

НОВІ АЛГОРИТМИ ВИСОКОЧАСТОТНОГО ЗВАРЮВАННЯ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН*

Г.С. Маринський¹, К.Г. Лопаткіна¹, О.В. Чернець¹, С.Є. Подпратов^{1,2}, В.А. Ткаченко¹,
І.О. Белоусов², В.А. Васильченко¹

¹ІЕЗ ім. С.О. Патона НАН України. 03150, м. Київ, вул. Казимира Малевича, 11. E-mail: office@paton.kiev.ua

²Київська міська клінічна лікарня № 1. 02091, м. Київ, вул. Харківське шосе, 121. E-mail: KCRZ@ukr.net

Проведені дослідження впливу нових алгоритмів зварювання біологічних тканин на температурні показники процесу в зоні шва та біофізичні і структурні характеристики тканин, що зварюються з використанням удосконаленої системи керування апаратів серії ЕКВЗ-300. Вивчено вплив нових експериментальних алгоритмів височастотного зварювання біологічних тканин на температурні показники процесу та характеристики тканин різних видів в зоні шва. Бібліогр. 9, рис. 6.

Ключові слова: височастотне зварювання, біологічні тканини, апарат ЕКВЗ-300 «ПАТОНМЕД», алгоритми зварювання, температурні показники процесу, структурні та біофізичні зміни тканин, дослідницький комплекс

В медичних закладах України, починаючи з 2002 р., в хірургічній практиці активно застосовується технологія височастотного (ВЧ) зварювання біологічних тканин з використанням апаратури, розробленої в Інституті електрозварювання ім. С.О. Патона, що має суттєві переваги у порівнянні з іншими процесами при проведенні навіть найскладніших операцій різного профілю [1–5].

В той же час, для подальшого розвитку, розширення сфер використання та підвищення ефективності застосування височастотної технології в хірургічній практиці необхідно постійне удосконалення існуючих і розробка нових алгоритмів процесу та відповідного обладнання для їхньої реалізації. В зв'язку з цим проведення комплексних досліджень структурних, біофізичних характеристик зони шва, а також температурних показників процесу з'єднання та обробки біологічних тканин під впливом височастотного струму, що подається по різним алгоритмам є, безумовно, актуальним.

Метою даної роботи є вивчення впливу нових експериментальних алгоритмів ВЧ зварювання біологічних тканин на температурні показники процесу, зміни характеристик тканин в зоні шва, а також фіксація і аналіз переваг застосування розроблених алгоритмів у порівнянні з тими, що використовуються в даний час.

Об'єктами досліджень були видалені органи свині, а саме: тонка та товста кишки, шлунок, бронхи та інші.

Експерименти проводили на універсальному дослідницькому комплексі (рис. 1) [6–8], до складу якого входять:

- модернізовані апарати типу ЕКВЗ-300 з розширеними технологічними можливостями – спеціальними системою керування та програмного продукту, які забезпечують реалізацію як стандартних алгоритмів зварювання, так і нових, що мають особливий характер енергетичного впливу на об'єкт дослідження;
- спеціалізований дослідницький стенд, обладнаний різноманітними базовими і експериментальними електродами (рис. 2);
- робочі біполярні інструменти та їхні макети;
- вимірювальне та фіксуєчне обладнання.

Цей комплекс, що постійно модернізується та вдосконалюється, забезпечує можливості для проведення широких досліджень процесу, в тому числі вивчення впливу на його температурні показники, біофізичні та структурні властивості різних біологічних тканин в зоні шва таких характеристик як:

- різних алгоритмів зварювання;
- питомого тиску електродів на тканини, що зварюються (в межах від 0 до 4 Н/мм²);
- різноманітних конструкцій інструментів з електродами різної геометрії (площа електродів в межах від 2,0 до 270 мм²).

В ході даної серії експериментів фіксували як основні електричні та механічні (питомий тиск тощо) характеристики процесу, так і температури тканин безпосередньо в зоні шва. Вимірювання температури здійснювали заізолюваними термопарами, що були вмонтовані в тіла електродів і безпосередньо контактували із зварюваним матеріалом. Одночасно контролювали температуру безконтактним методом за допомогою тепловізора.

*В роботі брали участь: Ю.З. Буряк¹, В.К. Сердюк¹, С.С. Подпратов², С.Є. Мацаєв¹, Н.А. Чвертко¹, В.О. Бисько¹, С.Д. Грабовський¹.

Маринський Г.С. – <https://orcid.org/0000-0003-0753-0154>, Лопаткіна К.Г. – <https://orcid.org/0000-0002-7604-6174>,

Чернець О.В. – <https://orcid.org/0000-0001-8537-2302>, Ткаченко С.В. – <https://orcid.org/0000-0003-2983-778X>,

Подпратов С.Є. – <https://orcid.org/0000-0003-1350-7532>, Белоусов І.О. – <https://orcid.org/0000-0003-1624-7019>

© Г.С. Маринський, К.Г. Лопаткіна, О.В. Чернець, С.Є. Подпратов, В.А. Ткаченко, І.О. Белоусов, В.А. Васильченко, 2021



Рис. 1. Дослідницький комплекс ІЕЗ ім. Є. О. Патона

Для проведення досліджень використовували як визначені в попередніх роботах, так і нові варіанти алгоритмів, що мають забезпечити якісні зварні з'єднання при зменшенні протяжності зони термічного впливу (ЗТВ), зниження температури процесу, відсутність обвуглення в зоні шва і ЗТВ та відсутність «налипання» тканин до електродів [9].

При випробуванні алгоритмів зварювання для оцінки якості з'єднань та вивчення біофізичних та структурних характеристик тканин проводили візуальну оцінку, механічні та гідравлічні випробування, а також гістологічні дослідження.

Нижче частково представлені результати експериментальних досліджень, що були проведені на видалених тонких кишках та бронхах свині.

Випробування нових алгоритмів зварювання було здійснено при лінійному зварюванні тонкої кишки свині (товщина стінки 0,6...0,8 мм, діаметр 25...28 мм) на модернізованому стенді спеціальним експериментальним біполярним затискачем з електродами площею 45 мм², міжелектродним зазором 0,05 мм, та питомим тиском між електродами 2,6 Н/мм².

Представлено результати, що були отримані при дослідженні впливу розроблених нових алгоритмів зварювання, згідно з якими здійснювали подачу заданої напруги модульованими імпульсами визначеної тривалості, що дорівнювали 0,1 та 1,0 с. При цьому

значення величини напруги та загальна тривалість її подачі в обох випадках лишались незмінними.

В ході випробування обох варіантів алгоритмів між біполярними електродами формувалось лінійне зварне з'єднання тонкої кишки без виділення пари та диму, без «налипання» дотичних до електродів тканин та тканин в зоні шва. За візуальною оцінкою та результатами механічних випробувань зварних з'єднань дослідних тканин тонкої кишки при використанні вище згаданих алгоритмів отримано якісне, міцне, еластичне, суцільне та герметичне зварне з'єднання. По всій площі зварного шва тканина на просвіт була однакового кольору. В зоні шва та в зоні термічного впливу відсутні деформація, обвуглення та спазм тканин. Сформований зварний шов без перфорації, складався зі щільної однорідної тканини.

Процес зварювання дослідних зразків тонкої кишки з використанням зазначених вище алгоритмів відбувався при температурі, що не перевищувала в умовах експериментів 60...70 °С та була суттєво нижчою, ніж при застосуванні алгоритмів, що застосовувалися раніше.

На рис. 3 наведені температурні показники процесу при випробуванні нових експериментальних алгоритмів зварювання тонкої кишки (№ 1 – тривалість імпульсів та пауз 0,1 с; № 2 – тривалість імпульсів та пауз 1,0 с) та стандартних (традиційних) алгоритмів (№ 3 – тривалість імпульсів 1,0 с, тривалість пауз 0,2 с; № 4 – тривалість імпульсів та пауз 0,2 с).

Слід зазначити, що збільшення протяжності імпульсів з 0,1с (алгоритм № 1) до 1,0 с (алгоритм № 2) в експериментальних алгоритмах, при інших рівних умовах, практично не позначилось на температурних показниках в умовах експерименту.

Подібні результати були отримані при зварюванні тонкої кишки свині (товщина стінки 0,8...0,9 мм) з використанням експериментальних алгоритмів на стандартному біполярному затискачі (площа електродів 70 мм² без міжелектродного зазору) при суттєво меншому (0,46 Н/мм²) питомому тиску між електродами.



Рис. 2. Спеціалізований дослідницький стенд (а), лінійні (б) та кільцеві (в) електроди

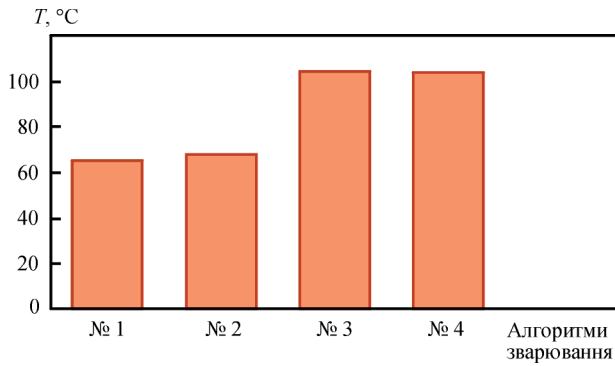


Рис. 3. Середні температурні показники процесу зварювання тонкої кишки в умовах використання нових експериментальних (№ 1, 2) та традиційних (№ 3, 4) алгоритмів зварювання тонкої кишки

Для експериментів в даному випадку був використаний стандартний біполярний затискач, додатково облаштований ізольованою термопарою, що безпосередньо контактувала з тканиною, що зварювалася. Заданий тиск забезпечувався за допомогою системи із наперед заданим зусиллям.

Застосування експериментальних алгоритмів у порівнянні зі стандартними також дозволило суттєво знизити температурні показники процесу. Температура в зоні шва не перевищувала 70 °С.

За візуальною оцінкою та результатами механічних випробувань, на фоні зниження температурних параметрів процесу, запропоновані алгоритми забезпечували якісні та міцні з'єднання з покращеними біофізичними характеристиками тканин в зоні шва та зменшеною зоною термічного впливу (рис. 4).

Іншим дослідним матеріалом, на якому проводили експериментальні роботи, були видалені бронхи свині (товщина стінки 0,5...0,7 мм, діаметр 6,0...6,5 мм). Площа електродів стенду та затискача складала 45 мм², міжелектродний зазор – 0,05 мм, питомий тиск між електродами – 2,6 Н/мм².

Запропоновані алгоритми дозволили суттєво скоротити загальний час дії ВЧ струму на тканину,

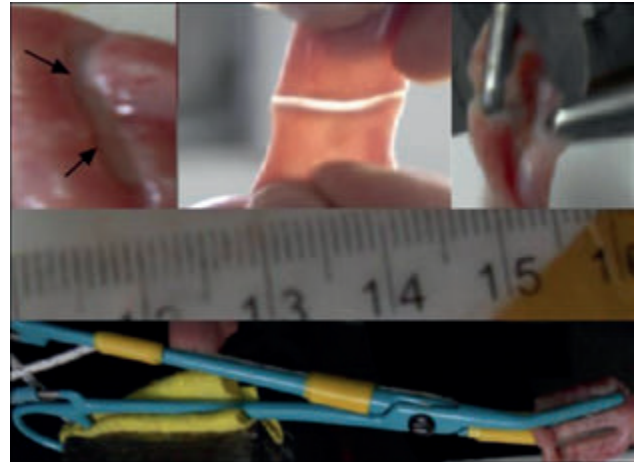


Рис. 4. Зварне з'єднання тонкої кишки, отримане з застосуванням модульованих імпульсів. Зварювання виконували з використанням стандартного біполярного затискача (площа електродів 70 мм², питомий тиск між електродами 0,46 Н/мм², без міжелектродного зазору), додатково облаштованого термопарою

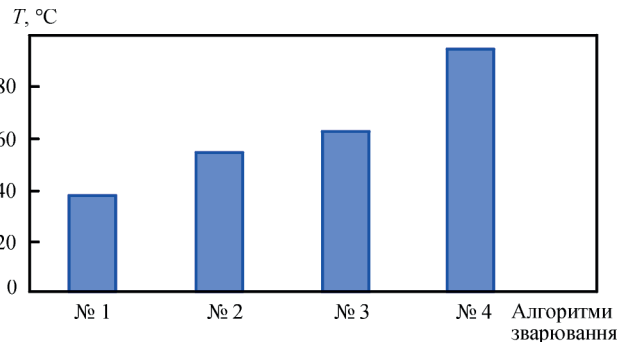


Рис. 5. Температурні показники процесу перекриття бронхів в умовах застосування нових експериментальних (№ 1, 2, 3) та існуючого на даний час (№ 4) алгоритмів зварювання.

отримати герметичне перекриття бронхів та знизити температурні показники процесу. Використання нових алгоритмів зварювання загальною тривалістю від 0,1...2,0 с дозволило отримати кращі результати температурних показників процесу у порівнянні з результатами, отриманими при використанні раніше визначених алгоритмів значно більшої загальної



Рис. 6. Випробування зварних швів бронхів, отриманих в умовах застосування спеціальних алгоритмів зварювання: а – перевірка на прохідність; б – гідравлічні випробування

тривалості (6...12 с). Температура в момент перекриття бронхів при випробуванні нових алгоритмів не перевищувала 40...70 °С, що майже вдвічі менша (рис. 5) від температури, зафіксованої при застосуванні більшості інших раніше визначених алгоритмів зварювання бронхів.

На рис. 5 показані температурні показники процесу з застосуванням нових алгоритмів зварювання бронхів загальною тривалістю 0,1 с (№ 1), 0,5 с (№ 2), 0,8 с (№ 3) та алгоритму загальною тривалістю 8 с, що використовується в даний час (№ 4).

Найбільш якісні перекриття бронхів, в умовах проведення даного етапу експериментів, відбулись, за візуальною оцінкою, при температурі процесу 47...65 °С загальною тривалістю впливу високочастотного струму на тканину в зоні шва 0,5...1,5 с. Обвуглення, спазму та «налипання» тканин до електродів в умовах експериментів не спостерігали. Зона термічного впливу знаходилась в межах 0...0,1 мм. На відібраних зразках з якісним перекриттям бронхів проводили перевірку на герметичність (рис. 6, а) і механічні та гідравлічні випробування (рис. 6, б).

Визначене за візуальною оцінкою якісне перекриття бронхів, що було отримане за вище вказаних умов, при гідравлічних випробуваннях витримувало 1000...1500 мм водяного стовпа.

Результати досліджень впливу нових алгоритмів зварювання на тканину бронхів показали перспективність їх застосування та необхідність проведення подальших експериментальних робіт.

Висновки

1. Результати проведених експериментальних робіт показали, що застосування нових експериментальних алгоритмів зварювання біологічних тканин забезпечує помітні переваги в порівнянні із раніше визначеними алгоритмами зварювання. Це отримання якісних швів при зниженні температурних показників процесу та покращення біофізичних характеристик тканин в зоні шва і в ЗТВ.

2. За візуальною оцінкою, механічними та гідравлічними випробуваннями зразків тканин різного типу встановлено, що нові оригінальні алгоритми з'єднання, які можуть бути реалізовані при використанні розробленої системи керування апаратами, дозволяють отримувати якісні з'єднання біологічних тканин при мінімальному питомому тиску електродів і забезпечують мінімальну температуру нагрівання тканин, що з'єднуються, та мінімальну протяжність ЗТВ, що в свою чергу вказує на перспективність застосування запропонованих алгоритмів та продовження проведення експериментальних досліджень.

Список літератури

1. (2009) *Тканесохраняющая высокочастотная электросварочная хирургия. Атлас.* Патон Б.Е., Иванова О.Н.

(ред.). Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, Международная Ассоциация «Сварка».

2. Патон Б.Е., Кривцун И.В., Маринский Г.С. и др. (2013) Сварка, резка и термическая обработка живых тканей. *Автоматическая сварка*, **10-11**, 135–146.

3. Подпратов С.Е., Гичка С.Г., Подпратов С.С. та ін. (2012) Структура электросварного шва, як основа нового розвитку хірургії. *Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы. Мат. VII между. науч.-практ. конф., г. Киев, 30 ноября 2012 г.* Маринский Г.С. (ред.). Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины.

4. (2018) *Зварювання та термічна обробка живих тканин. Теорія. Практика. Перспективи. Мат. XIII наук.-практ. конф. (Київ, 30 листоп.–1 груд.)*. Маринський Г.С. (ред.). Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України.

5. Ничитайло М.Ю., Фурманов Ю.О., Гуцуляк А.І. та ін. (2016) Формування білідигестивних та міжкишкових анастомозів в умовах жовчного перитоніту з використанням ВЧ електрозварювання в експерименті. *Клінічна хірургія*, **1**, 65–68.

6. Маринский Г.С., Чернец А.В., Ткаченко В.А. и др. (2016) Стендовые исследования высокочастотной электросварки биологических тканей. *Автоматическая сварка*, **12**, 41–45.

7. Маринський Г.С., Подпратов С.Є., Чернець О.В. та ін. (2018) Дослідження процесів високочастотного зварювання біологічних тканин на спеціалізованому експериментальному комплексі ІЕЗ ім. Є.О. Патона. *Зварювання та термічна обробка живих тканин. Теорія. Практика. Перспективи. Мат. XIII наук.-практ. конф. м. Київ, 30 листоп.–1 груд. 2018 р.* Маринський Г.С. (ред.). Київ, Інститут електрозварювання ім. Є.О. Патона НАН України, сс. 63–67.

8. Лопаткіна К.Г., Маринський Г.С., Чернець О.В. та ін. (2015) Дослідний комплекс для експериментальних досліджень ВЧ зварювання тканин різного типу. *Сварка и термическая обработка живых тканей. Теория. Практика. Перспективы. Мат. X Между. науч.-практ. конф., г. Киев, 27-28 ноября. 2015 р.* Маринский Г.С. (ред.). Киев, ИЭС им. Е.О. Патона НАН Украины, сс. 40–41.

9. Подпратов С.С., Маринський Г.С., Чернець О.В. та ін. (2018) Дослідження впливу параметрів подавання імпульсної високочастотної напруги на зміну діелектричної характеристики біологічних тканин у моделі електросварного міжкишкового анастомозу. *Медицина інформатика та інженерія*, **2**, 37–43.

References

1. (2009) *Tissue-saving high-frequency electric welding surgery. In: Atlas.* Ed. by B.E. Paton, O.N. Ivanova. Kiev, PWI, IEW [in Russian].

2. Paton, B.E., Krivtson, I.V., Marinsky, G.S. et al. (2013) Welding, cutting and heat treatment of live tissues. *The Paton Welding J.*, **10-11**, 135–146.

3. Podpnyatov, S.E., Gichka, S.G., Podpnyatov, S.S. et al (2012) Structure of electric weld as a basis of the new development of surgery. *In: Proc. of 7th Int. Sci.-Pract. Conf. on Welding and Heat Treatment of Live Tissues. Theory. Practice. Prospects (Kiev, 30 November 2012).* Ed. by G.S. Marinsky. Kiev, PWI.

4. (2018) *In: Proc. of 13th Int. Sci.-Pract. Conf. on Welding and Heat Treatment of Live Tissues. Theory. Practice. Prospects (Kiev, 30 November – 1 December 2018).* Ed. by G.S. Marinsky. Kiev, PWI.

5. Nychytailo, M.Yu, Furmanov, Yu.O., Gutsulyak, A.I. et al. (2016) Formation of biliary-enteric and interintestinal anastomoses under the conditions of bile peritonitis using HF electric welding in the experiment. *Klinichna Khirurgiya*, **1**, 65–68 [in Ukrainian].

6. Marinsky, G.S., Chernets, O.V., Tkachenko, V.A. et al. (2016) Bench research of high-frequency electric welding of biological tissues. *The Paton Welding J.*, **12**, 41–45.

7. Marinsky, G.S., Podpnyatov, S.E. Chernets, O.V. et al. (2018) Investigation of high-frequency welding of biological tissues in the specialized experimental complex of the E.O.Paton Electric Welding Institute. *In: Proc. of 13th Int. Sci.-Pract.*

- Conf. on Welding and Heat Treatment of Live Tissues. Theory. Practice. Prospects (Kiev, 30 November – 1 December 2018)*). Ed. by G.S. Marinsky. Kiev, PWI, 63–67.
8. Lopatkina, K.G., Marinsky, G.S., Chernets, O.V. et al. (2015) Research complex for experimental studies of HF welding of different types of tissues. In: *Proc. of 10th Int. Sci.-Pract. Conf. on Welding and Heat Treatment of Live Tissues. Theory. Practice. Prospects (Kiev, 27-28 November 2015)*. Ed. by G.S. Marinsky. Kiev, PWI, 40-41.

9. Podpryatov, S.S., Marinsky, G.S., Chernets, O.V. et al. (2018) Investigation of the influence of parameters of supplying pulsed high-frequency voltage on the change of dielectric characteristic of biological tissues in the model of electrically-welded interintestinal anastomosis. *Medychna Informatyka ta Inzheneriya*, **2**, 37–43 [in Ukrainian].

NEW ALGORITHMS OF HIGH-FREQUENCY WELDING OF BIOLOGICAL TISSUES*

G.S. Marynsky¹, K.G. Lopatkina¹, O.V. Chernets¹, S.E. Podpryatov^{1,2}, V.A. Tkachenko¹,
I.O. Belousov², V.A. Vasylenko¹

¹E.O. Paton Electric Welding Institute of the NAS of Ukraine. 11 Kazymyr Malevych Str. 03150, Kyiv, Ukraine.
E-mail: office@paton.kiev.ua

²Kyiv City Clinical Hospital № 1. 121 Kharkiv Highway, 02091, Kyiv, Ukraine. E-mail: KCRZ@ukr.net

Studies of the influence of new algorithms for welding biological tissues on the temperature parameters of the process in the weld zone and the biophysical and structural characteristics of the tissues being welded using the advanced control system of EKVZ-300 series apparatuses have been carried out. The effect of new experimental algorithms for high-frequency welding of biological tissues on the temperature parameters of the process and the characteristics of tissues of various types in the seam area was studied. 9 Ref., 6 Fig.

Keywords: high-frequency welding, biological tissues, EKVZ-300 «PATONMED» apparatus, welding algorithms, process temperature values, structural and biophysical changes in tissues, research complex

Надійшла до редакції 04.12.2020

ФАХОВІ ЖУРНАЛИ ІЕЗ ім. Є.О. ПАТОНА



Журнал «**Автоматичне зварювання**» є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень за напрямками: матеріалознавство та металургія зварювання, наплавлення та інших споріднених технологій; технології та матеріали для зварювання конструкційних матеріалів; виробництво зварних металоконструкцій для різних галузей промисловості; відновлювальний ремонт для подовження ресурсу зварних конструкцій і вузлів; проблеми міцності, конструювання та оптимізації зварних конструкцій; технології 3D друку, які базуються на зварювальних процесах; гібридні технології зварювання. В журналі публікується також інформація про нові зварювальні матеріали, джерела живлення та технології; звіти про виставки, конференції та семінари, анонси нових книг та винаходів, новини від відомих компаній та інше.



Журнал «**Сучасна електрометалургія**» є міжнародним науково-теоретичним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень у сферах: металургія чорних і кольорових металів та сплавів; спеціальна електрометалургія (електрошлакова, електронно-променева, плазмова- та вакуумно-дугова технології); нові матеріали; енерго- і ресурсозбереження; матеріалознавство, 3D технології у спеціальній електрометалургії. Публікується також допоміжна інформація з тематики журналу.



Журнал «**Технічна діагностика та неруйнівний контроль**» є міжнародним науково-технічним та виробничим журналом у галузі технічних наук. В журналі публікуються результати досліджень з діагностики матеріалів і конструкцій та методи неруйнівного контролю для оцінки стану матеріалів і конструкцій; теорія, методи і засоби технічної діагностики. Розміщуються матеріали з моніторингу конструкцій та подовження ресурсу та працездатності засобами НК. Публікується супутня інформація з тематики журналу, а також інформація про події та новини в Українському товаристві НК та ТД.

НК. Публікується супутня інформація з тематики журналу, а також інформація про події та новини в Українському товаристві НК та ТД.

РЕКЛАМА В ЖУРНАЛАХ

Реклама публікується на обкладинках і внутрішніх вклейках журналів.
Перша сторінка обкладинки – 200x200 мм.
Друга, третя і четверта сторінки обкладинки – 200x290 мм.
Перша, друга, третя, четверта сторінки внутрішньої обкладинки – 200x290 мм.
Вклейка А4 – 200x290 мм. Розворот А3 – 400x290 мм.
А5 – 185x130 мм.
Розміри журналів після обрізу 200x290 мм.
Всі файли в форматі IBM PC, кольорова модель СМΥК, роздільна здатність 300 dpi.

ВАРТІСТЬ РЕКЛАМИ

Ціна договірна. Передбачена система знижок. Вартість публікації статті на правах реклами становить половину вартості рекламної площі. Публікується тільки профільна реклама з тематики журналів. Відносно вартості, знижок та термінів публікації прохання звертатися у видавництво.

ВИДАВНИЦТВО

Міжнародна Асоціація «Зварювання»
03150, Київ, вул. Казимира Малевича, 11
Тел./факс: 38044 200-82-77
E-mail: journal@paton.kiev.ua
<https://patonpublishinghouse.com>