния претерпевают структурные изменения. Поверхностный слой формируется за счет расплавленного металла, остывшего на поверхности лунки, пластической деформации воздействия электрического разряда и охлаждающей способности рабочей жидкости. Зона пластической деформации проявляется в виде измельченных зерен, образования дислокаций, а также изменения параметров решетки. Кроме того, установлено, что глубина этой зоны при обработке углеродистых сталей зависит от их химсостава – с увеличением содержания углерода или кремния глубина зоны соответственно растет или уменьшается [3].

Исследования влияния условий электроэрозионной обработки на изменение свойств поверхностного слоя проводили на заготовках из сталей ШХ15 и 40Х. На рис. 2 показано схематическое изображение образцов получаемых деталей. Точность размеров деталей обеспечивали компьютерной обработкой с соблюдением следующих условий: длительность импульса тока составляла 5  $\mu\text{s}$ , длительность паузы между импульсами – 100  $\mu\text{s}$ , ток в импульсе – 70 А, шаг подачи проволоки – 5  $\mu\text{m}$ , в качестве проволоки электрод-инструмента использовали латунную проволоку Л63 диаметром 0.23 мм.

Изучение структуры сталей после электроэрозионной обработки проводили с помощью металлографического микроскопа НЕОРНОТ-32, снимки получали цифровой камерой с последующей компьютерной обработкой, а изменение микротвердости переходных зон измеряли на ПМТ-3 при нагрузке 20 г. Как видно из рис. 3, поверхностный слой состоит из так называемого белого слоя толщиной порядка 10–30  $\mu\text{m}$ , представляющего собой мелкодисперсную мартенситную структуру для обеих сталей. Между основным и поверхностным слоями имеется переходный слой. Для стали ШХ15 структура основного металла – мартенсит, а для стали 40Х – троостомартенсит. Приповерхностный слой у самой кромки имеет волнистый характер, как бы иницируя профиль единичных лунок, пересекающих друг друга в пределах одного шага подачи проволоки. В некоторых местах этого слоя видны поры, загрязнения в виде окислов и сажи, а, возможно, и следы материала электрод-инструмента, в связи с чем приповерхностный слой отличается рыхлостью.

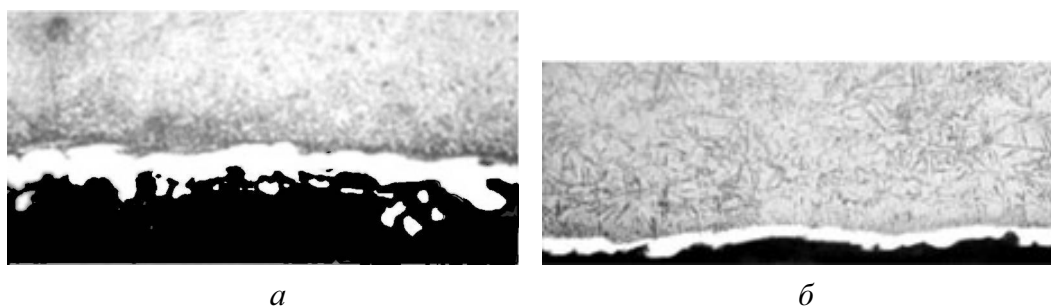


Рис. 3. Микроструктура поверхностного слоя образцов из сталей ШХ15 (а) и 40Х (б), полученных электроэрозионной обработкой,  $\times 500$

Его микротвердость немного ниже, чем основного слоя, для обоих типов стали. Это можно объяснить образованием остаточного аустенита, количество которого колеблется в зависимости от режима обработки и состава рабочей жидкости. Значения изменения микротвердости поверхностного слоя, состоящего из нескольких зон, подверженных воздействию электроэрозионной обработки, приведены в таблице.

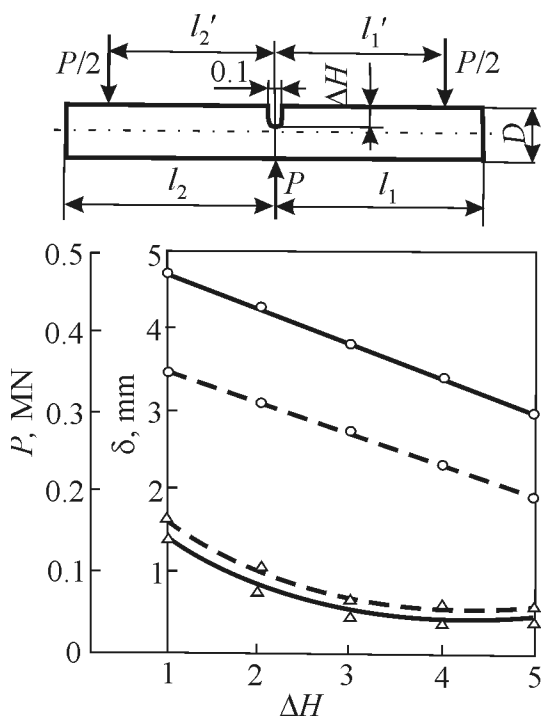
Таблица

Изменение микротвердости различных поверхностных зон

Поверхностные зоны	Микротвердость $H_{ц}$ , МПа	
	сталь ШХ15	сталь 40Х
Слой		
белый	10300	6700
приповерхностный	8650	5300
переходный	9400	5680
Основной металл	6700	4500

Следовательно, обрабатывая формообразующие ролики электроэрозионным способом, можно существенно улучшить состояние поверхностного слоя – повысить твердость, прочность и износостойкость, сохранить вязкой сердцевину детали, что положительно скажется на ее работоспособности. Испытания этих роликов в производственных условиях показали повышение их стойкости в 2–2.5 раза по сравнению с обработанными традиционными способами.

В процессе электроэрозионной обработки состояние поверхностного слоя определяется величиной внутренних напряжений, возникающих в результате значительного градиента температур, пластической деформации воздействия электрического разряда, охлаждающей способности рабочей жидкости и, как следствие, структурными превращениями. В определенных условиях напряжения могут превышать предел прочности обрабатываемого материала, что приводит к образованию микротрещин. Именно это положение и было учтено при изучении кинетики зарождения трещины и траектории ее движения при разделении проката изгибом на мерные длины [4].



**Рис. 4.** Зависимость усилия ломки и величины отклонения траектории трещины от глубины электроэрозионного надреза для сталей ШХ15 НВ370 (—) и 45 НВ250 (---): ○ —  $P$ , △ —  $\delta$

сталей ШХ15 и 45 диаметром 33 mm с различной твердостью. Концентратор выполняли в виде узких щелей шириной 0.1 mm, глубиной 1–5 mm. Надрез наносили электроэрозионным способом с помощью тонкой медной пластинки толщиной 0.1 mm. Зависимость усилия ломки и величины отклонения траектории трещины от глубины электроэрозионного концентратора напряжений приведена на рис. 4. Как видно, с изменением глубины концентратора для обоих видов стали усилие ломки изменяется аналогично, только величина его для хрупкой стали ШХ15 остается на 20–30% выше. При этом отклонение траектории трещины (т.е. качество поверхности излома) идентично для обеих сталей. Только с увеличением глубины концентратора, начиная с 3.5 mm, отклонение траектории трещины составляет 0.3–0.5 mm, что говорит о качественной поверхности излома, а именно отсутствии каких-либо неровностей, рубцов, ступенек в плоскости излома.

Электроэрозионный концентратор имеет форму узкой щели, приближающейся к трещине, поэтому значения его коэффициента концентрации напряжений более высоки, чем при нанесении концентратора внедрением ножа [5]. Это обеспечивает минимальное отклонение траектории трещины и снижает усилие ломки на 20–30% по сравнению со способами внедрения ножа и резания.

Для снижения начальной скорости трещины и динамических возмущений на прокат изучали различные способы нанесения концентраторов напряжений: внедрение ножа, резание, электроконтактное оплавление. Необходимым и достаточным условием оптимизации параметров концентратора являлось наведение начальной трещины. Каждый из указанных способов должен обеспечивать такие условия процесса разделения проката, при которых начальная скорость трещины будет минимальной [5].

Среди различных способов нанесения концентраторов электроэрозионное прожигание представляет особенный интерес. Влияние концентратора, полученного этим способом, на величину усилия ломки  $P$  и качество поверхности излома  $\delta$  изучали на прутках из

### Выводы

1. Электроэрозионная обработка изделий сложной конфигурации обеспечивает точность их размеров благодаря программированию процесса. Структурные изменения формообразующей части изделия обеспечиваются изменением тепловой энергии в зоне воздействия, что повышает твердость, износостойкость обрабатываемых изделий и в целом их работоспособность в 2–2.5 раза.

2. Использование электроэрозионного способа получения концентратора напряжений при разделении проката изгибом обеспечивает минимальное отклонение траектории трещины по сравнению с другими способами как для хрупких, так и пластичных сталей, при этом усилие ломки снижается на 20–30%.

1. *Б.А. Артамонов, Ю.С. Волков и др.*, Электрофизические и электрохимические методы обработки материалов, Высшая школа, Москва (1983).
2. *Е.Ф. Немилев*, Электроэрозионная обработка материалов, Машиностроение, Ленинград (1989).
3. *Н.К. Фотеев*, Технология электроэрозионной обработки, Машиностроение, Москва (1990).
4. *Е.Н. Высоккий*, ФТВД **16**, № 2, 93 (2006).
5. *Е.Н. Высоккий*, ФТВД **15**, № 3, 138 (2005).

*E.N. Vysotsky*

### SOME ASPECTS OF THE ELECTRIC DISCHARGE MACHINERY APPLICATION

A possibility of effective application of the electric discharge machinery to manufacture items of complex configuration is shown. The influence of machinery conditions on changes in structure in the zone of electric charge action has been investigated. As a result, there is a 2–2.5 times increase of hardness, wear resistance and serviceability of processed items. It is shown that the electric discharge machinery method used for reaching the stress concentrator at the stage of rolled stock separation by bending provides the minimum deviation of crack trajectory, as compared to other methods, and decreases the crushing force essentially.

**Fig. 1.** A tool for electric discharge machinery, model ZAPbp-95d

**Fig. 2.** Schematic presentation of a pair of shape-forming parts

**Fig. 3.** Microstructure of the surface layer of steel ШХ15 (a) and 40X (b) specimens obtained by electric discharge machinery,  $\times 500$

**Fig. 4.** Crushing force and value of crack trajectory deviation versus the depth of electric-discharge cut for steels ШХ15 HB370 (—) and 45 HB250 (---):  $\circ$  –  $P$ ,  $\Delta$  –  $\delta$