

УДК 621.791.13: 620.17:621.317.33

Стірманов Я. М.

ВИЗНАЧЕННЯ МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК БІМЕТАЛУ АЛЮМІНІЙ-МІДЬ, ОТРИМАННОГО ЗВАРЮВАННЯМ ВИБУХОМ, НА ОСНОВІ ПОБУДОВИ ДІАГРАМИ «ЗУСИЛЛЯ–ДЕФОРМАЦІЯ»

Особлива роль серед нових матеріалів належить шаруватим металевим композиціям, що володіють новими властивостями, відмінними від вихідних матеріалів. Шаруваті композиції, що із двох або більше шарів, одержують усе більше розповсюдження через їхні унікальні властивості й суперечливі механічні характеристики [1]. Шаруваті метали підвищують надійність і довговічність великого класу деталей, агрегатів і обладнання, дозволяють значно скоротити час, що витрачається на їхнє виготовлення, заощаджувати дефіцитні матеріали і стимулює вдосконалення існуючих і розробку нових технологій.

На сьогодні метод виготовлення багатошарових металів зварюванням вибухом займає особливе місце, через його ефективність і економію [1–3]. Широкого застосування набули багатошарові метали на основі міді й алюмінію [2]. Так як, шаруваті метали, що з'єднують зварюванням вибухом, отримують значне зміцнення, особливо в шарах, що безпосередньо прилягають до зони приварювання. Тому, композиція повинна пройти термообробку, для подальшої обробки тиском чи різанням.

Однак, для подальшої обробки і використання важливим є знання механічних, електричних і структурних властивостей біметалу. Частково подібні дослідження проводилися. Але вони торкнулися лише дослідження структури зварного шва [4–6], структури шаруватих композитів [5–7] і основних електричних параметрів [8]. Але, незважаючи на цінність отриманої інформації, поза увагою залишено механічні властивості, а також вплив на них температурного режиму і часу відпалу, який зазвичай необхідно проводити після отримання біметалу алюміній-мідь зварюванням вибухом перед подальшим використанням.

Метою даної роботи є визначення основних механічних характеристик біметалу алюміній-мідь на основі отримання кривих розтягнення, в координатах «зусилля-деформація», зразків шаруватого металу, що були піддані відпалу з різним температурним і часовим режимом, а також визначення режиму термообробки композиту який забезпечить оптимальні механічні властивості для подальшого використання і обробки.

Зразки, що використовуються в дослідях, складаються з основи – алюмінію і плакуючого шару – міді. Даний біметал у середньому має більш високу міцність ніж алюміній, пластичніший (на 35–40 %) і легше (на 40–60 %) ніж мідь. Однак подібне поліпшення властивостей залежить не тільки від товщин шарів складових компонентів, а й від ряду інших факторів: величини зміцнення отриманої при з'єднанні (вибухом або прокаткою), температурного режиму й тривалості відпалу, стану структури звареного шва (наявність включень і інтерметалідів) і ін. Усі перераховані вище параметри необхідно враховувати при подальшій обробці щоб уникнути одержання неякісної продукції.

Для визначення механічних властивостей було проведено розтягання біметалічних зразків алюміній-мідь згідно з методикою описаної в ГОСТ 1497-84, доповненої й уточненої згідно з наявним обладнанням і особливостей випробування.

Зразки отримували з біметалічної пластини алюміній-мідь отриманої зварюванням вибухом. Після випилювання зразків була проведена чорнова шліфівка наждачними шкурками. Геометричні розміри зразків представлені на рис. 1. Зовнішній вигляд зразків представлено на рис. 2. Відпалюємо зразки при температурах 150 °С, 300 °С і 450 °С з витримкою 1, 2 і 5 годин.

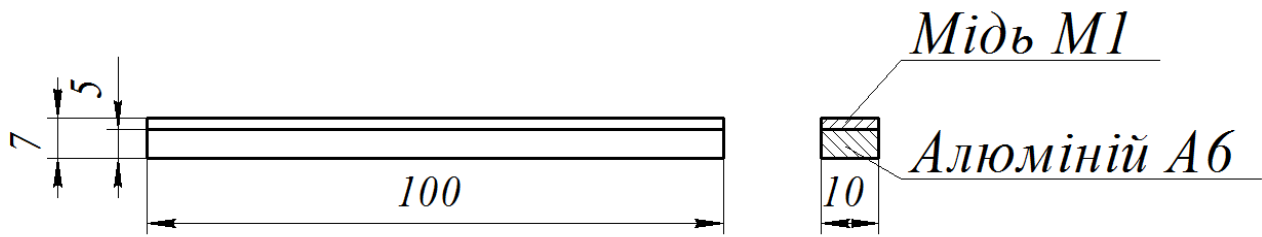


Рис. 1. Геометричні розміри зразків для розтягування



Рис. 2. Зовнішній вигляд зразків для розтягання

Отримані зразки розтягуємо на універсальній машині типу УМЕ-10ТМ.



Рис. 3. Зразок, закріплений у затискачах для плоских заготовок універсальної машини УМЕ-10ТМ

Зусилля деформації визначаємо з показань приладу, записаних у вигляді діаграми на папері. Контроль показань проводимо по відеозапису показань вимірювального табло (один відеозапис на 4 випробування).

Подовження визначаємо по діаграмі паперового носія. Контроль проводимо по зразках (один зразок на 4 випробування), довжину яких вимірювали після кожного їх навантаження до певної величини (8–10 навантажень). Також контроль проводився для всіх зразків шляхом вимірювання кінцевої довжини зразків після розтягнення (рис. 4).

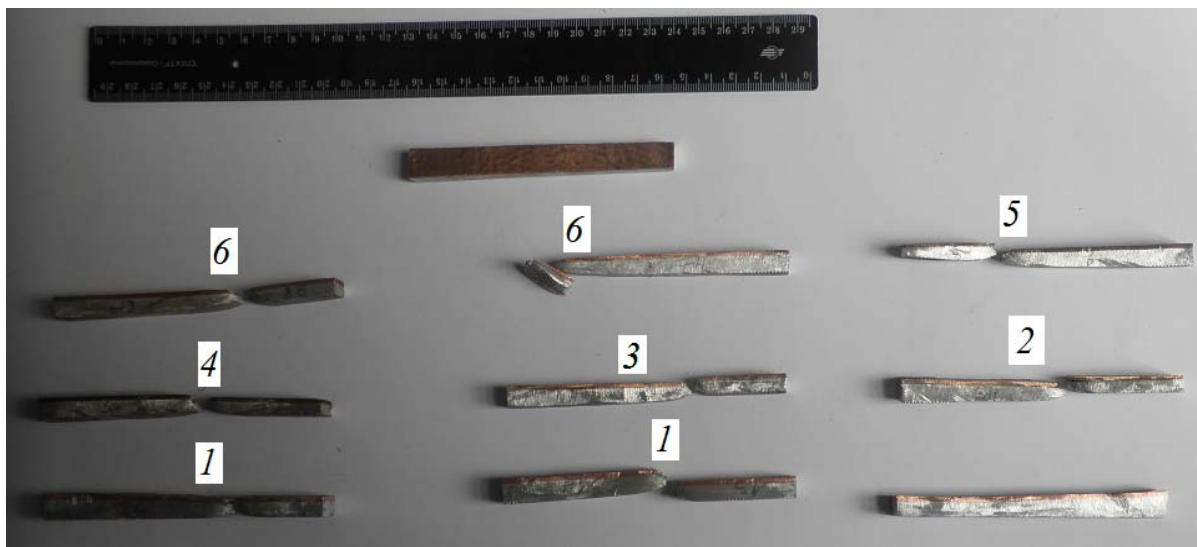


Рис. 4. Зразки після випробування

Відносне подовження визначаємо за допомогою формули:

$$\delta = \frac{l_k - l_0}{l_0} \cdot 100\%, \quad (1)$$

де l_k – кінцева розрахункова довжина зразка;

l_0 – початкова розрахункова довжина зразка;

Згідно отриманих при розтяганні біметалічних зразків експериментальних даних будемо графіки залежностей у координатах «зусилля деформації – відносне подовження». На графіках показана залежність відносного подовження від зусилля при розтяганні біметалічного зразка алюміній-мідь отриманого зварюванням вибухом (рис. 5).

Для визначення межі міцності, межі плинності й межі пропорційності користуємося формулами (2)–(4).

Межу пропорційності ($\sigma_{пц}$), кгс/мм², обчислюємо по формулі:

$$\sigma_{пц} = \frac{P_{пц}}{F_0}, \quad (2)$$

де, $P_{пц}$ – це зусилля деформації, при якому відступ від лінійної залежності на графіку розтягнення досягає такої величини, що тангенс нахилу, утвореного дотичною до кривої «зусилля – подовження» в точці пропорційності з віссю зусиль збільшується на 50 % від свого значення;

F_0 – початкова площа поперечного перерізу зразка;

Межу плинності $\sigma_{0,2}$, кгс/мм², обчислюємо по формулі:

$$\sigma_{0,2} = \frac{P_{0,2}}{F_0}, \quad (3)$$

де $P_{0,2}$ – зусилля, що відповідає вершині першого піку перед зареєстрованому перед початком плинності робочої частини зразка.

Межу міцності σ_B кгс/мм², обчислюємо по формулі:

$$\sigma_B = \frac{P_{\max}}{F_0}. \quad (4)$$

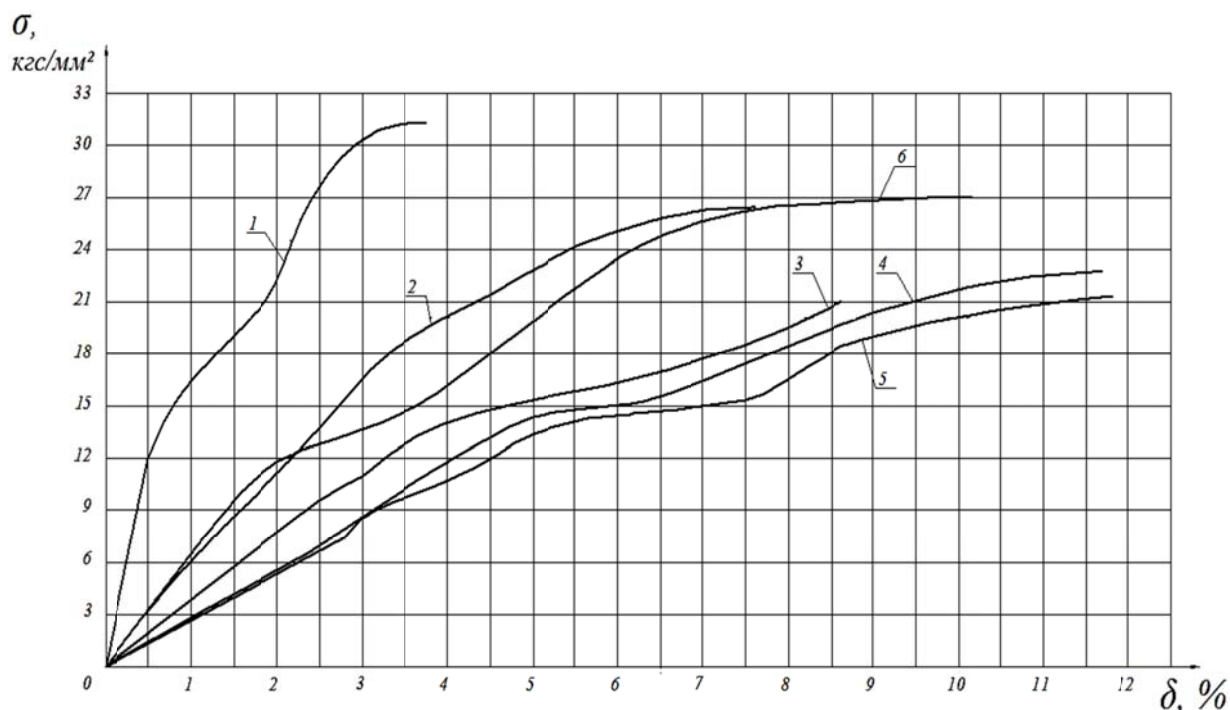


Рис. 5. Криві розтягання біметалічних зразків алюміній-мідь з різними режимами термообробки і без неї:

- 1 – без термообробки;
- 2 – відпал зразка при температурі 150°C протягом 2 годин;
- 3 – відпал зразка при температурі 150°C протягом 5 годин;
- 4 – відпал зразка при температурі 300°C протягом 2 годин;
- 5 – відпал зразка при температурі 300°C протягом 5 годин;
- 6 – відпал зразка при температурі 450°C протягом 1 години.

Розрахунок, відповідно до формул (2)–(4), проводимо для всіх типів зразків, і середньоарифметичні результати заносимо в табл. 1.

Проводимо також теоретичний розрахунок основних механічних характеристик біметалу алюміній-мідь і порівнюємо отримані дані з експериментальними.

Для теоретичного визначення механічних властивостей біметалу (межа пропорційності, межа плинності, межа міцності, відносне подовження) використовуємо просту математичну залежність властивостей від товщини шарів (товщина мідного шару – 2 мм, товщина алюмінієвого – 5 мм). Відповідно товщина алюмінію в 2,5 рази більше ніж товщина міді:

$$\sigma_x^T = \frac{\sigma_x^{\text{мідь}} + 2,5\sigma_x^{\text{алюміній}}}{3,5}, \quad (5)$$

де σ_x^T – відповідний теоретичний шуканий параметр, кгс/мм²;

$\sigma_x^{\text{мідь}}$ – відомий параметр механічних властивостей міді, кгс/мм²;

$\sigma_x^{\text{алюміній}}$ – відомий параметр механічних властивостей алюмінію, кгс/мм²;

Розрахунок, відповідно до формули (5) проводимо для всіх типів зразків, і середньоарифметичні результати заносимо в табл. 1.

Таблиця 1

Основні механічні властивості біметалу алюміній-мідь, що отримані експериментальним і теоретичними шляхами

№	Термічна обробка	$\sigma_{тц}$, кгс/мм ²		$\sigma_{0,2}$, кгс/мм ²		σ_B , кгс/мм ²		δ , %	
		Теор.	Експ.	Теор.	Експ.	Теор.	Експ.	Теор.	Експ.
1		11,8	14,86	21,29	22,14	30,29	31,43	5,3	3,76
2	Відпал при 150°C протягом 2 годин	11	13,13	15,71	18,64	25,3	28,57	8,2	7,61
3	Відпал при 150°C протягом 5 годин	10	13,2	14,8	16,3	24,3	22,8	10,7	8,63
4	Відпал при 300°C протягом 2 годин	9,1	11,1	13,92	16,5	23,93	25,4	14,4	11,68
5	Відпал при 300°C протягом 5 годин	7,5	8,74	11,43	16,88	21,86	25	18,2	11,68
6	Відпал при 450°C протягом 1 години	6,8	11,01	10,7	14,38	20,36	27,15	22,1	10,15

Відповідно до експериментально отриманих даних бачимо, що характеристики міцності і пластичності залежать від тривалості й температури нагрівання при термічній обробці.

Критична розбіжність величин для 6-го випадку пояснюється тим що, алюміній має властивості термічно зміцнюватися при відпалі після холодної деформації, і крім основного процесу – рекристалізації, може протікати побічний процес – часткове загартування з наступним старінням [9]. Саме загартуванням алюмінію пояснюється різке підвищення міцності і зниження пластичності біметалу при високій температурі відпалу. Дане зміцнення не є негативним процесом, а навпаки дає можливість поліпшити властивості матеріалу.

Оптимальними характеристиками пластичності й міцності має зразок, що був підданий рекристалізаційному відпалу при 450 °C і витримці одна година. Зразок має (крива № 6) високу пластичністю (після відпалу пластичність підвищилася в 2,5 рази, а міцнісні характеристики після відпалу понизилися всього на 15 %). Даний варіант термічної обробки є оптимальним для одержання необхідно високої міцності матеріалу, який при цьому одержує підвищення пластичності, що є важливим для подальшої обробки тиском.

Після зіставлення теоретичних і експериментальних результатів бачимо, що точно визначити механічні характеристики композиційного матеріалу теоретично неможливо й відповідно практичне визначення властивостей виходить на передній план.

ВИСНОВКИ

На базі експериментально отриманих даних побудовані криві, що описують залежність відносного подовження від зусилля деформації для біметалу алюміній-мідь із різним режимом термообробки. Визначені механічні властивості можуть використовуватися практично, при побудові технічного процесу обробки біметалу алюміній-мідь. Оптимальними характеристиками пластичності й міцності володіє зразок, що був підданий рекристалізаційному відпалу при температурі 450 °C і витримці одна година. Результатом порівнянн експериментально отриманих даних з теоретичними є чітке бачення того, що зварювання вибухом значно і непрогнозовано впливає на структурні і механічні властивості зварної зони і самого біметалу, що вимагає ретельного визначення властивостей матеріалу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Драгобецький В. В. Особливості оптимізації технології виробництва листових заготовок / В. В. Драгобецький, О. В. Пирогов // Наукові нотатки. Міжвузівський збірник. – Луцьк, 2001. – № 9. – С. 146–161.
2. Драгобецький В. В. Использование взрывной обработки для получения деталей из слоистых металлических композиций / В. В. Драгобецький, Е. В. Шаповал // Вестник Харьковского политехнического университета. Обработка металлов давлением. – Харьков : ХГПУ, 1999. – № 76. – С.32–34.
3. Пат. 70888 Україна, МПК(2012.01) В23К 20/00. Спосіб отримання шаруватих композиційних матеріалів вибухом / Драгобецький В. В., Наумова О. О., Голдун М. Ю., Троцько О. В., Стірманов Я. М. – заявл. 22.12.2011; опубл. 25.06.2012, Бюл. № 12.
4. Стірманов Я. М. Влияние термообработки на качество металлического соединения разнородных металлов, изготовленных сваркой взрывом / Я. М. Стірманов, Р. Г. Пузир // Матеріали ХХ Міжнар. наук.-практ. конф. студентів, аспірантів та молодих учених «Актуальні проблеми життєдіяльності суспільства», 25–26 квітня 2013 р. – Кременчук : КрНУ, 2013. – С. 98–100.
5. Кузьмин С. В. Исследование свариваемости взрывом, структуры и свойств медно-алюминиевого биметалла / С. В. Кузьмин, В. И. Лысак, А. П. Пеев // Изв. ВолгГТУ. Серия «Сварка взрывом и свойства сварных соединений». – Волгоград : ВолгГТУ, 2006. – Вып. 2, № 9. – С. 37–45.
6. Влияние параметров термомеханической обработки биметаллов Cu-Al на их структурно-фазовое состояние / В. Н. Воеводин, Ю. Н. Ильченко, Ю. С. Диденко, [и др.]. // Вопросы атомной науки и техники, 2007. – № 6. – С. 139–141.
7. Трыков Ю. П. Влияние горячей прокатки на свойства сваренного взрывом трехслойного титано-стального композита / Ю. П. Трыков, О. В. Слаутин, Д. Ю. Донцов // Изв.вуз. Черная металлургия, 2007. – №1. – С. 68–69.
8. Энергосберегающие композиционные элементы токоподводящих узлов силовых электрических цепей / Е. А. Чугунов, В. И. Лысак, С. В. Кузьмин [и др.]. // Энергетик. – 2001. – № 9. – С. 13–15.
9. Новиков И. И. Теория термической обработки металлов. Учебник / И. И. Новиков. – М. : Металлургия, 1978. – 392 с.

REFERENCES

1. Dragobec'kij V. V. Osoblivosti optimizacii tehnologii virobniictva listovih zagotovok / V. V. Dragobec'kij, O. V. Pirogov // Naukovi notatki. Mizhvuziv's'kij zbirnik. – Luc'k, 2001. – № 9. – S. 146–161.
2. Dragobec'kij V. V. Ispol'zovanie vzryvnoj obrabotki dlja poluchenija detalej iz sloistyh metalli-cheskih kompozicij / V. V. Dragobec'kij, E. V. Shapoval // Vestnik Har'kovskogo politehnicheskogo universite-ta. Obrabotka metallov davleniem. – Har'kov : HGPU, 1999. – № 76. – S.32–34.
3. Pat. 70888 Ukraïna, MPK(2012.01) V23K 20/00. Sposib otrimannja sharuvatih kompozicijnih materialiv vibuhom / Dragobec'kij V. V., Naumova O. O., Goldun M. Ju., Troc'ko O. V., Stirmanov Ja. M. – zajavl. 22.12.2011; opubl. 25.06.2012, Bjul. № 12.
4. Stirmanov Ja. M. Vlijanie termoobrabotki na kachestvo metallichesкого soedinenija raznorodnyh metallov, izgotovlennyh svarkoj vzryvom / Ja. M. Stirmanov, R. G. Puzir // Materiali HH Mizhnar. nauk.-prakt. konf. studentiv, aspirantiv ta molodih uchenih «Aktual'ni problemi zhittedijal'nosti suspil'stva», 25–26 kvitnja 2013 r. – Kremenчук : KrNU, 2013. – S. 98–100.
5. Kuz'min S. V. Issledovanie svarivaemosti vzryvom, struktury i svojstv medno-aljuminievogo bimetalla / S. V. Kuz'min, V. I. Lysak, A. P. Peev // Izv. VolgGTU. Serija «Svarka vzryvom i svojstva svarnyh soedinenij». – Volgograd : VolgGTU, 2006. – Vyp. 2, № 9. – С. 37–45.
6. Vlijanie parametrov termomehanicheskoj obrabotki bimetallov Cu-Al na ih strukturno-fazovoe sostojanie / V. N. Voevodin, Ju. N. Il'chenko, Ju. S. Didenko, [i dr.]. // Voprosy atomnoj nauki i tehniki, 2007. – № 6. – S. 139–141.
7. Trykov Ju. P. Vlijanie gorjachej prokatki na svojstva svarennoho vzryvom trehslojnogo titano-stal'nogo kompozita / Ju. P. Trykov, O. V. Slautin, D. Ju. Doncov // Izv.vuz. Chernaja metalurgija, 2007. – №1. – S. 68–69.
8. Jenergosberegajushhie kompozicionnye jelementy tokopodvodjashhijh uzlov silovyh jelektricheskijh cepej / E. A. Chugunov, V. I. Lysak, S. V. Kuz'min [i dr.]. // Jenergetik. – 2001. – № 9. – S. 13–15.
9. Novikov I. I. Teorija termicheskoj obrabotki metallov. Uchebnik / I. I. Novikov. – M. : Metallur-gija, 1978. – 392 s.

Стірманов Я. М.

– аспірант КрНУ ім. М. Остроградського

КрНУ ім. М. Остроградського – Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського, м. Кременчук.

E-mail: stirmanov.yaroslav@yandex.ru

Стаття надійшла до редакції 19.02.2014 р.