УДК 621.791.763.7
616.314.163

А.Б. ЦЫГАНОВ, *аспирант, alexbt@mail.ru*
А.С. МУСТАФАЕВ, *д-р физ.-мат. наук, профессор, alexmustafaev@yandex.ru*
Санкт-Петербургский государственный горный институт (технический университет)

A.B. TSYGANOV, *post-graduate student, alexbt@mail.ru*
A.S. MUSTAFAEV, *Dr. in phys. and math. sc., professor, alexmustafaev@yandex.ru*
Saint Petersburg State Mining Institute (Technical University)

ИССЛЕДОВАНИЕ РЕЖИМОВ КОНТАКТНОЙ МИКРОСВАРКИ ДЛЯ СТОМАТОЛОГИЧЕСКИХ ПРИМЕНЕНИЙ

Исследованы режимы контактной микросварки между экстрагирующими электродами и обломками эндодонтических файлов из стали и Ni-Ti-сплава. Показано, что в условиях, наиболее близких к реальным клиническим, наилучшей является последовательность нескольких сварочных импульсов с нарастанием сварочного тока. В результате достигается прочность сварного соединения на разрыв в пределах 15-50 Н, что достаточно для извлечения обломка в большинстве случаев.

Ключевые слова: извлечение обломков эндодонтических инструментов из корневого канала зуба, контактная микросварка.

STUDIES OF RESISTANCE MICRO-WELDING MODES FOR DENTISTRY APPLICATIONS

Various modes of resistance welding between steel and Ni-Ti-extracting electrodes and fractures of endodontic files were investigated. It was demonstrated that in close to real clinical situations there is most suitable a sequence of a number of pulses of a steepened welding current. As a result, detachment force limit of 15-50 N is achievable which is sufficient for the fracture extraction in most cases.

Key words: extraction of fractured endodontic instruments from a tooth root canal, resistance micro-welding.

Объектом исследования являлись способы извлечения обломка эндодонтического инструмента из корневого канала зуба. Инструментальная механическая обработка корневых каналов, целью которой является удаление инфицированного дентина, осуществляется с помощью эндодонтических файлов – конических микронапильников. Длина этих файлов около 25 мм, а диаметр изменяется по длине от 0,2 до 1 мм. Файлы изготавливаются из стали или Ni-Ti-сплава (по 50 %). Перелом эндодонтических инструментов во время лечения происходит ежедневно и повсеместно у стоматологов разного уровня подготовки (до 2 % случаев по данным [4]). Как правило, причиной является производственный брак инструмента или вина врача при несоблюдении протокола лечения (излишнее давление на инструмент). В этом случае прогноз для зуба с обломком – удаление.

Запатентован способ и устройство для извлечения обломка за счет контактной микросварки [3]. Описаны эксперименты по удалению модельных обломков из зубов с помощью микропроцессорного блока кон-

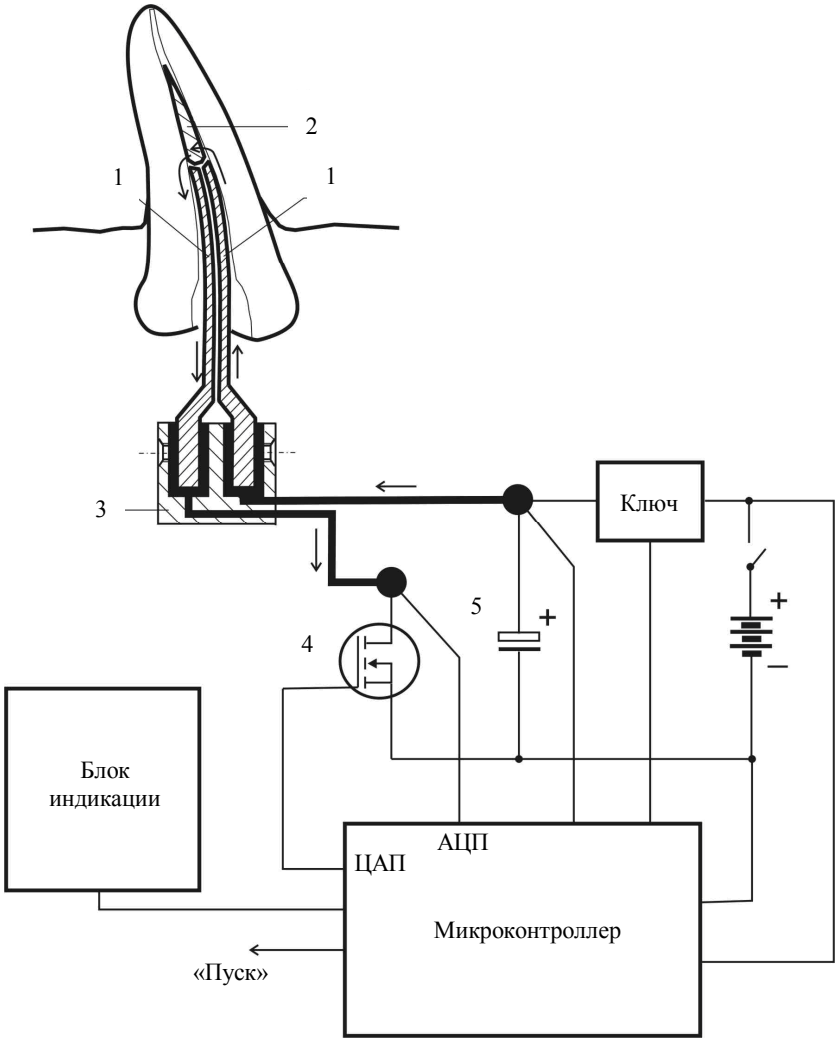


Рис.1. Микропроцессорный блок контактной микросварки

тактной микросварки [1]. Конструкция блока подробно описана в статье [2]. Здесь исследованы различные режимы контактной микросварки в зависимости от электрических параметров цепи и материала электродов. Изучалась также возможность автоматического контроля процесса сварки непосредственно во время сварочного импульса для получения стабильного сварного соединения с максимальным пределом усилия на разрыв.

С помощью микропроцессорного блока (рис.1) проведены эксперименты по контактной сварке изготовленных нами экспериментальных образцов стальных экстрагирующих электродов 1 с модельными обломками эндодонтических файлов 2 различного диаметра. Модельные обломки получали изломом стандартных файлов различных размеров из стали и Ni-Ti-сплава. Экстрагирующий электрод приводился в контакт (торец в торец) с обломком. Сварка производилась в диапазоне напряжений 10-20 В при длительности импульса тока до 10 мс и величине тока в импульсе 100-150 А. Установлено, что повышение температуры вокруг зоны контактной сварки во всех случаях незначительно и не представляет проблемы с физиологической точки зрения.

Рукоятку файла закрепляли в пружинном динамометре. С помощью микропроцессорного блока приваривали электроды к торцу обломка файла. Затем измеряли силу, при которой происходит разрыв сварного соединения при тянущем усилии на контактную группу электродов 3. Прочность

сварного соединения на разрыв оказалась равной 10-60 Н. При использовании экстрагирующих электродов из нержавеющей стали с большим удельным сопротивлением усилие сварного соединения на разрыв оказалось на порядок меньше.

Проведены эксперименты по сварке стальных экстрагирующих электродов с обломками эндодонтических файлов из Ni-Ti-сплава. При изменении в широком диапазоне режимов микросварки не удалось добиться надежного сварного соединения: в момент прохождения тока наблюдалась искровая вспышка и «выплескивание» микроколичества свариваемого металла наружу. Причиной может служить сильное различие в теплофизических свойствах стали и Ni-Ti-сплава. Поэтому для извлечения обломков Ni-Ti инструментов целесообразно использовать электроды только из одноименного материала.

Микропроцессорный блок через интерфейс RS-232 подключен к персональному компьютеру типа IBM PC. Специальное, разработанное нами программное обеспечение с помощью встроенного 12-разрядного АЦП позволяет регистрировать профили импульса сварочного тока с разрешением до 4 мкс. Вся информация хранится в памяти микропроцессора и с помощью интерфейса RS-232 передается в персональный компьютер, обеспечивающий полный анализ кривых микросварки на экране дисплея.

На рис.2 представлена запись тока при удачной контактной микросварке, при этом АЦП через резистивный делитель регистрирует напряжение на стоке ключевого транзистора 4. Сварка производилась при напряжении на накопительном конденсаторе 5, равном 15 В. Начальный участок кривой тока, пока транзистор закрыт, соответствует замкнутой цепи на участке 1-й полуцилиндр – обломок – 2-й полуцилиндр, при этом напряжение на стоке транзистора практически равно напряжению на накопительном конденсаторе 5. Далее через встроенный 12-разрядный ЦАП микропроцессор открывает ключевой транзистор и напряжение на стоке падает до минимума в 250 мВ, что соответствует максимальному току 150 А; при этом сварка идет с максимальной мощностью. Оценка тока сделана по рабочим ха-

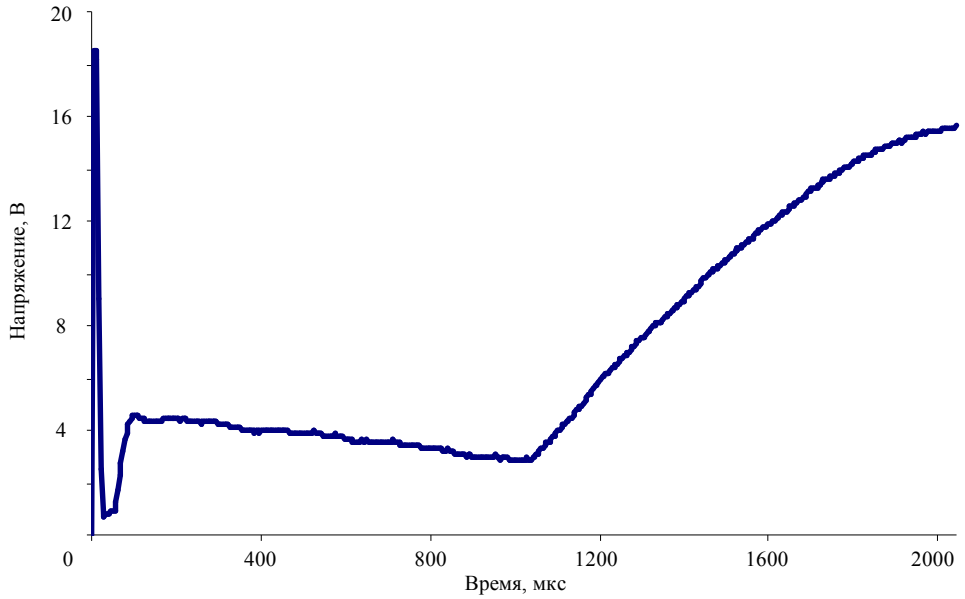


Рис.2. Кривая тока при хорошей контактной микросварке стальных экстрагирующих электродов к стальному обломку

рактеристикам полевого транзистора IRL 3713 на основе данных компании «International Rectifier».

Через 100 мкс микроконтроллер по программе через ЦАП уменьшает напряжение на затворе транзистора, при этом транзистор частично закрывается, напряжение на стоке растет и сварка продолжается. Постепенное уменьшение напряжения на стоке происходит из-за постепенного разряда конденсатора сварочным током. Через 1,0 мс микроконтроллер по программе постепенно закрывает транзистор для реализации фазы «отжига», при этом напряжение на нем начинает расти. Крайняя правая точка на кривой соответствует закрытому транзистору, при этом напряжение на накопительном конденсаторе падает на 20 % за счет разряда конденсатора через сварное соединение.

Приведенная диаграмма управления сварочным током иллюстрирует пригодность контактной микросварки стальных электродов со стальными обломками, однако напряжение на накопительном конденсаторе должно выбираться в соответствии с диаметром обломка в зоне сварки. По кривым сварочного тока определена скорость реакции тока на регулирующее воздействие микропроцессора через ЦАП, которая, по оценке, составляет около 20 мкс (время перехода в новый установившийся режим после ступенчатого изменения управляющего напряжения с ЦАП). Аналогичные результаты получены и при сварке модельных обломков с экстрагирующими электродами из Ni-Ti-сплава, при этом напряжение сварки на 20 % выше.

Если сварочное напряжение выбрано не оптимально, то возникает либо непрочное сварное соединение, либо сварной контакт «прогорает». Рис.3 иллюстрирует режим микросварки, который возникает при превышении оптимального напряжения (U = 15 В) на накопительном конденсаторе для конкретного обломка малого диаметра.

За счет избыточного энерговклада возникает микроискрение в процессе прохождения тока и микросварки электродов с обломком не происходит. В этих условиях при включении транзистора на начальном этапе кривой сварочного тока напряжение на стоке транзистора падает до 0, что означает «прогорание» контакта между электродом и

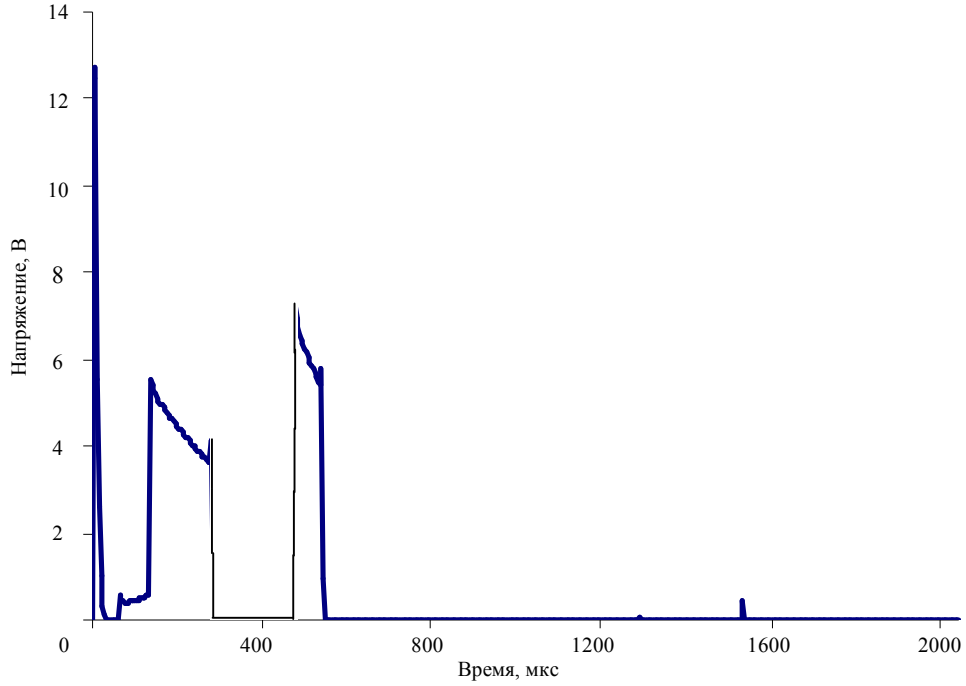


Рис.3. Кривая сварочного тока при перенапряжении на стальных экстрагирующих электродах

обломком. Программа микроконтроллера при этом начинает закрывать транзистор, чтобы повторить попытку сварки позже. Этим попыткам соответствуют участки подъема напряжения на кривой рис.3, но они в итоге снова приводили к прогоранию контакта и падению напряжения на транзисторе до нуля. Таким образом, напряжение 15 В оказалось избыточным для микросварки данного обломка.

В результате выполненных экспериментов разработано программное обеспечение для микропроцессора, которое в режиме реального времени по данным АЦП регулирует сварочный ток через силовой транзистор и обеспечивает оптимальные режимы сварки, а также контроль процесса сварки непосредственно во время импульса тока.

ЛИТЕРАТУРА

1. *Александровский В.Л.* Извлечение отломков стальных эндодонтических инструментов с помощью нового электронного прибора-экстрактора / В.Л.Александровский, А.Б.Цыганов // Клиническая эндодонтия. 2007. Т.1. № 1-2. С.92-95.

2. *Белоглазов И.Н.* Технология производства Ni-Ti-электродов для извлечения обломков эндодонтических инструментов из корневого канала зуба / И.Н.Белоглазов, А.С.Мустафаев, А.Б.Цыганов, А.С.Чирцов // Цветные металлы. 2009. № 3. С.42-45.

3. Пат. 2257868 РФ. Способ извлечения обломка инструмента из корневого канала зуба и экстрактор для его осуществления / В.Л.Александровский, А.Б.Цыганов. Опубл. 10.08.05. Бюл. № 22.

4. *Di Fiore P.M.* Nickel-titanium rotary instrument fracture: a clinical practice assessment / P.M.Di Fiore, K.A.Genov, E.Komaroff, Y.Li, L.Lin // International. Endodontics Journal, 2006. Vol.39. Issue 9. P.700-708.

REFERENCES

1. *Alexandrovskiy V.L.*, *Tsyganov A.B.* Removing of steel endodontic instruments fragments using new electronic extracting device // Clinical Endodontics. 2007. Vol.1. N 1-2. P.92-95.

2. *Beloglazov I.N.*, *Mustafaev A.S.*, *Tsyganov A.B.* and *Chirtsov A.S.* Manufacturing technology of Ni-Ti electrodes for broken endodontic instruments extraction from a tooth root canal // Tsvetnye Metally. 2009. N 3. P.42-45.

3. *Alexandrovskiy V.L.*, *Tsyganov A.B.* Method for a fractured instrument removing from a tooth root canal and extractor for its implication // Patent of Russian Federation N 2257868. Publication date 10.08.2005.

4. *Di Fiore P.M., Genov K.A., Komaroff E., Y.Li, L.Lin.* Nickel-titanium rotary instrument fracture: a clinical practice assessment // International. Endodontics Journal. 2006. Vol.39. Issue 9. P.700-708.