

УДК 621.777.01

Б. П. СЕРЕДА, Ю. О. БЕЛОКОНЬ, І. В. КРУГЛЯК, О. В. ХАРЧЕНКО, Д. О. КРУГЛЯК, Д. Б. СЕРЕДА

РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЮЧОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ОТРИМАННЯ ІНТЕРМЕТАЛІДНИХ СПЛАВІВ В УМОВАХ СВС-ПРЕСУВАННЯ

Запропонована технологія СВС-пресування при виробництві інтерметалідних сплавів є конкурентоспроможною, ресурсо- та енергозберігаючою, дає змогу отримувати заготовки з жароміцних і жаростійких матеріалів з заданими службовими характеристиками правильної та контрольованої форми. Встановлено, що при збільшенні зусилля пресування до 70 тонн, витримці 20 с та дисперсності порошку титану 80 мкм пористість отриманого зразку зменшується до показника 1...3%.

Ключові слова: СВС-пресування, інтерметалідний сплав, пористість, структура.

Вступ. На сьогоднішній день для України актуальною є розробка нових технологій, що забезпечують отримання нових матеріалів необхідних експлуатаційних характеристик при мінімальному часі їх формування. Такими технологіями можуть служити способи отримання інтерметалідів на основі високотемпературного синтезу (СВС). Силове СВС-компактування є одним із різновидів СВС-технології [1]. Це тип технології, в якому гарячі пористі продукти СВС, які ще не встигли охолонути, ущільнюються зовнішніми силовими діями (пресуванням, екструзією, прокаткою, обробкою вибухом) [2].

Мета роботи – отримання безпористих інтерметалідних сплавів і виробів заданої форми з використанням пластичних властивостей продукту синтезу при високих температурах.

Технологія СВС-пресування починається з вибору і підготовки початкової сировини, її характеристик, які в свою чергу впливають на якість кінцевого матеріалу, одержуваного при СВС-пресуванні [1]. До основних показників, що характеризують вихідні матеріали відносяться: дисперсність, вміст домішок (особливо домішок, схильних до газифікації в процесі горіння), форма частинок, забруднення домішками адсорбованими, механічними і розчиненими.

Далі послідовність операцій в технології СВС-пресування будується відповідно до часової діаграми СВС-пресування (рис. 1.2.).

Час запалення t_1 варіюється в межах 0,3...0,7 с і залежить від потужності електричного імпульсу на запалюючу спіраль і від екзотермічності шихти. Час проходження по шихтовій заготовці хвилі горіння $t_2 - t_1$ складає 0,5...15 с і визначається теплофізичними і хіміко-кінетичними характеристиками шихти. Час затримки пресування $t_3 - t_2$ складає 1...5 с і пов'язане з часом протікання процесів дегазації і охолодження

пресуємої маси шихти. Затримка пресування необхідна, в першу чергу, для проходження процесів дегазації продуктів СВС перед їх ущільненням. Ранній початок деформації пористої гарячої заготовки приводить до закупорення газів, що виділяються з адсорбованого і розчиненого стану, а також з газифікуючих домішок. Таке закупорення перешкоджає ефективному ущільненню матеріалу, збільшує його залишкову пористість і змінює його хімічний склад. При дуже великих значеннях часу затримки температура пористих продуктів СВС може знизитися так значно, що рідка фаза в них частково або повністю затвердіє і повне їх ущільнення стане неможливим. Час витримки гарячого синтезованого зразка під тиском $t_4 - t_3$ залежить від складу шихти, швидкості охолодження зразка і складає 3-120 с. Збільшення часу витримки під тиском покращує фізико-механічні властивості компактованого СВС-матеріалу. Проте, на відміну від методів традиційної порошкової металургії, при СВС-компактуванні для кожного матеріалу існує цілком певне значення часу витримки, перевищення якого приводить до руйнування зразка. Це пояснюється тим, що синтезована заготовка в процесі пресування знаходиться в істотно неізотермічних умовах.

Тиск до пресування P_0 або попередній тиск, створюваний на шихтовій заготовці перед її запаленням, також повинен бути оптимальним. Використовування сипкого теплоізолятора, що виконує роль середовища, яке передає тиск і дозволяє відводити газу, що виділяється, приводить до існування критичного значення тиску до пресування. Це пов'язано з тією обставиною, що частинки піску мають вкрай низьку міцність на роздавлювання. При перевищенні критичного значення P_0 відбувається подрібнення піщаного середовища, що приводить до різкого погіршення умов дегазації зразку внаслідок зменшення каналів фільтрації між частинками піску.

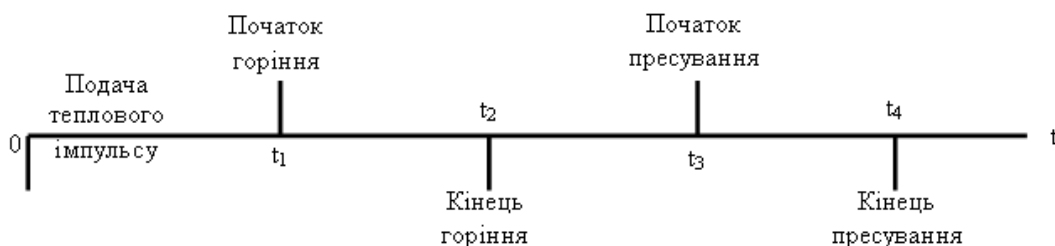


Рис. 1 – Часова діаграма процесу СВС-пресування

Схема обладнання при проведенні процесу СВС-пресування представлена на рис. 2. У якості реакційного середовища, використовувалися суміші порошоків дисперсністю 80...200 мкм наступних матеріалів:

Al – алюміній марки АСД1 (ТУ 48-5-226-82);

Ti – титан марки ПТХ5-1 (ТУ 113-12-132-83).

Процеси підготовки порошоків до пресування займають досить важливе місце в загальній схемі виробництва інтерметалідів [3].

Основними операціями при підготовці порошоків до пресування є сушка, розсів і змішування.

Перед змішуванням суміші порошоків просували при температурі 75...120 °С протягом 1...3 год. З метою одержання порошоків із частками певного розміру роблять так звану класифікацію або розсів порошоків.

Змішування порошоків проводилося в барабанному млині протягом 2..4 годин залежно від маси шихти. Співвідношення компонентів обиралось за стехіометричними розрахунками.

Підготовлену таким чином, ретельно перемішану реакційну суміш, зважену на електронних терезах, засипали в реактор. Для компактування початкових заготівель застосовувався прес ПСУ-125.

Експериментальні криві ущільнення і результати моделювання пресування синтезованого продукту дозволяють зафіксувати чотири чітко виражених зони, що визначають стадійність структуроутворення при СВС-пресуванні [4, 5].

Перша стадія пресування – від насипної щільності (характеристика вихідного матеріалу) до щільності порового рівня, характеризується переважно структурною деформацією, переукладкою частинок, зміною порового простору. Ущільнення порошкової суміші відбувається за рахунок зменшення обсягів повітряних включень у матеріалі і закриття макропор. Наявність цієї стадії обумовлена властивостями стисливості порошкового матеріалу. Щільність зразка також відіграє важливу роль у можливості здійснення режиму теплового

самозаймання. Режим об'ємного теплового вибуху спостерігається тільки для зразків високої щільності 55...70%.

Друга стадія – стадія теплового самозаймання – відбувається стрибкоподібне зростання відносної щільності, що свідчить про деяке самоущільнення γ -TiAl сплаву в процесі синтезу, мабуть, під дією сил поверхневого натягу. Відбувається початкова стадія структуроутворення алюмініду титану – плавлення алюмінію, викликане тепловим імпульсом, і його подальше розтікання по капілярно-каналах пористого середовища. Подальша дифузія атомів алюмінію в грати частинок титану призводить до зародження в дифузійній зоні інтерметалідних з'єднань TiAl₃ [4]. Пористість інтерметаліду після завершення синтезу становить 30%. Мікроструктура отриманих зарзків представлена на рис. 3, а, б.

Третя стадія ущільнення характеризується структурною деформацією. Гранична щільність стадії 85... 92%. У системі, яка містить 39,6% мас. Al, шар, що раніше утворився обмежує переміщення атомів алюмінію в титановий матеріал. При цьому відбувається нарощування шару TiAl₃, що призводить до збіднення алюмінієвої маси і подальшого зародження моноалюмініду титану [5]. При поширенні процесу вглиб титанової маси концентрація алюмінію зменшується, що стає причиною зародження інтерметаліду TiAl. Мікроструктура зразка в процесі зародження інтерметаліду TiAl на третій стадії процесу представлена на рис. 3, в.

Четверта стадія – заключна стадія структуроутворення. Відбувається вирівнювання складу інтерметалідних шарів, в першу чергу завдяки перекристалізації TiAl₃ в TiAl і вторинному структуроутворенню Ti₃Al в результаті розчинення внутрішнього титанового ядра. В останній стадії ущільнення, щільність пресування досягає 98... 99% від теоретичної, що відповідає вимогам, пропонованим до сильнозавантаженим деталям. Залишкова пористість інтерметаліду становить 1... 3%. Мікроструктура зразка після завершення процесу СВС-пресування представлена на рис. 3, г.

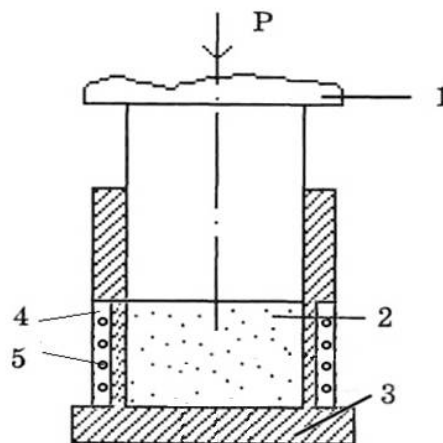
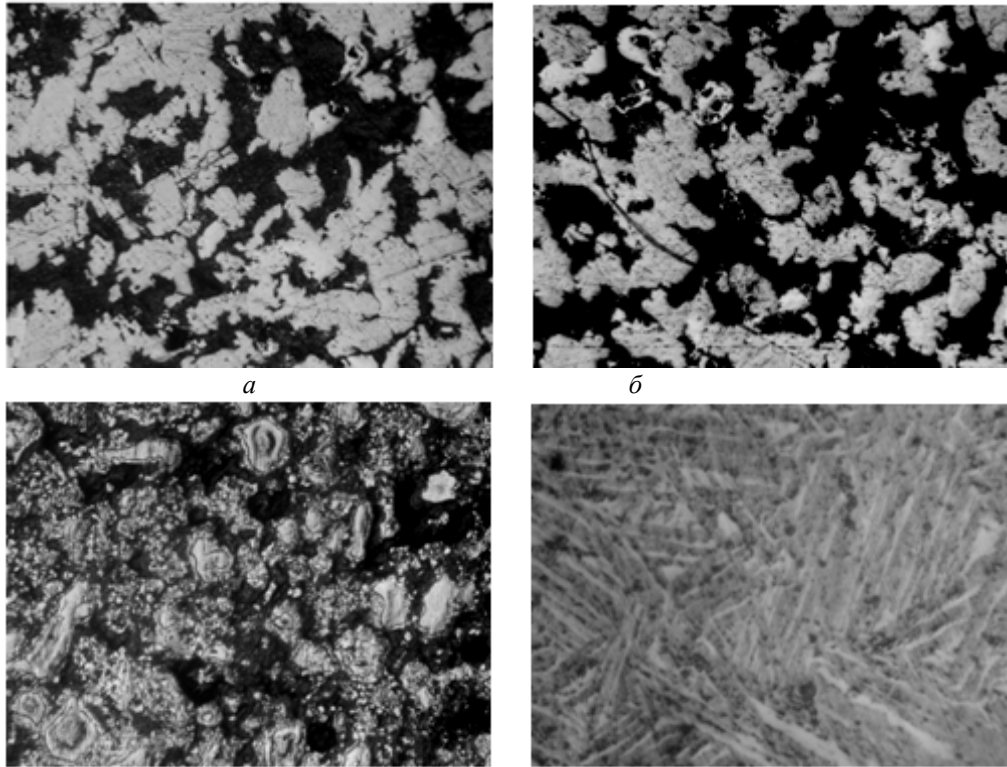


Рис. 2 – Принципова схема обладнання при СВС-пресуванні:
1 – пуансон; 2 – шихта СВС; 3 – пресформа; 4 – теплоізоляційний матеріал 5 – нагрівальний пристрій.



62

Рис. 3 – Мікроструктура зразка інтерметалідного сплаву TiAl, $\times 100$: а, б – друга стадія СВС-пресування; в – третя стадія; г – четверта стадія

Аналіз отриманих експериментальних даних дозволяє запропонувати наступний механізм пресування продуктів високотемпературного реагування в режимі СВС. Після проходження теплового синтезу в шихтовій заготовці матеріал являє собою високопористу систему, що складається з утворених зерен тугоплавкої фази, рідкофазної складової (при наявності у вихідній суміші компонента, що має температуру плавлення нижче температури синтезу) і вихідних компонентів, які не встигли вступити в реакцію у фронті і повільно продовжують реагувати. У початковий момент пресування ущільнення матеріалу, обумовлене взаємним ковзанням утворених зерен один щодо одного і їх укладанням з максимально можливою для даних умов щільністю, відбувається з дуже великою швидкістю. Роль мастила в цьому випадку виконує рідка фаза. Іноді це може бути і не встиг вступити у взаємодію компонент реакційної суміші.

Процес усадки матеріалу в результаті прослизання і аккомодатії зерен протікає при малих навантаженнях і в надзвичайно короткі проміжки часу, а після його завершення ущільнення системи можливе лише при пластичній деформації зерен.

При збільшенні часу пресування починається пластичне деформування матеріалу. На цій стадії утворилися зерна тугоплавких сполук ростуть, зливаються і деформуються під прикладеним тиском, в результаті чого відбувається різке закупорювання пор, а загальний рівень пористості матеріалу падає.

За остаточне ущільнення матеріалу відповідає процес дифузійного заплівання пір, швидкість якого

в значній мірі залежить від температури матеріалу і характеристик рідкої фази. При низькій температурі або в відсутність рідкої фази усадка матеріалу за рахунок дифузійного заліковування пористості може бути незначною або не відбувається взагалі.

Слід зазначити, що поділ процесу СВС-пресування на стадії досить умовно, тому що на кожній з них одночасно протікають всі процеси, що визначають ущільнення матеріалу. Мова йде тільки про переважне внесок кожного процесу в загальне ущільнення продукту синтезу на тій чи іншій стадії пресування.

З метою вивчення залежності пористості інтерметалідів від зусилля пресування, дисперсності порошку Ti та часу витримки використовуємо повний факторний експеримент з використанням основним рівнем за матричним методом.

Першим чинником (X_1) обираємо зусилля пресування (P , тонни), другим чинником (X_2) впливу є дисперсність порошку Ti (D , мкм), третім (X_3) – час витримки (τ , сек). Параметр оптимізації (Y) – пористість інтерметалідного сплаву після ($Pd\%$).

Аналіз отриманої залежності (рис. 4) показує, що при збільшенні зусилля пресування від 20 до 70 т. пористість стає меншою і досягає показників менше 5%. При збільшенні зусилля пресування та витримки до 20 сек. пористість також стає меншою. При збільшенні зусилля пресування до 70 тонн, витримці 20 с та зменшення дисперсності порошку Ti до 80 мкм. пористість отриманого зразку зменшується до показника 1...3%.

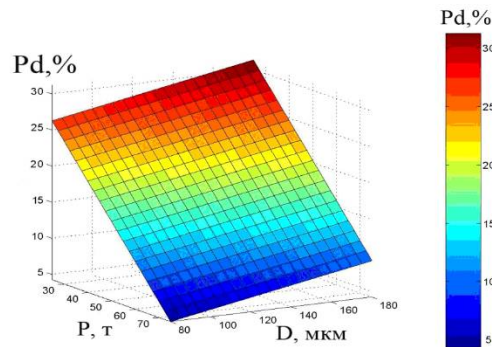


Рис. 3 – Вплив зусилля пресування та дисперсності порошку Ті на пористість інтерметаліду ТiAl.

Висновки. Запропонована технологія СВС-пресування при виробництві інтерметалідних сплавів є конкурентоспроможною, ресурсо- та енергозберігаючою, дає змогу отримувати заготовлі з жароміцних і жаростійких матеріалів з заданими службовими характеристиками правильної та контрольованої форми. Це все рекомендує розроблену технологію до промислового використання при отриманні деталей газотурбінних двигунів.

Список літератури: 1. Мержанов, А. Г. Процессы горения и синтеза материалов / А. Г. Мержанов. – Черногловка: ИСМАН, 1998. – 512 с. 2. Амосов, А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 567 с. 3. Левашов, Е.А. Физико-химические и технологические основы самораспространяющегося высокотемпературного синтеза / Е.А. Левашов, А.С. Рогачев, В.И. Юхвид, И.П. Боровинская. – М.: БИНОМ, 1999. – 176 с. 4. The Processes Research of Structurization of Titan Aluminides Received by SHS / B. Sereda, I. Kruglyak, A. Zherebtsov, Y. Belokon' // Material Science & Technology. – Pittsburg, USA. – 2009. – P. 2069-2073.

5. Sereda, B. The Modeling and Processes Research of Titan Aluminides Structurization Received by SHS Technology / B. Sereda, A. Zherebtsov, Y. Belokon' // TSM-2010 Annual Meeting and Exhibition. – Seattle, USA. – 2010. –P. 99-105.

Bibliography (transliterated): 1. Merzhanov, A. G.. Protsessy goreniya i sinteza materialov. Chernogolovka: ISMAN, 1998. Print. 2. Levashov, E.A., Rogachev, A.S., Yukhvid, V.I. and Borovinskaya I.P. Fiziko-khimicheskie i tekhnologicheskie osnovy samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza. Moscow: BINOM, 1999. Print. 3. Amosov, A. P., Borovinskaya, I. P. and Merzhanov, A. G. Poroshkovaya tekhnologiya samorasprostranyayushchegosya vysokotemperaturnogo sinteza materialov. Moscow: Mashinostroenie-1, 2007. Print. 4. Sereda, B., Kruglyak, I., Zherebtsov, A. and Belokon' Y. (2009) "The Processes Research of Structurization of Titan Aluminides Received by SHS" Material Science & Technology. Pittsburg, USA. 2009. 2069-2073. Print. 5. Sereda, B., Zherebtsov, A. and Belokon' Y. (2010) "The Modeling and Processes Research of Titan Aluminides Structurization Received by SHS Technology" TSM-2010 Annual Meeting and Exhibition. Seattle, USA. 2010. 99-105. Print.

Надійшла (received) 25.11.2015

Відомості про авторів / About the Authors

Середа Борис Петрович – доктор технічних наук, професор, м. Запоріжжя; тел.: (066) 2948943; e-mail: seredabp@rambler.ru.

Белоконь Юрій Олександрович – кандидат технічних наук, докторант, Запорізька державна інженерна академія; тел.: (096) 1129554; e-mail: belokonura@rambler.ru.

Кругляк Ірина Василівна – кандидат технічних наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри обробки металів тиском, тел.: (066) 1031727; e-mail: krugly@ukr.net.

Харченко Олександр Вікторович – кандидат технічних наук, доцент, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри металургії чорних металів, тел.: (050) 4819448; e-mail: odds@i.ua.

Кругляк Дмитро Олександрович – кандидат технічних наук, Запорізька державна інженерна академія, доцент кафедри обробки металів тиском, тел.: (067) 3553463; e-mail: krugly@ukr.net.

Середа Дмитро Борисович – Запорізька державна інженерна академія, аспірант кафедри металургії чорних металів, тел.: (063) 2260817; e-mail: seredadb@rambler.ru.

Sereda Boris Petrovich – Doctor of Technical Sciences, Full Professor, Zaporozhye, tel.: (066) 2948943; e-mail: seredabp@rambler.ru.

Belokon' Yuri Aleksandrovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Doctoral student, Zaporozhye State Engineering Academy, tel.: (096) 1129554; e-mail: belokonura@rambler.ru.

Kruglyak Irina Vasylevna – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Zaporozhye State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Metal Forming, tel.: (066) 1031727; e-mail: krugly@ukr.net.

Kharchenko Aleksandr Viktorovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Zaporozhye State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Ferrous Metallurgy, tel.: (050) 4819448; e-mail: odds@i.ua.

Kruglyak Dmitry Olegovich – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Zaporozhye State Engineering Academy, Associate Professor at the Department of Metal Forming, tel.: (067) 3553463; e-mail: krugly@ukr.net.

Sereda Dmytro Borisovich – Zaporozhye State Engineering Academy, graduate student of ferrous metals, tel.: (063) 2260817; e mail: seredadb@rambler.ru.