

## НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Ковалевский С. В., Романченко С. П.

На основе анализа физических эффектов воздействия электрического тока высокого напряжения на различные материалы предложен и рассмотрен новый технологический способ его воздействия на напряженное состояние материала деталей машин. Экспериментальные данные и нейросетевое моделирование воздействия высоковольтного электрического разряда, подводимого с помощью высоковольтного разрядника к токопроводящей поверхности образцов из различных по химическому составу материалов подтвердило эффект снижения уровня остаточных напряжений в обработанных образцах. Показаны рекомендуемые значения режимов процесса обработки высоковольтным разрядом, такие как величина, частота и продолжительность воздействия.

На основі аналізу фізичних ефектів впливу електричного струму високої напруги на різні матеріали запропоновано і розглянуто новий технологічний спосіб його впливу на напружений стан матеріалу деталей машин. Експериментальні дані і нейромережеве моделювання впливу високовольтного електричного розряду, що підводиться за допомогою високовольтного розрядника до струмопровідної поверхні зразків з різних за хімічним складом матеріалів підтвердило ефект зниження рівня залишкових напружень у оброблених зразках. Показані рекомендовані значення режимів процесу обробки високовольтним розрядом, такі як величина, частота і тривалість впливу.

Based on the analysis of the physical effects of exposure to high-voltage electric current to different materials is proposed and considered a new technological way of its impact on the stress state of the material parts of machines. Experimental data and neural network modeling impact high voltage electrical discharge, high voltage supplied via the arrester to a conductive surface of samples of different chemical composition materials confirmed the effect of reducing the level of residual stresses in the processed samples. Showing the recommended modes of processing high-voltage discharge, such as magnitude, frequency and duration of exposure.

Ковалевский С. В.

докт. техн. наук, проф. каф. ТМ ДГМА  
tiur@dgma.donetsk.ua

Романченко С. П.

магистр ДГМА

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск.

УДК 621.7.029

Ковалевский С. В., Романченко С. П.

## НЕЙРОСЕТЕВОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ ВЫСОКОВОЛЬТНОГО РАЗРЯДА НА НАПРЯЖЕННОЕ СОСТОЯНИЕ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Использование электрических разрядов для технологических целей машиностроительного производства получило широкое распространение во второй половине прошлого века в связи с созданием метода электроэрозионной обработки [1, 2].

Интенсивно развиваются интегрированные технологии модификации свойств ПС за счет последовательного осуществления различных по своей физической сущности методов воздействия на поверхность изделия [3]. В частности, исследованы такие интегрированные технологии, как электроискровое легирование лазерная обработка, электроискровое легирование поверхностно-пластическое деформирование, алмазное шлифование алмазное выглаживание, микродуговое оксидирование, лазерная обработка.

Получили развитие многофункциональные процессы, позволяющие в рамках одной операции заданным образом изменить два и более показателей качества поверхностного слоя изделий. Так, например, за счет изменения параметров режима удается в несколько переходов на одном оборудовании осуществлять электролитную очистку или обезжиривание поверхности, ее электролитный нагрев, полировку и снятие заусенцев [4]. Такого рода технологии позволяют существенно улучшить комплекс свойств, определяющих качество поверхностного слоя деталей машин.

Значительный интерес проявляется к технологиям комбинированного воздействия на объект обработки, основанных на пространственно-временном совмещении электроразрядных и иных физико-химических процессов с целью достижения супераддитивного технологического эффекта [5]. В работе [6] представлены результаты изучения изменения структуры материалов в результате воздействия высоковольтного разряда в потоке жидкости. Показано, что в области однократного воздействия разряда формируется кратер радиусом  $R = 50\text{--}200$  мкм, где на расстоянии от центра воздействия  $(0,4\text{--}0,6)R$  наблюдается существенное увеличение микротвердости (на 300–400% по сравнению с исходной). Проведенные исследования распространения деформационных изменений по глубине материалов свидетельствуют о наличии деформации на глубинах до 100 мкм. [6]. Как показывают оценки авторов работы [6], толщина упрочненного слоя, например, для сплава ВТ-1 достигает величин 10–15 мкм с  $HV = 1100$  кг/мм<sup>2</sup> (исходная величина  $HV = 290$  кг/мм<sup>2</sup>). Так, для образца меди марки М-1 зона деформационного изменения простирается на глубину до 50–100 мкм. Это подтверждает предположение о существенной роли деформации в упрочнении материала под воздействием высоковольтного разряда в потоке жидкости.

Таким образом, технология машиностроения располагает большой постоянно расширяющейся группой методов, способов обработки и технологий на их основе, базирующихся на интенсивных физических и химических процессах в зоне электрического разряда и способных решать разнообразные задачи технологического обеспечения качества машин.

Кроме выделения тепла искровой разряд оказывает на материал электродов также и механическое воздействие. Ударная волна наибольшей интенсивности развивается на стадии собственно взрыва контактной области электродов, во время которой скорость расширяющегося вещества достигает 1–5 км/с. При этом в некоторых случаях образуется группа ударных волн, обусловленная развитием сильноточного разряда в продуктах электрического взрыва и окружающей газовой среде вследствие резкого возрастания вводимой в канал энергии. В так называемых «вторичных» волнах температура на фронте волны может достигать

104 К, а давление – несколько сот мегапаскалей. Ударные волны способствуют удалению металлов электродов из области разряда в жидком и парообразном состояниях. Опыты по непосредственному измерению давления разряда на поверхность электродов показывают, что оно составляет около 1–10 Мпа.

Используемые сегодня методы стабилизации остаточных напряжений являются, прежде всего, энергоемкими и трудоемкими, а также неэкологичными процессами. Поэтому существует необходимость в поиске ресурсосберегающих методов стабилизации остаточных напряжений. Таким образом, перед нами стоит задача разработать и исследовать метод стабилизации остаточных напряжений, позволяющий достигнуть требуемый эффект на основе воздействия на токопроводящую поверхность детали высоковольтным разрядом [7, 8].

С этой целью в работе сформулирована гипотеза о том, что стабилизация остаточных напряжений в изделии из металлических материалов происходит путем воздействия на токопроводящую поверхность изделия мощными, периодическими разрядами высокого напряжения, в результате чего зерна материала (сплава) периодически переориентируются, происходит периодическая переориентация зерен материала, уплотнение внутренней структуры при сохранении его объема, при этом процессы переориентации зерен в нагруженном слое могут отличаться от переориентации во внутреннем слое, в результате чего возможно частичное упрочнение наружной поверхности при значительной продолжительности воздействия.

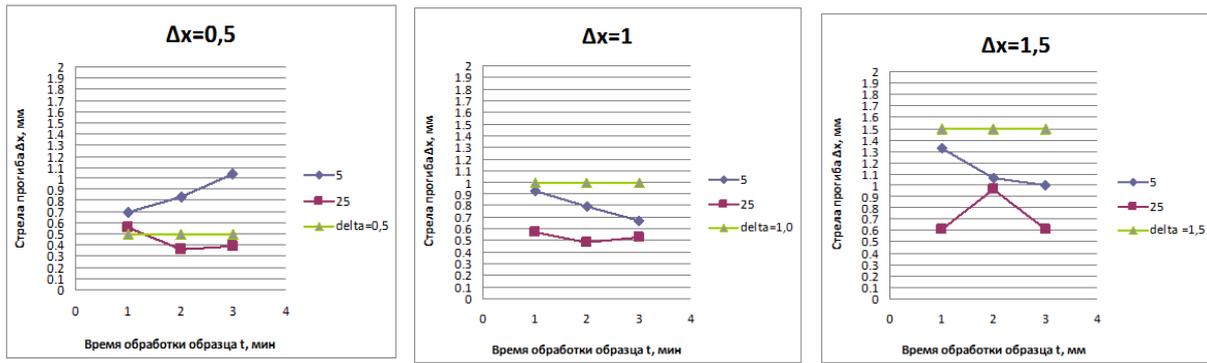
Для подтверждения основной гипотезы работы была разработана методика экспериментальных исследований, которая предусматривает подтверждение предположения влияния высоковольтного электрического разряда на стабилизацию остаточных напряжений в деталях машин типа планок. Для создания регулируемых, нормируемых внутренних напряжений и контроля остаточных в результате воздействия высоковольтными разрядами использована принудительная деформация образцов на определенную величину, контролируемую по стреле прогиба.

Использование метода нейросетевого моделирования позволяет создать достаточно информативную модель и применять ее для исследования характер изменения остаточных напряжений [9].

Основная задача нейросетевого моделирования создание модели, отражающей влияния высоковольтного электрического разряда на величину внутренних (остаточных) напряжений образцов по результатам экспериментального исследования – стрелы прогиба экспериментальных образцов, напряжения, продолжительности воздействия на экспериментальные образцы и их амплитудно-частотные характеристики, возбужденные акустическими сигналами типа «Белый шум» при различных значениях внутренних напряжений образцов.

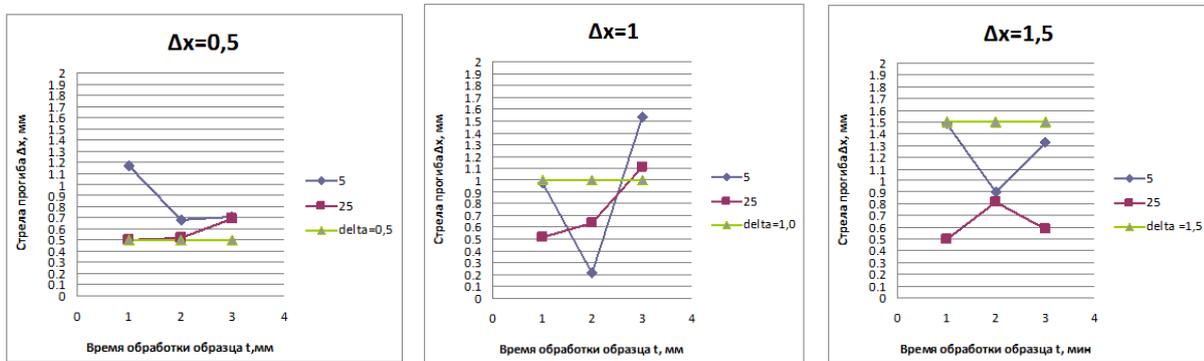
На основе использованной таблицы исходных данных – картежей (то есть результатов эксперимента с известными входными воздействиями на образцы и выходными показателями напряженного состояния образцов) обучена нейронная сеть, которая содержит информацию об ассоциативных связях между известными векторами входов и выходов технической системы и представляет собой модель исследуемого процесса, с помощью которой проведены дальнейшие исследования.

На базе проведенных экспериментов и исследований мы получили результаты (рис. 1–6), которые свидетельствуют об уменьшении остаточных напряжений экспериментальных образцах различных материалов («Сталь 09Г2С», «Сталь 45», «Сталь 65Г», «Сталь 3»).



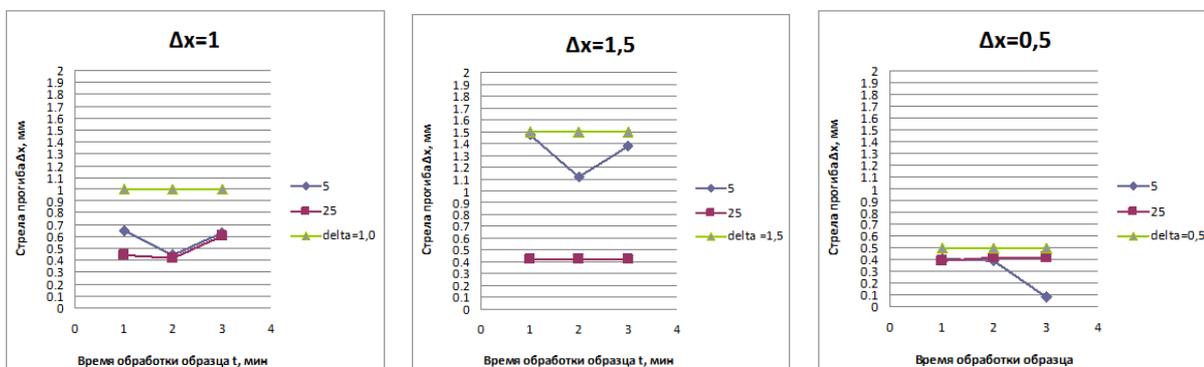
а) б) в)

Рис. 1. Значения стрелы прогиба экспериментального образца №1 ( $\Delta x$ ) из материала «Сталь 09Г2С» в зависимости от длительности воздействия разрядами высокого напряжения при различном напряжении генератора тока высокой частоты: а) –  $\Delta x=0,5$  мм; б) –  $\Delta x=1$  мм; в) –  $\Delta x=1,5$  мм



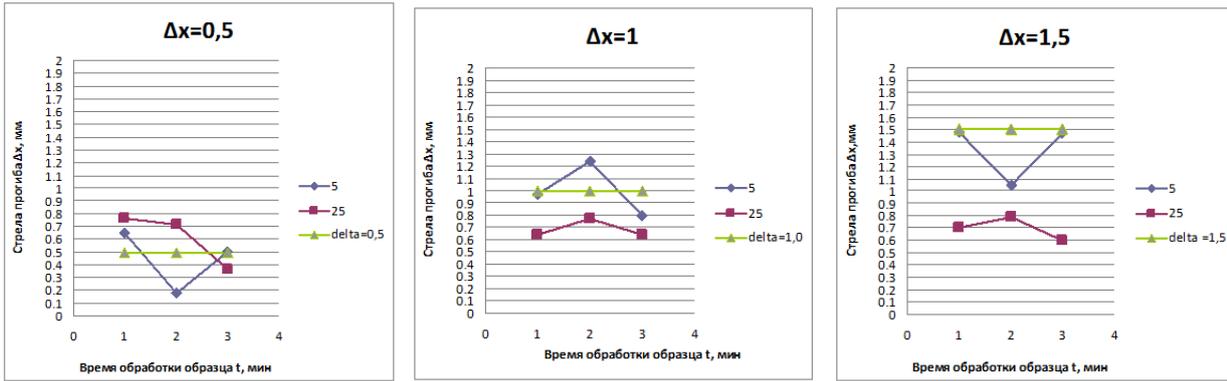
а) б) в)

Рис. 2. Значения стрелы прогиба экспериментального образца №2 ( $\Delta x$ ) из материала «Сталь 09Г2С» в зависимости от длительности воздействия разрядами высокого напряжения при различном напряжении генератора тока высокой частоты: а) –  $\Delta x=0,5$  мм; б) –  $\Delta x=1$  мм; в) –  $\Delta x=1,5$  мм



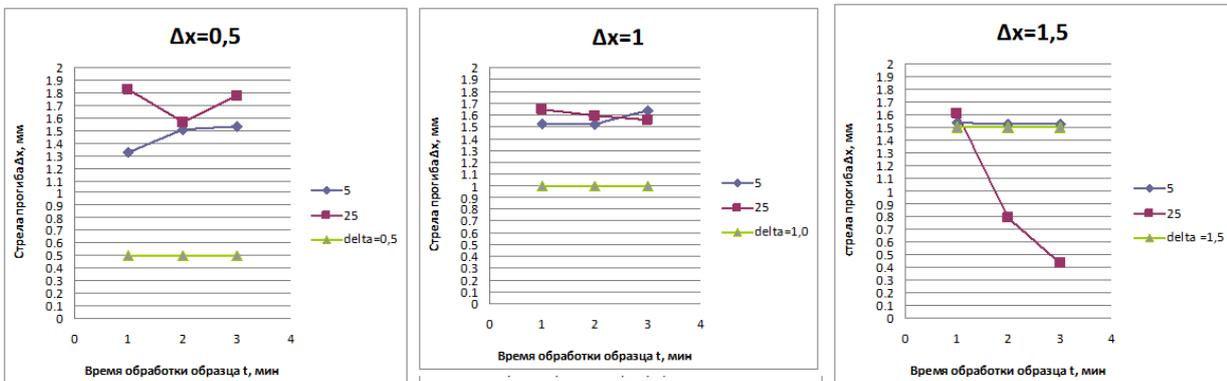
а) б) в)

Рис. 3. Значения стрелы прогиба экспериментального образца №3 ( $\Delta x$ ) из материала «Сталь 45» в зависимости от длительности воздействия разрядами высокого напряжения при различном напряжении генератора тока высокой частоты: а) –  $\Delta x=0,5$  мм; б) –  $\Delta x=1$  мм; в) –  $\Delta x=1,5$  мм



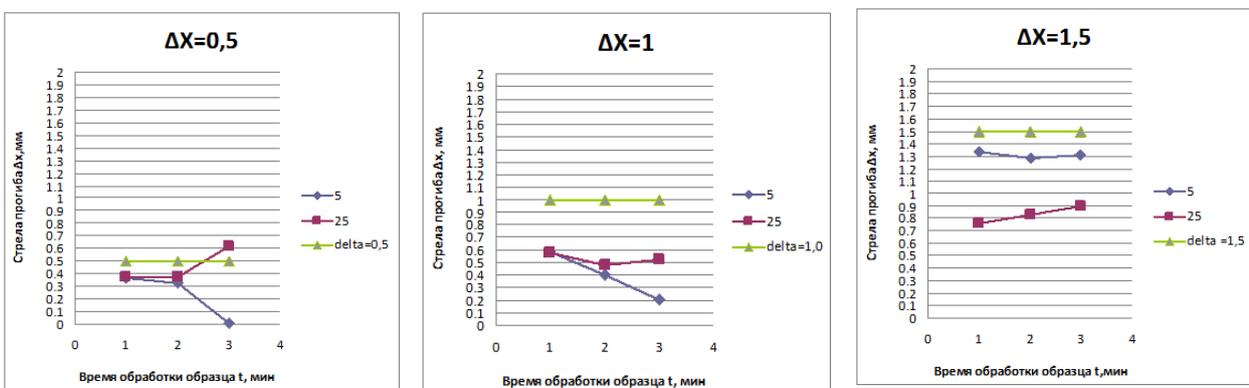
а) б) в)

Рис. 4. Значения стрелы прогиба экспериментального образца №4 ( $\Delta x$ ) из материала «Сталь 65Г» в зависимости от длительности воздействия разрядами высокого напряжения при различном напряжении генератора тока высокой частоты: а) –  $\Delta x=0,5$  мм; б) –  $\Delta x=1$  мм; в) –  $\Delta x=1,5$  мм



а) б) в)

Рис. 5. Значения стрелы прогиба экспериментального образца №5 ( $\Delta x$ ) из материала «Сталь 3» в зависимости от длительности воздействия разрядами высокого напряжения при различном напряжении генератора тока высокой частоты: а) –  $\Delta x=0,5$  мм; б) –  $\Delta x=1$  мм; в) –  $\Delta x=1,5$  мм



а) б) в)

Рис. 6. Значения стрелы прогиба экспериментального образца №6 ( $\Delta x$ ) из материала «Сталь 45» в зависимости от длительности воздействия разрядами высокого напряжения при различном напряжении генератора тока высокой частоты: а) –  $\Delta x=0,5$  мм; б) –  $\Delta x=1$  мм; в) –  $\Delta x=1,5$  мм

## ВЫВОДЫ

На основе анализа физических эффектов воздействия электрического тока высокого напряжения на различные материалы предложен и рассмотрен новый технологический способ его воздействия на напряженное состояние материала деталей машин. Экспериментальные данные и нейросетевое моделирование воздействия высоковольтного электрического разряда, подводимого с помощью высоковольтного разрядника к токопроводящей поверхности образцов из различных по химическому составу материалов, подтвердило эффект снижения уровня остаточных напряжений в обработанных образцах. Показаны рекомендуемые значения режимов процесса обработки высоковольтным разрядом, такие как величина, частота и продолжительность воздействия.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Лазаренко Б.Р., Лазаренко Н.И. Прохождение электрического тока через электролиты // *Электронная обработка материалов*. 1978. № 1. С. 5-9.
2. Саушкин Б.П. Электрический разряд в жидких и газовых средах – основа нового поколения методов и технологий машиностроительного производства // *ЭОМ*. 2004. №1. URL: <http://cyberleninka.ru/article/n/elektricheskiy-razryad-v-zhidkih-i-gazovyh-sredah-osnova-novogo-pokoleniya-metodov-i-tehnologiy-mashinostroitel'nogo-proizvodstva> (дата обращения: 22.11.2015).
3. Никифоров А.В. Интенсификация чистой и упрочняющей обработки титана при использовании электротехнологий // *Электронная обработка материалов*. 1993. № 4. С. 17-22.
4. Саушкин Б.П., Кузенков С.Е., Масликов С.В. Физико-химические методы модификации свойств поверхностного слоя деталей машин. Липецк, 1998. -155с..
5. Михайлюк А.И., Житару Р.П., *Электронная обработка материалов*, 2008, № 5, С. 49–56.
6. Нестерович А.В., Богданович Б.Ю., Калинин Б.А., Волков Н.В., Мизин Ю.В. Модификация приповерхностного слоя материалов в области воздействия высоковольтного разряда в потоке жидкости // *Научная сессия МИФИ-2000. Ч.9 Памяти Д.М.Скорова. Перспективные наукоемкие технологии. Физика и химия новых неорганических материалов. Физическая химия растворов*, С. 34-35
7. Буркин, Г.В. *Остаточные напряжения в металлопродукции: учебное пособие* / С.П. Буркин, Г.В. Шимов, Е.А. Андрюкова. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2015. — 248с.
8. Соколов И. А. *Остаточные напряжения и качество металлопродукции* / И. А. Соколов, В. И. Уральский. М.: *Металлургия*, 1981. – 96 с.
9. Барский А. Б. *Нейронные сети: распознавание, управление, принятие решений*. – М.: *Финансы и статистика*, 2004. – 176 с.

Статья поступила в редакцию 10.11.2015 г.