

## ЗВАРЮВАННЯ ВИБУХОМ МІДНО-АЛЮМІНІЄВИХ ТРУБ ЗА «ЗВОРТНЬОЮ СХЕМОЮ»

П.С. Шльонський

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

Досліджено зварювання вибухом по «зворотній схемі» трубних заготовок з міді і алюмінію з зовнішнім діаметром 36 мм і довжиною 200 мм. Для зварювання по даній схемі, в якості наповнювача-опори для внутрішньої (мідної) труби використовували сталевий стрижень меншого діаметру, ніж діаметр цієї труби, а зазор заповнювали легкоплавким сплавом Вуда. Бібліогр. 6, рис. 4.

*Ключові слова:* зварювання вибухом, «зворотна схема», біметалеві труби, мідь, алюміній

Для з'єднання багатожильних (гнучких) електричних кабелів з різномірних матеріалів (мідь–алюміній) неможливе застосування струмопровідних мідно-алюмінієвих елементів, виготовлених зварюванням вибухом (ЗВ) за паралельною схемою [1].

Виробництво біметалевих виробів методом зварювання вибухом широко затребуване в світовій промисловості. При цьому за допомогою ЗВ можливе отримання як виробів плоскої форми, так і циліндричної [2]. Проблеми отримання мідно-алюмінієвого біметалу по паралельній схемі досить широко вивчені [3, 4], а питання особливостей отримання біметалевих мідно-алюмінієвих труб в літературі практично не описуються.

Метою цієї роботи було експериментальне дослідження можливості отримання мідно-алюмінієвих трубних заготовок методом зварювання вибухом по «зворотній схемі», зокрема, для виготовлення перехідників з'єднання мідних та алюмінієвих кабелів.

У якості плакуючого шару використовувалися трубки з алюмінію АД1 з товщиною стінки 6 мм, а в якості основи – трубки з міді М2 19×1,5 мм.

Очевидно, що в разі зовнішнього плакування товстостінною алюмінієвою трубою на тонкостінну мідну важливу роль відіграє наповнювач (матеріал всередині мідної трубки), який служить опорою для останньої.

Відомо застосування металевго дробу в якості опори для плакування криволінійних поверхонь лопаток турбін [5] і металевго дробу з рідиною для отримання двошарових трубних заготовок з внутрішнім корозійностійким шаром з нержавіючої сталі 08X18N10T [6]. Заповнення простору між дробинками рідиною дозволяє знизити тиск дробу в зоні її контакту з виробом, що знижує глибину відбитків дробу на внутрішній поверхні труби.

З огляду на те, що мідь досить пластична, а наявність вм'ятин на внутрішній поверхні мід-

ної труби знизить площу контакту з кабелем, це несприятливо позначиться на працездатності виробу в цілому і тому застосування наповнювача з металевго дробу для даного матеріалу є неприйнятним.

Після проведення експериментальної роботи було визначено, що оптимальною схемою зовнішнього плакування для трубних заготовок з м'яких матеріалів, для запобігання їх деформації від впливу вибуху і отримання гладкої внутрішньої поверхні, є схема (рис. 1 а) з використанням сталевго прута, який вставляли з зазором 1 мм, в попередньо заповнену розплавленим сплавом Вуда мідну трубку (рис. 1, б).

Таким чином, це усуває зазор між трубкою і прутком, а після зварювання вибухом дає можливість легко витягти прут шляхом нагрівання до приблизно 70 °С.

За результатами відпрацювання режимів були отримані дослідні біметалічні мідно-алюмінієві заготовки з внутрішнім шаром з міді товщиною 1,5 мм (рис. 2).

Металографічні дослідження проводили за допомогою мікроскопа ММО-1600НА після травлення мікрошліфа по алюмінію в розчині гідроксиду натрію. Мікроструктура з'єднання, яке отримано на оптимальному режимі, показана на рис. 3.

На рис. 3 видно слабо виражений хвильовий профіль, що для випадку зварювання міді з алюмінієм свідчить про те, що енергії досить, і чітко виражена зона з'єднання з невеликою кількістю інтерметалідних включень.

Оскільки стандартні методики для оцінки міцності на відрив шарів біметалічного кільця, вирізаного від трубної заготовки, відсутні, то для якісної оцінки міцності зчеплення шарів була використана відома методика випробуванням біметалевго кільця на сплющування (рис. 4), кільце вирізали з біметалічної трубної заготовки. Випробування проводилися з метою виявлення тріщин і розшарувань в зоні з'єднання під дією навантаження.

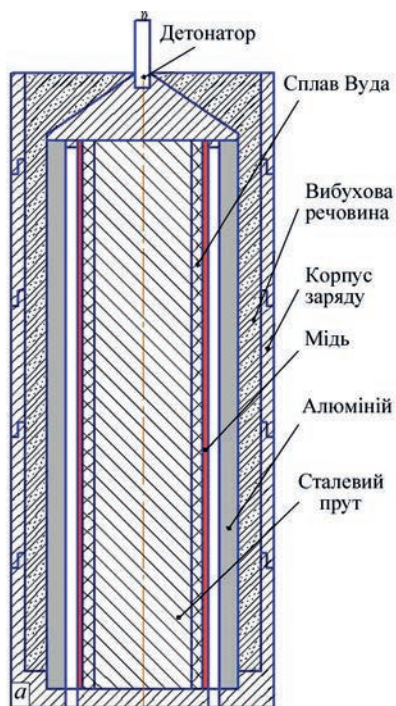


Рис. 1. Схема збірки під зварювання вибухом для отримання біметалічної трубної заготовки (а) та заготовки під зварювання вибухом зі сталевим стрижнем, залитим сплавом Вуда всередині мідної трубки (б)

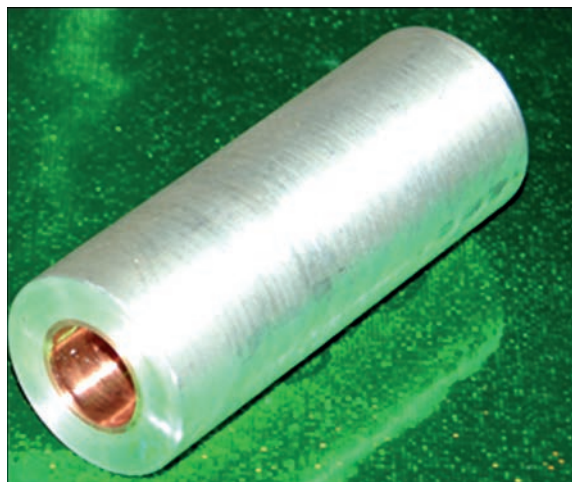


Рис. 2. Зразок біметалічної трубної заготовки (АД1 – зовнішній шар, М2 – внутрішній)

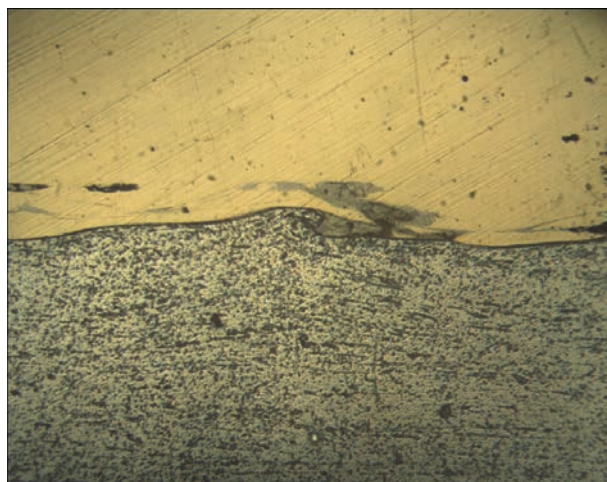


Рис. 3. Мікроструктура (×100) з'єднання, отриманого на оптимальному режимі

З рис. 4 видно, що після стиснення біметалічного кільця розшарування в зоні з'єднання не відбулося.

В результаті проведених досліджень показано, що для зниження деформації зварюваних заготовок від впливу вибуху і отримання гладкої внутрішньої поверхні тонкостінної труби, на яку наноситься інша, при зварюванні вибухом за «зворотною схемою» доцільно використовувати металевий пруток меншого діаметру з заповненням зазору сплавом Вуда.

**Список літератури**

1. Чугунов Е.А., Кузьмин С.В., Лысак В.И. и др. (2001) Энергосберегающие композиционные элементы токоподводящих узлов силовых электрических цепей. *Энергетик*, 9, 13–15.
2. Лысак В.И., Кузьмин С.В. (2005) *Сварка взрывом*. Москва, Машиностроение.

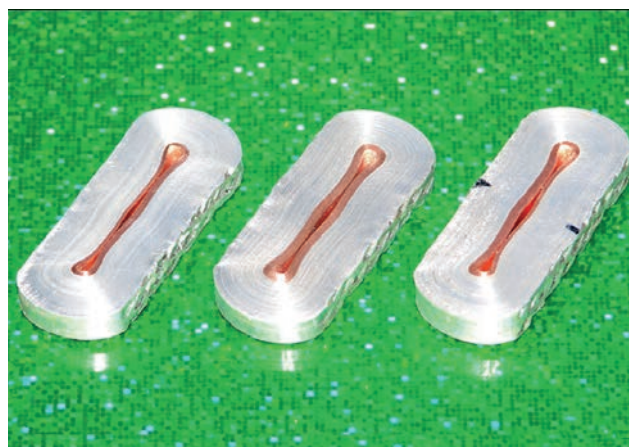


Рис. 4. Зразки кільця, вирізаних з біметалічної трубної заготовки після сплюснення



3. Чувичилов В.А. (2005) *Исследование и разработка технологии изготовления сваркой взрывом композитов электро-технического назначения с двусторонней симметричной плакировкой*. Авт. реф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград.
4. Пеев А.П. (2001) *Разработка технологических процессов изготовления сваркой взрывом медно-алюминиевых элементов токоподводящих узлов для предприятий энергетики и электротехнологии*. Авт. реф. дис. ... канд. техн. наук. Волгоград.
5. Конон Ю.А., Первухин Л.Б., Чудновский А.Д. (1987) *Сварка взрывом*. Москва, Машиностроение.
6. Малахов А.Ю., Сайков И.В., Первухин Л.Б. (2016) Особенности сварки взрывом труб по «обратной схеме». *Вестник Тамбовского университета. Сер.: Естественные и технические науки*, 21, 3, 1139–1141.
2. Lysak, V.I., Kuzmin, S.V. (2005) *Explosion welding*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
3. Chuvichilov, V.A. (2005) *Investigation and development of technology of explosion welding manufacture of electrotechnical purpose composites with two-sided symmetrical cladding*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Volgograd [in Russian].
4. Pееv, A.P. (2001) *Development of technological processes of explosion welding manufacture of copper-aluminium elements of current-conducting assemblies for power engineering and electrometallurgy enterprises*. In: Syn. of Thesis for Cand. of Techn. Sci. Degree. Volgograd [in Russian].
5. Konon, Yu.A., Pervukhin, L.B., Chudnovsky, A.A. (1987) *Explosion welding*. Moscow, Mashinostroenie [in Russian].
6. Malakhov, A.Yu., Sajkov, I.V., Pervukhin, L.B. (2016) Peculiarities of explosion welding of pipes by «reverse scheme». *Vestnik Tambov. Un-ty. Ser: Estestvennye i Tekhnicheskie Nauki*, 21 (3), 1139-1141 [in Russian].

## References

## EXPLOSION WELDING OF COPPER-ALUMINIUM PIPES BY THE «REVERSE SCHEME»

P.S. Shlyonskyi

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

Explosion welding by the «reverse scheme» of pipe billets from copper and aluminium with 36 mm outer diameter and 200 mm length was studied. For welding by this scheme, a steel rod of smaller diameter than that of inner pipe was used as the filler-support for this pipe, and the gap was filled by a low-melting Wood's alloy. 6 Ref., 4 Fig.

*Keywords: explosion welding; «reverse scheme»; bimetal pipes, copper, aluminium*

Надійшла до редакції  
19.06.2010

### Система продувки труб PurgElite

Системи продувки труб PurgElite® від компанії Huntingdon Fusion Techniques (Великобританія) спрощують процес продувки інертним газом, обмежуючи обсяги продувки зварних швів, роблячи величезну економію часу та інертного газу.

Очищення труби перед зварюванням має вирішальне значення для успіху зварювання нержавіючої сталі, титану, цирконію та інших реакційноздатних сплавів. Системи PurgElite просто вставляються в трубу і коли запускається потік газу, балони надуваються, герметизуючи середину труби, потім автоматично продувають аргоном. З'єднання Weld Purge Monitor є стандартним, тому зварник може контролювати вміст кисню в обсязі продувки протягом усього процесу зварювання. Інноваційний клапан регулює потік газу та тиск під час продувки зварного шва, щоб запобігти перегріванню надувних балонів. Теплостійкі чохла з температурою до 300 °C використовуються для захисту надувних балонів.

Демонстраційне відео доступне за посиланням: <https://youtu.be/Q-dSRpVd1s>  
За матеріалами пресрелізу компанії HFT.

