

D.V. Savelov, V.V. Dragobetsky, A.D. Konovalenko. Proceedings of the 3rd International Academic Conference «Applied and Fundamental Studies», 2013, С. 90–96.

Bibliography (transliterated): 1. Poroshkovaya metallurgiya P. P. Kiparisov, G.A. Libenson. – Moskva: Metallurgiya, – 1980. – 496 p. 2. Osokin E.N. Processih poroshkovoy metallurgii. Versiya 1.0 [Ehlektronnihyj resurs]: kurs lekcij E.N. Osokin, O.A. Artemjeva. – Ehlektron. dan. (5 Mb). – Krasnoyarsk: IPK SFU, 2008. – (Processih poroshkovoy metallurgii: UMKD No 63–2007 ruk. tvorch. kollektiva E.N. Osokin). – 1 ehlektron. opt. disk (DVD). – Sistem. trebovaniya: Intel Pentium (ili analogichnihyj processor drugikh proizvoditelej) 1 Gb.; 512 Mb operativnoy pamyati; 5 Mb svobodnogo diskovogo prostranstva ; privod DVD ; operacionnaya sistema Microsoft Windows 2000 SP 4 XP SP 2 Vista (32 bit); Adobe Reader 7.0 (ili analogichnihyj produkt dlya chteniya fayjlov formata pdf). 3. Pat. 76280 Ukraina, MPK V28V108. Vibropres dlya formuvannya virobiv z metalevikh poroshkiv Savelov D.V., Dragobecjkiyj V.V., Khablo G.P., Chebenko Yu.M.; zayavnik i patentovlasnik KrNU imeni Mikhajjla Ostrogradsjkogo, zayavl.02.07.2012; opubl. 25.12.12, Byul. No 24. 4. Chubuk Yu.F. Vibracionnihe mashinih dlya uplotneniya betonnikh smesey Yu.F. Chubuk, I.I. Nazarenko, V. N. Garnec. – Kiev: Vihtha shk., 1985. – 168 P. 5. Savelov D.V. The theoretical study of process of metal powder compression at vibration exciter with «hard» matrix and with simultaneous static tightness D.V. Savelov, V.V. Dragobetsky, A.D. Konovalenko. Proceedings of the 3rd International Academic Conference «Applied and Fundamental Studies», 2013, P. 90–96.

Поступила (received) 28.10.2014

УДК 621.777.01

Б. П. СЕРЕДА, докт. техн. наук, проф., ЗГИА;
Ю. А. БЕЛОКОНЬ, канд. техн. наук, доц., ЗГИА;
Е. В. БАБАЧЕНКО, аспирант, ЗГИА, Запорожье

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА УПЛОТНЕНИЯ СИНТЕЗИРОВАННЫХ ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫХ СПЛАВОВ ПРИ СВС-ПРЕССОВАНИИ

В работе рассмотрены вопросы, связанные непосредственно с получением интерметаллидных сплавов в режиме теплового взрыва, включая важный вопрос перехода от самовоспламенения к уплотнению синтезированного продукта и получения конечного продукта. В экспериментах по определению зависимости общей пористости образцов из γ -TiAl сплава от времени выдержки под давлением варьировали как марки порошка титана, в значительной мере определяющие температуру пористой заготовки после прохождения по ней волны горения. Кристаллизация продукта начинается сначала в тех областях расплава, которые обогащены более тугоплавким компонентом. В зоне догорания происходит донасыщение твердого продукта алюминием. Установлено, что изменение пористости интерметаллидных сплавов при СВС-прессовании в значительной степени зависят от температуры начала прессования, определяемой температурой синтеза состава и времени выдержки при давлении.

Ключевые слова: синтез, интерметаллиды, СВС-прессования, уплотнение, пористость

Введение. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез (СВС) является эффективным методом получения широкого класса материалов и представляет собой сильно экзотермическое взаимодействие химических

реагентов в конденсированной фазе, протекающее в режиме горения [1]. Одним из вариантов проведения СВС-процесса является нагрев с заданной скоростью до такой высокой температуры, при которой начинается объемный саморазогрев системы за счет химической реакции, и СВС проходит в режиме объемного теплового взрыва. Этим способом синтезировано наибольшее число материалов, в первую очередь, это интерметаллиды (в основном алюминиды металлов) и композиты на их основе [2]. Однако с учетом значительного отличия нового метода от традиционного способа горячего прессования и сложности составов материалов большой интерес представляет исследование процесса образования компактного материала из высокопористых продуктов горения.

Цель работы – изучить процесс уплотнения продуктов синтеза на примере простых модельных интерметаллидных сплавах.

Материалы исследования. В качестве объектов исследования были выбраны системы Ti-Al и Ni-Al. Шихты готовили из порошков титана, никеля и алюминия дисперсностью 100-250 мкм. Порошкообразные компоненты смешивали в стальных шаровых мельницах в воздушной среде. Шихту просушивали в шкафу типа ШСВА-2,4 и на ручном гидравлическом прессе формовали в заготовки диаметром 50-70 мм и высотой 20-30 мм. Параметры горения шихтовых составов определяли по известной методике [3]. СВС-прессование осуществляли на прессе ПСУ-125 в закрытых стальных пресс-формах с теплоизолятором. Пресс был снабжен блоком автоматического управления, позволяющим задавать временные параметры синтеза (задержки прессования, выдержки под давлением и другие) с точностью до 0,1 с. Синтезированные материалы анализировали на содержание основных компонентов и примесей методами химического и рентгенофазового анализов. Общую пористость за время достижения необходимого давления (плотность укладки) определяли экспериментально, по методу «керосиновой» пробы, заключающемуся в сочетании гидростатического взвешивания и пропитки образца в вакууме жидкостью, которая хорошо смачивала исследуемый материал и плохо растворялась в воде (керосином).

Результаты исследования. Экспериментальные данные по изменению общей пористости $P_{\text{общ}}$ интерметаллида TiAl в процессе прессования приведены на рис. 1. Время опыта $\tau_{\text{оп}}$ представляет собой сумму значений времени достижения давления $\tau_{\text{н}} = \text{const} = 1 \pm 0,1$ с и времени выдержки под давлением $\tau_{\text{в}}$. Образец, не подвергавшийся прессованию, имел общую пористость 49,3 %, что свидетельствует о некотором самоуплотнении γ -TiAl в процессе синтеза, по-видимому, под действием сил поверхностного натяжения

[4], так как теоретически рассчитанное значение $\Pi_{\text{общ}}$ после завершения СВС составляет 56,6 %.

Основное отличие полученной зависимости от традиционных кривых горячего прессования состоит в появлении на ней горизонтального участка при $1\text{с} < \tau_{\text{оп}} < 2\text{с}$. Как видно из приведенных данных, кривую уплотнения продуктов горения системы Ti–Al в зависимости от скорости уплотнения материала можно условно разбить на четыре участка. Это говорит о сложном характере процесса уплотнения.

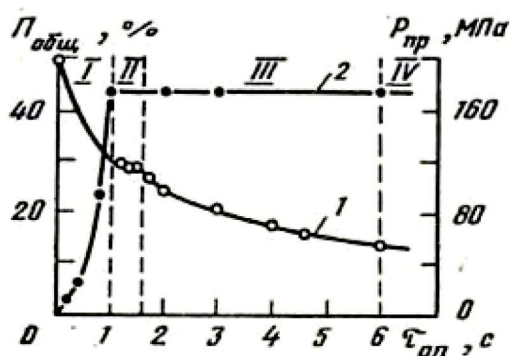


Рис. 1 – Изменение показателей в процессе СВС-прессования γ -TiAl сплава:

1 –пористость; 2 – давление

В экспериментах по определению зависимости общей пористости образцов из γ -TiAl сплава от времени выдержки под давлением (рис. 2) варьировали как марки порошка титана, в значительной мере определяющие температуру пористой заготовки после прохождения по ней волны горения (табл.), так и время выдержки прессования $\tau_{\text{в}}$, отвечающее за температуру начала прессования $T_{\text{н}}$.

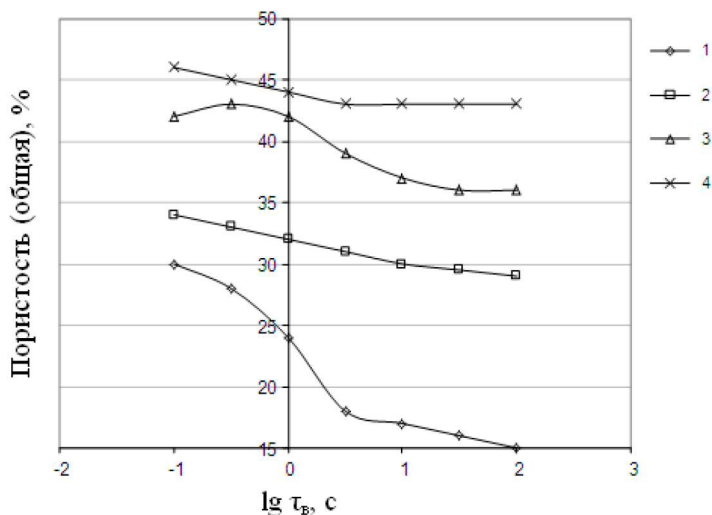


Рис. 2 – Зависимость общей пористости γ -TiAl сплава от времени выдержки под давлением. Шихта на основе электролитического порошка титана (1, 2), губчатого титана (3, 4); $\tau_{\text{в}}=1$ (1), 9 (2,3), 30 с (4)

Таблица. Условия синтеза шихтовых составов Ti–Al

Тип порошка	Максимальная температура, °С	Скорость, мм/с
Электролитический	3000	35
Магнетермический	2750	27
Губчатый титан ТГ-100	2200	12

Следует отметить, что процесс прессования в интервале $0 < \tau_{\text{оп}} < 1\text{с}$ протекает в динамических условиях, накладывающих определенные ограничения на возможность анализа исследуемых зависимостей. Однако хорошее совпадение результатов экспериментов позволяет достаточно аргументировано утверждать, что, во-первых, изменение пористости γ -TiAl сплава за время достижения давления и длина горизонтального плато (участок II) в значительной степени зависят от $T_{\text{г}}$, определяемой температурой горения состава и $\tau_{\text{в}}$, а во-вторых, при повышенных значениях времени задержки горизонтальный участок не фиксируется, что говорит об изменении характера уплотнения материала.

Исследование процесса прессования продуктов синтеза системы Ni–Al (рис. 3) показало, что вид получаемой зависимости аналогичен рассмотренному выше (рис. 2, кривая 4). К тому же характер уплотнения не изменяется при увеличении времени выдержки прессования. Также установлено, что самоуплотнения алюминиды никеля в процессе синтеза не происходит (экспериментальное значение общей пористости составляет 50,1, теоретическое – 50,3 %).

По-видимому, характер уплотнения материала обусловлен существованием жидкой фазы в образце, так как основным отличием протекания процесса СВС в рассмотренных выше составах является то, что горение системы Ti–Al происходит без образования жидкой фазы, в то время как при взаимодействии никеля с алюминием плавятся оба реагента, и в зоне реакции происходит слияние и взаимное перемешивание расплавов (реакционная коалесценция) [4].

Закономерности этого процесса пока мало изучены, но, по-видимому, кристаллизация продукта начинается сначала в тех областях расплава, которые обогащены более тугоплавким компонентом – никелем (что согласуется и с диаграммой состояний). Поэтому в зоне реакции кристаллизуется фаза моноалюминиды никеля с пониженной концентрацией алюминия, а в зоне догорания происходит донасыщение твердого продукта алюминием, что приводит к появлению горизонтального плато на зависимости $\Pi_{\text{общ}} = f(\tau_{\text{в}})$. То есть по характеру уплотнения система Ti–Al значительно отличается от системы Ni–Al.

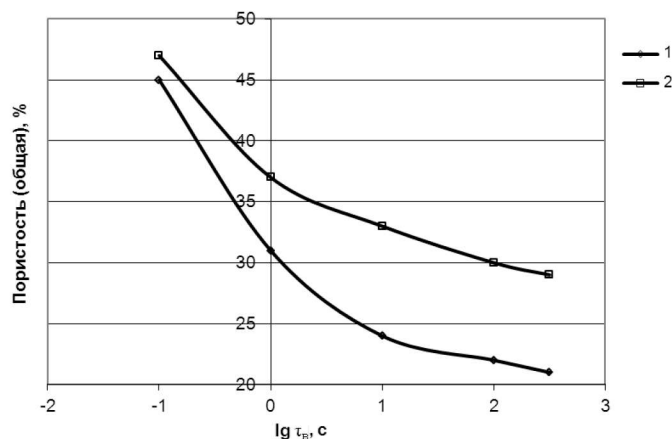


Рис. 3 – Залежності загальної пористості NiAl сплаву від часу витримки під тиском при різних часах затримки пресування:
1 - 3 с; 2 - 15 с

Пресування матеріалів першої групи характеризується монотонним збільшенням щільності на протязі всього часу спроб незалежно від часу витримки пресування та температури зразка. При пресуванні продуктів синтезу систем другої групи на кривій ущільнення з'являється горизонтальний діляк II (рис. 1, 2), місцеположення та довжина якого в значительній ступені визначаються значеннями τ_z та T_r . Во всіх випадках перед плато спостерігається різке зниження пористості сплаву (діляк I), яке можна пояснити сколюванням та аккомодацией тугоплавких зерен [5]. Це передположення підтверджується також тим, що усадка матеріалу в перший момент пресування відбувається в основному за рахунок зменшення відкритої пористості, в той час як рівень закритої пористості практично не змінюється.

Сколювання зерен дозволяє пояснити та з'явлення горизонтального діляка на залежностях $P_{\text{общ}} = f(\tau_B)$. Дійствительно, після завершення процесу сколювання подальше ущільнення матеріалу може відбуватися тільки за рахунок пластичної деформації зерен тугоплавкої фази. Це можливо лише при умові, що час спроб перевищує час деформації τ_d . В випадку $\tau_{\text{оп}} < \tau_d$ на кривій з'являється плато.

Таким чином, аналіз літературних та отриманих експериментальних даних дозволяє запропонувати наступний механізм пресування продуктів високотемпературного реагування в режимі СВС. Після проходження хвилі горіння по шихтовій заготовці матеріал представляє собою високопористу систему, що складається з утворених зерен тугоплавкої фази, жидкофазної складової (при наявності в вихідній суміші компонента, що має температуру плавлення нижче температури горіння) та вихідних компонентів, не встигнувши вступити в реакцію на фронті та повільно продовжують

реагировать. В начальный момент прессования уплотнение материала, обусловленное взаимным скольжением образовавшихся зерен друг относительно друга (стадия скольжения, участок I) и их укладкой с максимально возможной для данных условий плотностью, происходит с очень большой скоростью. Роль смазки в этом случае выполняет жидкая фаза. Иногда это может быть и не успевший вступить во взаимодействие компонент реакционной смеси.

Процесс усадки материала в результате проскальзывания и аккомодации зерен протекает при малых нагрузках и в чрезвычайно короткие промежутки времени, а после его завершения уплотнение системы возможно лишь при пластическом деформировании зерен. При $\tau_{оп} < \tau_d$ усадки образца не наблюдается.

При увеличении времени прессования начинается пластическое деформирование материала (участок III). На этой стадии образовавшиеся зерна тугоплавких соединений растут, сливаются и деформируются под приложенным давлением, в результате чего происходит резкое закупоривание пор, а общий уровень пористости материала падает.

За окончательное уплотнение материала отвечает процесс диффузионного заплывания пор (участок IV), скорость которого в значительной степени зависит от температуры материала и характеристик жидкой фазы [5]. При низкой температуре или в отсутствие жидкой фазы усадка материала за счет диффузионного залечивания пористости может быть незначительной или не происходит вообще.

Следует отметить, что разделение процесса СВС-прессования на три стадии достаточно условно, так как на каждой из них одновременно протекают все процессы, определяющие уплотнение материала. Речь идет только о преобладающем вкладе каждого процесса в общее уплотнение продукта синтеза на той или иной стадии прессования.

Вывод. Установлено, что изменение пористости интерметаллидных сплавов при СВС-прессовании в значительной степени зависят от температуры начала прессования, определяемой температурой синтеза состава и времени выдержки при давлении τ_b . Для получения беспористого материала при СВС-прессовании необходимо, чтобы в продуктах синтеза в достаточном количестве присутствовала жидкая фаза, хорошо смачивающая тугоплавкие зерна и обладающая большим временем существования.

Список литературы: 1. Самораспространяющийся высокотемпературный синтез: теория и практика: сборник статей / Под ред. А.Е. Сычева. – Черноголовка: Территория, 2001. – 224 с. 2. Обробка металів тиском при нестационарних температурних умовах: монографія / Б.П. Серета, І.В. Кругляк, О.А. Жеребцов, Ю.О. Белоконь. – Запоріжжя: ЗДІА, 2009. – 252 с. 3. Мержанов, А.Г. Процессы

горения и синтез материалов / А.Г. Мержанов. – Черноголовка: ИСМАН, 1999. – 512 с.
4. Амосов, А.П. Порошковая технология самораспространяющегося высокотемпературного синтеза материалов / А.П. Амосов, И.П. Боровинская, А.Г. Мержанов. – М.: Машиностроение-1, 2007. – 567 с.
5. Гегузин, Я.Е. Диффузионное деформирование пористых кристаллических структур / Я.Е. Гегузин // Физика твердого тела. – № 7. – 1975. – С. 50–54.

Bibliography transliterated: 1. Samorasprostranyayuschisya vyisokotemperaturnyy sintez: teoriya i praktika: sbornik statey pod red. A.E. Syicheva. – Chernogolovka: Territoriya, 2001. – 224 p. 2. Obrobka metalliv tiskom pri nestatsionarnih temperaturnih umovah: monografiya B.P. Sereda, I.V. Kruglyak, O.A. Zherebtsov, Yu.O. Belokon. – Zaporizhzhya: ZDIA, 2009. – 252 p. 3. Merzhanov, A.G. Protsessyi goreniya i sintez materialov A.G. Merzhanov. – Chernogolovka: ISMAN, 1999. – 512 p. 4. Amosov, A.P. Poroshkovaya tehnologiya samorasprostranyayuschegosya vyisokotemperaturnogo sinteza materialov A.P. Amosov, I.P. Borovinskaya, A.G. Merzhanov. – Moscow: Mashinostroenie-1, 2007. – 567 p. 5. Geguzin, Ya.E. Diffuzionnoe deformirovanie poristyih kristallicheskih struktur Ya.E. Geguzin Fizika tverdogo tela. – No 7. – 1975. – p. 50–54.

Поступила (received) 18.11.2014

УДК 621.075.8

М. Е. ТАРАНЕНКО, докт. техн. наук, проф., НАКУ «ХАИ»;
О. Н. КЛИМЕНКО, инженер, НАКУ «ХАИ», Харьков

КВАЛИМЕТРИЯ В ОБРАБОТКЕ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ ДАВЛЕНИЕМ

Предлагается метод оценки качества листовых деталей на этапах подготовки производства, а также функциональные зависимости показателей качества от геометрических размеров деталей. Это позволяет выбирать показатели качества на этапе проектирования. Рассматривается показатель технологичности деталей как комплексный. В качестве составляющих частных показателей количественно анализируются свойства: форма детали, её глубины и некоторых локальных элементов (радиус сопряжения бортов). Для этапа изготовления выбрана иерархическая совокупность свойств для оценки качества производимой продукции.

Ключевые слова: качество, листовые детали, квалиметрия, опытные и статистические данные, иерархическая совокупность свойств.

Введение. В современной конкурентной борьбе за рынки сбыта выпускаемой продукции выигрывает тот производитель, качество продукции которого выше. Для объективной оценки качества используют методы теоретической квалиметрии – науки о количественной оценке качества. Известны технические приложения этих методов при изготовлении сортового проката [1], агроквалиметрии [2], квалиметрии в транспорте [3]. В НАКУ «ХАИ» проводятся исследования использования методов квалиметрии в приложении к технологии производства летательных аппаратов, в частности, к штамповке крупногабаритных листовых деталей (КЛД) разными методами.

При анализе производства крупногабаритных листовых деталей (КЛД) можно выделить три характерные группы продукции: детали, оборудование