

# Магнітна стабілізація дуги при зварюванні неплавким електродом

Р.М. Рижов • П.Ю. Сидоренко • В.В. Кочубей

КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, Україна

Received: 30 March 2017 / Accepted: 28 April 2017

***Анотація.** Наведено результати розробки пальника для зварювання магнітокерованою дугою. Змінами конструкції електродного вузла забезпечена можливість створення у зоні горіння дуги магнітного поля заданої конфігурації і індукції без використання додаткового обладнання. Показано особливості горіння дуги у аксіальному магнітному полі, які надають можливість уникати у процесі зварювання її нестаціонарних відхилень, наслідками яких є неприпустимі дефекти формування швів. Істотне збільшення глибини проплавлення швів пов'язано з більш концентрованим передаванням енергії магнітокерованої дуги до виробу. Зроблено висновок про доцільність використання розробленого пальника при реалізації сучасних технологічних процесів зварювання неплавким електродом*

***Ключові слова:** стабілізація зварювальної дуги; неплавкий електрод; магнітне поле; TIG-зварювання*

## Вступ

При дуговому зварюванні однією із головних причин виникнення дефектів формування швів, таких як нестабільність форми лінії сплавлення, бічних підрізів, несплавлення крайок, є нестаціонарні відхилення дуги від заданого геометричного положення. Даний негативний ефект може виникати через залишкову намагніченість крайок зварюваних з'єднань із матеріалів з феромагнітними властивостями, нестабільність величини зазору між ними, несиметричне розташування поблизу робочої зони потужного джерела струму або струмопровідних кабелів і т.д. У більшій мірі він проявляється при зварюванні на форсованих режимах.

Загальновідомі заходи, спрямовані на попередження нестаціонарних відхилень дуги, у більшості випадків є лише корисними рекомендаціями і не враховують особливостей технологічного процесу зварювання. Так попереднє розмагнічування крайок з'єднань унеможливує виникнення ефекту “магнітного дуття”, однак його не завжди можна виконати через, наприклад, великі габаритні розміри виробу або виконання робіт у монтажних умовах [1, 2]. Деякого компенсування несиметричності магнітного поля в робочій зоні досягають змінами місць розташування і приєднання до виробу кабелів підведення зварювального струму. Однак у кожному конкретному випадку для перевірки ступеню ефективності даного заходу необхідне виконання комплексу експериментальних робіт. Нестабільність величини зазору між крайками зварюваних деталей може виникати не тільки через низький рівень якості виготовлення заготовок, а і через напруження і деформації виробу в процесі зварювання. Ці зміни спричинюють погіршення умов горіння дуги і, як наслідок, виникнення неприпустимих дефектів формування швів. Особливо це стосується тонкостінних елементів конструкцій. У даному випадку найбільш дієвим заходом є удосконалення конструкцій складально-зварювальних пристосувань. Однак і при його застосуванні існують певні обмеження, пов'язані, наприклад, з неможливістю розташування притискових елементів у заданих місцях через особливості конструкцій зварюваних виробів, необхідність вести процес зварювання швів складної форми безперервно і т.д. Таким чином, розробка дієвих способів стабілізації процесу горіння дуги є важливою і актуальною задачею.

## Постановка задачі

Відомо, що при дуговому зварюванні з зовнішніми електромагнітними діями під впливом аксіальних керуючих магнітних полів дуга обертається навкруги своєї осі і набуває форми конусу [3]. Даний ефект успішно використовували для стабілізації її горіння при зварюванні неплавким електродом на підвищених швидкостях [4]. Для цього у робочій зоні генерували КМП з індукцією до 5мТл [5]. Недоліком цього способу є

необхідність використання спеціалізованого пальника з котушкою намагнічування, підключеною до генератора імпульсів струму.

Реалізація зазначеного способу стабілізації дуги можлива і за допомогою магнітного поля зварювального струму. Це потребує істотних змін конструкцій струмопровідних деталей пальників. На даний час опублікованих даних про шляхи вирішення даної задачі не існує. Виходячи із цього метою даної роботи є розробка і дослідна перевірка технологічних можливостей спеціалізованого пальника для дугового зварювання неплавким електродом з магнітною стабілізацією процесу горіння дуги.

**Пальник для експериментальних досліджень**

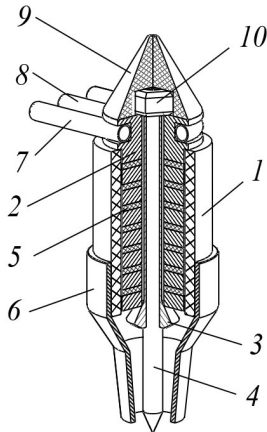


Рис. 1. Конструкція пальника з магнітною стабілізацією дуги

Конструкцію пальника з магнітною стабілізацією дуги створювали на базі найбільш вдалої моделі аналогічного за призначенням зварювального інструменту [6]. Його експлуатація впродовж тривалого часу в умовах різних підприємств підтвердила вірність прийнятих конструкторських рішень.

Основним елементом, який відрізняє розроблений пальник від всіх інших модифікацій, є електродний вузол, що складається із обойми 2 у вигляді спіралі з вісьма плоскими витками, яка охоплює струмопідвідну цангу 3 і електрод 4 (рис.1).

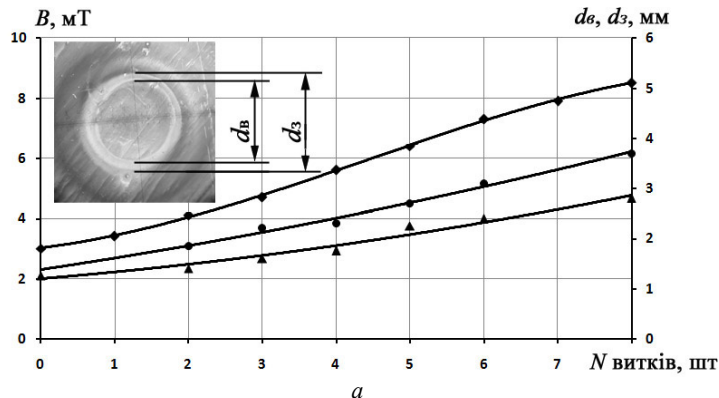
Тобто, у даній конструкції обойма одночасно виконує функції елементу підведення зварювального струму до електроду і котушки намагнічування пристрою стабілізації дуги. Регулювання кількості її витків здійснювали встановленням у міжвитковий простір електропровідних або діелектричних шайб 5. Електродний вузол розміщено у циліндричному корпусі 1, виготовленому із діелектричного матеріалу.

До нижньої частини корпусу 1 приєднано сопло 6, виготовлене із феромагнітного матеріалу. Одночасно з формуванням ламінарного потоку захисного газу воно виконує функцію магнітопроводу для підсилення до необхідного рівня величини індукції магнітного поля пальника. Паз обойми 2 охоплює трубка 7, яка необхідна для циркулювання охолоджуючої рідини і кріплення серги струмопідводу.

Захисний газ у внутрішню порожнину обойми 2 подається через штуцер 8. Ковпак 9 електрично ізолює струмоведучі складові пальника від замикань із зварюванням виробом або складально-зварювальним оснащенням. Маховик разом із розташованою в ньому гайкою 10 необхідний для затискання електроду 4 у цанзі 3, а також для притискання ковпака 9 до верхньої щоби обойми 2.

При експериментальному визначенні залежності аксіальної складової індукції магнітного поля на осі пальника від кількості витків в його обоймі у місті горіння дуги розміщували електропровідну вставку висотою три міліметри. Її затискали між кінцівкою неплавкого електроду і виробом. Вимірювання здійснювали за допомогою універсального тесламетра 43205, щуп якого розміщували у пазу між нижньою торцевою поверхні вставки і виробом. Струм у зварювальному колі становив 160А.

Виявлено, що у звичайних умовах, коли у міжвиткових просторах в обоймі електродного вузла пальника встановлено повний комплект



◆ - залежність індукції магнітного поля; ● - зовнішнього діаметра та ▲ - внутрішнього діаметра від кількості витків

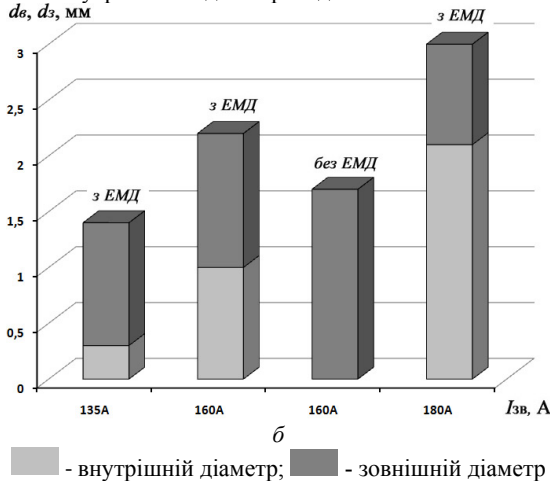


Рис. 2. Дослідження слідів дуги на мідній пластині

електропровідних шайб, індукція у зоні горіння дуги становить 3мТ, що пояснюється специфікою розтікання зварювального струму через виріб (рис.2).

При послідовній заміні електропровідних шайб на діелектричні у напрямку від виробу індукція лінійно зростає до 8мТ. Досвід практичного застосування електромагнітних дій у дуговому зварюванні дозволяє стверджувати, що цього достатньо для стабілізації геометричного положення дуги [7].

#### Результати експериментальних досліджень

В роботі [8] показано, що під впливом аксіального магнітного поля заряджені частки стовпа дуги рухаються за спіральною траєкторією і утворюють вихор. Тобто, дуга обертається навкруги своєї поздовжньої осі і набуває форми конусу. Це може позитивно впливати на стабілізацію її геометричного розташування.

В процесі експериментальних досліджень технологічних можливостей розробленого пальника діаметри конусної дуги прямої полярності фіксували на мідній пластині з палірованою поверхнею. Виявлено (рис.2а), що у звичайних умовах при довжині дуги 3мм і зварювальному струмі 160А дуга залишає на пластині слід діаметром 1,3мм. Вся його площа вкрита ерозійними відмітинами, що свідчить про хаотичне переміщення анодної плями. При послідовному збільшенні кількості витків в обіймі пальника одночасно із збільшенням індукції магнітного поля пропорційно зростає і діаметр слідів дуги, який досягає 3,2мм. Це у 2,5 рази більше за вихідні умови. Слід зазначити, що у даному випадку візуально спостерігається як зовнішній, так і внутрішній діаметри слідів. Тобто, дуга набуває форми полого конусу і залишає на пластині кільцеві сліди. При цьому зміни індукції магнітного поля практично не впливають на різницю зовнішнього і внутрішнього діаметрів слідів. Однак самі діаметри прямо пропорційно залежать від величини зварювального струму (рис.2.б), який у даному випадку є струмом намагнічування електромагніта.

Виявлені особливості горіння дуги при використанні розробленого пальника розширюють технологічні можливості зварювання неплавким електродом. Так, наприклад, при роботизованому зварюванні конусною дугою можна звести до мінімуму вплив на формування стикових швів похибок просторового розташування пальника і у такий спосіб уникнути необхідності застосування систем геометричної адаптації.

Для експериментальної перевірки ефективності використання розробленого пальника при зварюванні в умовах, коли через негативний вплив на дугу “магнітного дугтя” порушується формування швів, у пришовній зоні на відстані 20мм від поздовжньої осі шву фіксували постійний магніт. При цьому на дугу, яка у процесі зварювання переміщувалась повз нього, діяло поперечне магнітне поле з індукцією до 30мТ. Для виключення впливу на дугу феромагнітних мас зварюваного виробу експериментальні зварювання проводили на зразках із нержавіючої сталі 12Х18Н10 товщиною 2мм на режимі:  $I_{зв}=160А$ ,  $U_d=10В$ ,  $V_{зв}=18м/год$ . Виявлено, що шви, отримані у звичайних умовах мали незадовільні параметри формування (рис.3а). Завдяки дії паразитного магнітного поля поздовжня вісь швів відхиляється у напрямку від постійного магніту на  $\Delta h=6мм$ , що практично дорівнює ширині шву. При максимальній кількості витків в обіймі розробленого пальника зазначеного негативного ефекту не спостерігали (рис.3б).

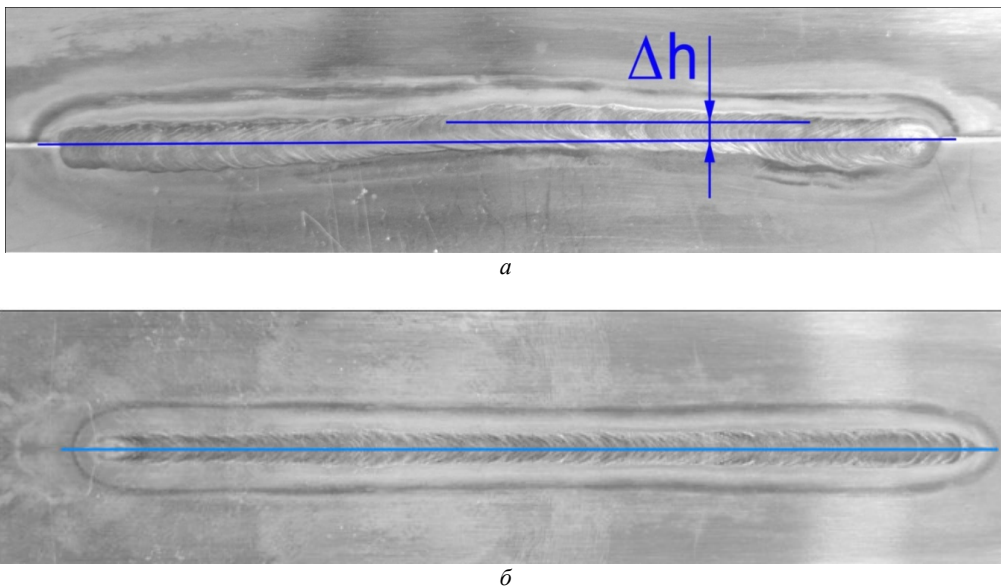
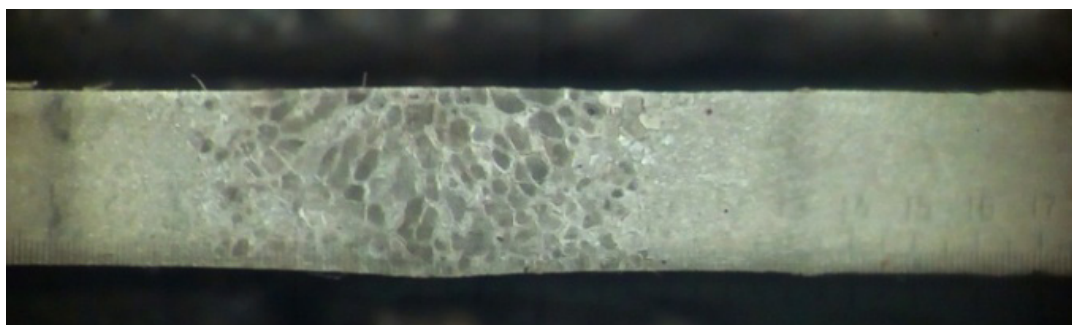


Рис. 3. Параметри формування швів при зварюванні у звичайних умовах (а) та при зварюванні з магнітною стабілізацією дуги (б)

Вплив аксіального поля розробленого пальника на дугу, який полягає у її обертанні навкруги поздовжньої осі, істотно змінює процес теплопередачі у метал швів. Якщо у звичайних умовах, завдяки блуканню анодної плями, тепло передається через площу круга, то у випадку використання магнітокерованої дуги – через кільце із стабільними геометричними розмірами. Не зважаючи на те, що його діаметр більший за діаметр круга, площа, через яку передається енергія, є значно меншою. Тобто, процес нагрівання металу шву відбувається більш інтенсивно. Це і підтверджено в процесі експериментальних досліджень. На поперечних шліфах швів, отриманих при зварюванні розробленим пальником з максимальною кількістю витків у обіймі електродного вузла глибина проплавлення збільшується на 24%, а ширина – на 13% (рис.4).



а



б

Рис. 4. Вплив магнітної стабілізації дуги на ширину швів та глибину проплавлення

При цьому лінія сплавлення набуває практично трикутної форми, що свідчить про більш концентроване нагрівання металу.

Подальші дослідження технологічних можливостей розробленого пальника доцільно провести при зварюванні плавким електродом та порівняти параметри формування з дією імпульсних ЕМД [9-11].

#### Висновки

1. Стабілізація геометричного положення зварювальної дуги досягається генеруванням у зоні її горіння аксіального магнітного поля пальником, конструкція електродного вузла якого являє собою котушку намагнічування електромагніту, що живиться струмом зварювального кола.
2. При зварюванні з використанням розробленого пальника обертання дуги навкруги своєї осі призводить до зміни форми поверхні її контактування із зварювальною ванною з кругової до кільцевої. Діаметр кільця є залежним від індукції аксіального магнітного поля і може регулюватись змінами кількості витків у електродному вузлі.
3. Перебудова форми магнітокерованої дуги з циліндричної до конусної супроводжується зменшенням площі її контактування із зварювальною ванною, що сприяє більш концентрованому передаванню енергії до виробу, у наслідок чого істотно збільшується глибина проплавлення швів.
4. Подальші роботи що до виявлення технологічних можливостей розробленого пальника доцільно проводити у напрямку виявлення залежностей параметрів формування різних видів зварних швів від характеристик керуючого магнітного поля.

## Магнитная стабилизация дуги при сварке неплавящимся электродом

Р.Н. Рыжов, П.Ю. Сидоренко, В.В. Кочубей

**Аннотация.** Приведены результаты разработки горелки для сварки магнитоуправляемой дугой. Изменениями конструкции электродного узла обеспечена возможность создания в зоне горения дуги магнитного поля заданной конфигурации и индукции без использования дополнительного оборудования. Показаны особенности горения дуги в аксиальном магнитном поле, которые дают возможность избегать в процессе сварки ее нестационарных отклонений, последствиями которых является недопустимые дефекты формирования швов. Существенное увеличение глубины проплавления швов связано с более концентрированной передачей энергии магнитоуправляемой дуги к изделию. Сделан вывод о целесообразности использования разработанной горелки при реализации современных технологических процессов сварки неплавящимся электродом.

**Ключевые слова:** стабилизация сварочной дуги, неплавящийся электрод, магнитное поле, TIG сварка

## Magnetic arc welding stabilization using non-consumable electrode

R. Ryzhov, P. Sidorenko, V. Kochubey

**Abstract.** Results of development torch to magnetically operated welding arc are defined. Changing the design of the electrode unit is provided the ability to create within the area of the arc magnetic field and induction given configuration without additional equipment. The features of the arc in an axial magnetic field which make it possible to avoid the welding process of unsteady abnormalities resulted in the inappropriate formation of defects in welds. Significant increase in the depth of weld penetration is connected with the more concentrated magnetically operated welding arc transmission energy to the product. It is concluded about the feasibility of using a designed torch for the implementation of modern technological processes non-consumable electrode welding.

**Keywords:** stabilization welding arc, non-consumable electrode, magnetic field, TIG welding

### References

1. Paton, B.E., Zaruba, I.I., Dimenko, V.V. and Shatan A.F. (2007), "Svarochnye istochniki pitaniya s impul'snoj stabilizaciej gorenija dugi", Ekotekhnolohiya, Kyiv, Ukraine.
2. Andrianov, A.A. and Sidorec V.N. (2009), Optimizacija rezhimov stabilizacii svarochnoj dugi peremennogo toka, *Elektrotehnika i elektromekhanika*, no 2, pp. 5-8.
3. Ryzhov, R.N. and Kuznecov V.D. (2006), Vneshnie jelektromagnitnye vozdejstvija v processah dugovoj svarki i naplavki, *Avtomaticheskaja svarka*, no 10, pp. 36 – 43.
4. Chernysh, V.P. and Matjash, V.I. (1990), Preduprezhdenie narushenij formirovanija shvov pri povyshennoj skorosti svarki i peremennom zazore mezhdru kromkami, *Avtomaticheskaja svarka*, no 9, pp. 9 – 11.
5. Brys T., Czekaj S., Daum M. and Fierlinger P., (2005), Magnetic Field Stabilization for Magnetically Shielded Volumes by External Field Coils, *Journal of Research of the National Institute of Standards and Technology*, no 3, May-June, pp. 173-177.
6. Chernysh, V.P., Paharenko, V.A. and Ryzhov, R.N. (1993), Gorelki dlja ruchnoj dugovoj svarki neplavjashhimsja jelektrodom s jelektromagnitnym vozdejstviem na svarochnuju vannu. *Avtomaticheskaja svarka*, no 11 pp.45 – 47.
7. Ryzhov, R.M. and Kuznetsov, V.D. (2010), "Mahnitne keruvannya yakisty zvarnykh z'yednan", Ekotekhnolohiya, Kyiv, Ukraine.
8. Tihodeev, G.M. (1961), "Jenergeticheskie svojstva jelektricheskoj svarochnoj dugi", Izdatelstvo An SSSR, Moscow, Leningrad. Russia.
9. Sydorenko, P.Yu., Ryzhov, R.M. and Kerosir, O.V. (2010), Vplyv impul'snykh jelektromagnitnykh diy na parametry formuvannya shviv pry zvaryuvanni u riznykh prostorovykh polozhennyakh, *Obrobka materialiv u mashynobuduvanni*, pp. 70 – 73.
10. Sidorenko, P.Ju. and Ryzhov, R.N. (2010), Ispol'zovanie impul'snykh jelektromagnitnykh vozdejstvij dlja upravljenija processom perenosa jelektrodnoho metalla pri dugovoj svarke, *Avtomaticheskaja svarka*, no 6, pp. 52 – 53.
11. Sidorenko, P.Ju. and Ryzhov, R.N. (2012), Vplyv impul'snykh jelektromagnitnykh diy na porystist' shviv, *Tehnologicheskie sistemy*, no 58, pp. 65 – 67.

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>Б.П. Маслов</b>	
Концентрация напряжений в нелинейных вязкоупругих композитах .....	5
<b>Ю.М. Данильченко, М.Г. Сторчак</b>	
Статический расчет упругой системы «шпиндельный узел» с использованием метода переходных матриц .....	11
<b>Ю.Н. Дифучин, К.Н. Рудаков</b>	
Численное моделирование болтовых соединений из ПКМ. О влиянии жесткости болтов на нормальные напряжения в слоях композита .....	19
<b>Д.А. Лесик., В.В. Джемелинский, С. Мартинез, А. Ламикиз, О.О. Данилейко, В.В. Хижевский</b>	
Влияние лазерного термоупрочнения особенности зоны укрепления и твердость поверхности инструментальной стали X12МФ .....	26
<b>Ю.В. Петраков, Д.К. Шуплецов</b>	
Программирование адаптивной обработки контурного фрезерования .....	34
<b>Ю.М. Вкуков, А.И. Гермашев, В.О. Логомінов, В.О. Кришталь</b>	
Возможность использования лепестковых диаграмм для прогнозирования вибросталости высокоскоростного фрезерования тонкостенных деталей .....	41
<b>О. Герасимчук, О. Герасимчук</b>	
Теоретическая оценка усталостной долговечности при регулярном циклическом нагружении .....	49
<b>Н.С. Шидловский, М.М. Дымань, А.В. Ильницкий, В.С. Шитиков</b>	
Жесткость пораженных бедренных костей с системами хирургического лечения .....	57
<b>А.В. Узунов</b>	
Системное представление объекта в контексте решения практических задач .....	64
<b>В.А. Ковалев</b>	
Структура инерционных течений в топливном резервуаре с направляющими аппаратами .....	71
<b>П.В. Кондрашев</b>	
Исследование влияния геометрии углов образующих коаксиального сопла на производительность процесса лазерного сплавления порошковой композиции .....	76
<b>А.В. Молтасов, П.Н. Ткач, С.И. Мотрунич</b>	
Инженерный метод исследования напряжённого состояния в зонах концентрации сварных соединений с симметричным усилением .....	82
<b>Л.И. Алиева, Н.С. Грудкина, К. Крюгер</b>	
Моделирование процесса радиально-обратного выдавливания полых деталей .....	91
<b>В.О. Залого, Д.В. Криворучко, Ю.В. Шаповал, К. Дрофа</b>	
Динамическое управление колебаниями при точении .....	100
<b>С.А. Клименко, А.С. Манохин, Н.Н. Белоусова, А.Г. Колмаков, Е.О. Насакина, М.Л. Хейфец, И.М. Закиев</b>	
Механические свойства поверхностного слоя режущих элементов из поликристаллических сверхтвердых композитов на основе кубического нитрида бора .....	108
<b>П.Ю. Сидоренко, Р.М. Рижов, В.В. Кочубей</b>	
Магнитная стабилизация дуги при сварке неплавящимся электродом .....	115