

ОТРИМАННЯ ПРИСАДКОВИХ ДОСЛІДНИХ СПЛАВІВ З СУБМІКРОКРИСТАЛІЧНОЮ (СМК) СТРУКТУРОЮ МЕТОДОМ ГВИНТОВОЇ ЕКСТРУЗІЇ

Досліджено вплив вихідної структури на процес інтенсивної пластичної деформації методом гвинтової екструзії. Розроблено технологічну схему та визначені основні режими процесу деформації, що забезпечують формування СМК структури в дослідних сплавах. Отримані аналітичні рівняння для розрахунку залежності об'єму структурних складових з СМК розміром від кількості проходів крізь матрицю з гвинтовим каналом.

Ключові слова: субмікроструктурна структура, титан, матриця, зварювання, шов, деформація, неоднорідність, кількість проходів.

Застосування зварювання при виробництві та ремонті виробів зі складнолегованих титанових сплавів пов'язано з цілою низкою проблемних питань. Найбільш складним при цьому є процес зварювання двофазних титанових сплавів, тому що вони застосовуються в різному структурному стані для забезпечення необхідного рівня механічних і службових властивостей відповідних деталей. З результатів досліджень, проведених раніше, випливає, що властивості зварних з'єднань можна підвищити шляхом застосування дослідних присадкових матеріалів, які дозволяють формувати у зварному шві необхідні типи структури [1]. Це дає можливість збільшити працездатність виробів з жароміцних титанових сплавів.

У той же час, із результатів аналізу характеру руйнування зварних з'єднань титанових сплавів, отриманих із застосуванням як стандартних, так і дослідних присадкових матеріалів, встановлено наявність пор і областей крихкого руйнування в металі зварного шва. Причиною цього може бути хімічна неоднорідність, а також газова пористість присадкових матеріалів. Тому, поряд з підвищенням рівня механічних властивостей матеріалів, необхідна розробка спеціальних присадкових матеріалів, що забезпечують високу стабільність властивостей і якість металу зварного шва.

Особливого значення питання, пов'язані з якістю присадкових матеріалів, набули в останні роки, тому що складнолеговані жароміцні титанові сплави застосовують для тонкостінних деталей (лопатки, монококса авіаційних двигунів тощо), які працюють на межі запасу міцності матеріалу. За цих умов навіть мікродефекти в присадкових матеріалах можуть призвести до повної втрати працездатності відновлюваних деталей.

Як було показано раніше, для забезпечення необхідного рівня механічних властивостей шляхом формування заданого типу структури, необхідно застосовувати модифікувальні елементи. Це обумовлено тим, що

в металі зварного шва, отриманого з використанням високоякісних бездефектних присадок з дисперсною структурою, процес модифікування є найбільш ефективним, оскільки при цьому виявляється позитивний ефект модифікування [2].

Сутність запропонованої ідеї полягає в застосуванні присадкових матеріалів з нано- або субмікроструктурною (СМК) структурою [3]. Це, згідно з результатами проведених раніше досліджень [4, 5], дозволяє отримувати рівномірний розподіл легувальних елементів в об'ємі присадкового матеріалу. Для перевірки ефективності ідеї були розроблені присадкові титанові матеріали з СМК структурою, а також проведені дослідження впливу цих матеріалів на властивості зварних з'єднань.

Ефективне структурування об'ємних заготовок з титанових сплавів реалізовували на основі методу інтенсивної пластичної деформації (ІПД), шляхом застосування згаданої вище гвинтової екструзії, яка на наш погляд, являла найбільш ефективним способом досягнення бажаних результатів.

У той же час, неоднозначним залишався вплив хімічного складу сплавів на сам процес деформації. У роботі [6] було встановлено, що залежно від складу сплаву, параметри процесу деформації необхідно підбирати індивідуально. Важливим фактором, що визначає ступінь «пропрацювання» структури, є її вихідний тип. Тому для деформування присадкових матеріалів необхідним було попереднє відпрацювання режимів деформації і визначення їх впливу на розподіл елементів і структуру присадкових матеріалів із стандартних і дослідних титанових сплавів.

Спеціально підкреслимо, що технологія ІПД методом гвинтової екструзії (ГЕ), дозволяє отримувати титанові сплави з різним типом кінцевої структури.

Отже, основним завданням, поставленим у даній роботі, було отримати СМК титанові сплави дослідних складів на основі сплаву ВТ2св (хімічний склад сплавів

наведено в табл. 1). Для реалізації цього було розроблено технологічну схему деформації та визначені її основні. Сам метод ГЕ в нашому випадку полягав у продавлюванні призматичної заготовки крізь матрицю з гвинтовим каналом, при цьому кут нахилу (β) гвинтової лінії матриці до напрямку осі екструзії, який на початковій і кінцевій ділянках каналу дорівнював нулю, змінювався по висоті. Перед процесом продавлювання матрицю нагрівали до температури 750 °С (рис. 1).

Особливості геометрії каналу матриці забезпечували збереження при продавлюванні ідентичності початкової і кінцевої форми, а також розмірів оброблюваних заготовок, що дозволяло здійснювати процес екструзії багаторазово з метою послідовного накопичення пластичної деформації. Отримані методом ГЕ заготовки мали розміри 25×40×65 мм.

Результати роботи дозволили отримати СМК титанові сплави наведених вище складів (табл. 1). Важливою особливістю деформації сплавів дослідних складів був їх вихідний структурний стан [7]. Існуючі роботи, що стосуються утворення структури титанових сплавів, базувалися на використанні (вихідних) вже деформованих напівфабрикатів. Показано принципову можливість проведення процесу гвинтової екструзії з використанням вихідних литих заготовок [8]. Зміну об'ємної частки СМК структури в залежності від кількості проходів для дослідних сплавів складів № 1 і № 2 наведено на рис. 2.

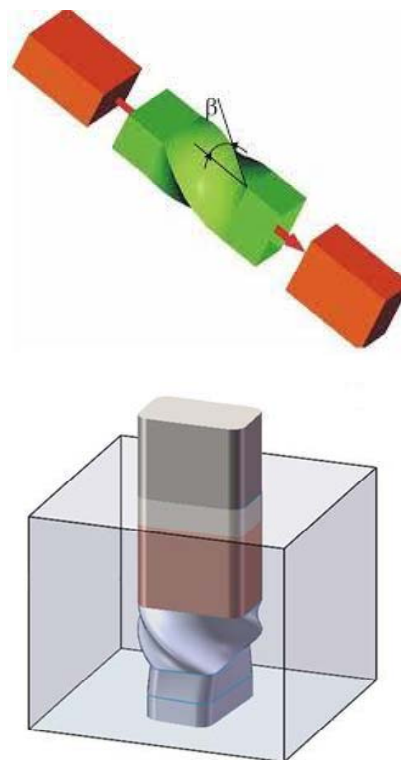


Рис. 1. Схема інтенсивної пластичної деформації призматичних зразків методом гвинтової екструзії

Таблиця 1 – Хімічний склад дослідних сплавів

№ сплаву	Al, %	La, %	Y, %	B, %	Ti
Сплав №1 з рівноважною структурою	3...4	0,125...0,200	0,01...0,02	0,02...0,04	основа
Сплав №2 з пластинчастою структурою	3...4	0,01...0,10	0,05...0,08	0,01...0,03	основа



Рис. 2. Вплив кількості проходів крізь матрицю з гвинтовим каналом на кількість СМК зерен розміром менше за 500 мкм в структурі титанових сплавів дослідних складів № 1 і № 2: 1 – сплави складу №1 з рівноважною вихідною структурою; 2 – сплави складу №2 з пластинчастою вихідною структурою

Застосовуючи метод найменших квадратів, були отримані аналітичні залежності між кількістю проходів та об'ємною часткою структурних складових з потрібним розміром.

Для цього розрахували залежність об'єму структурних складових з СМК розміром від кількості проходів крізь обрану матрицю. Коефіцієнт лінійної кореляції для рівняння $V = V_0 - b \cdot N$ визначили за формулою (1):

$$r_{V/N} = \frac{\sum_i V_i \cdot N_i - n \cdot \bar{V} \cdot \bar{N}}{\sqrt{\left(\sum_i V_i^2 - n \cdot \bar{V}^2 \right) \cdot \left(\sum_i N_i^2 - n \cdot \bar{N}^2 \right)}}, \quad (1)$$

Далі виконавши відповідні розрахунки, отримали рівняння залежності об'єму структури з СМК розміром від кількості проходів.

Для сплаву зі складом № 1 це рівняння мало такий вигляд:

$$r_{V/N} = 0,9746; \quad V = -5,4284 + 15,3571 \cdot N \quad \text{при} \\ b = 15,3571 \text{ та } V_0 = -5,4284.$$

Для сплаву зі складом № 2 розрахунки дали такі результати:

$$r_{V/N} = 0,9908; \quad V = -18,8571 + 15,9643 \cdot N \quad \text{при} \\ b = 15,9643; \quad V_0 = -18,8571.$$

Для визначення кількості СМК зерен у титанових складнолегованих сплавах у залежності від температури та кількості проходів було створено лінійний план експерименту (табл. 2, табл. 3).

Кількість дослідів, необхідних для побудови плану експерименту, наведені у таблиці 3.

Далі, за формулою (2), визначили коефіцієнти множинної кореляції (R) для обох сплавів, виходячи із загального рівняння:

Таблиця 2 – Кодування факторів

Інтервал варіювання рівень факторів	X_1 (t , °C)	X_2 (кількість проходів)
Верхній рівень (+)	850	5
Нульовий рівень (0)	800	4
Нижній рівень (-)	750	3
Інтервал варіювання, $\Delta_{1(2)}$	±50	1

Таблиця 3 – Ортогональний центральний план експериментів

№ дослідів	x_1	x_2	Y (відносна кількість СМК зерен, N_0)	
			№ 1	№ 2
1	+1	+1	5	3
2	-1	+1	80	70
3	+1	-1	3	1
4	-1	-1	35	15

$$y = b_0 + b_1 x_1 + b_2 x_2$$

$$R = \sqrt{\frac{n \cdot (b_1^2 + b_2^2 + b_3^2 + \dots + b_i^2)}{\sum_i y_i^2 - n \cdot \bar{y}^2}} \quad [9]. \quad (2)$$

Коефіцієнти b_i визначали в стандартний спосіб для кодованих факторів за формулами:

$$\bar{y} = b_0 = \frac{\sum_i y_i}{n}, \quad b_1 = \frac{\sum_i y_i \cdot x_{1i}}{n}, \quad b_2 = \frac{\sum_i y_i \cdot x_{2i}}{n}, \quad (3)$$

Для першого сплаву коефіцієнт множинної кореляції (R), визначений за формулою (2), склав $R = 0,9385$ при ($b_0 = 30,75$; $b_1 = -26,75$; $b_2 = 11,75$).

Перевірка коефіцієнта множинної кореляції R за допомогою коефіцієнта лінійної кореляції $r_{ye/yp}$ звичайним способом дала такий же результат, як і для R ($r_{ye/yp} = 0,9385$).

Нижче наведені рівняння залежності кількості СМК зерен від температури та кількості проходів у натуральному масштабі:

$$Y = 30,75 - 0,535 \cdot (t - 800) + 11,75 \cdot (N - 4).$$

Аналогічно, проведені розрахунки і для іншого сплаву. В результаті отримали коефіцієнт множинної кореляції (R), який склав 0,8817 (при $b_0 = 22,25$; $b_1 = -20,25$; $b_2 = 14,25$), а саме рівняння, записане в натуральному масштабі, має вигляд:

$$Y = 22,25 - 0,405 \cdot (t - 800) + 14,25 \cdot (N - 4).$$

Як впливає з наведених даних, при накопиченні деформації в процесі ГЕ ступінь «пропрацювання» структури в об'ємі заготовок у напрямку її подрібнення підвищувався. У сплавах складу № 1 при менших кількостях проходів утворюється більша кількість структурних складових з СМК розмірністю, ніж у сплавах складу № 2. Це, мабуть, є наслідком рівномірної деформації сплавів складу № 1 (через більш рівноважну вихідну структуру). Сплави складу № 2 мали вихідну пластинчасту структуру, для якої характерна текстурованість пачок α -пластин, розташованих у первинному β -зерні [10]. Це призводило до необхідності первинної обробки пластинчастої структури на відміну від сплавів з рівноважною структурою. Після п'яти проходів різниця в кількості СМК структурних складових між сплавами № 1 та № 2 зменшується і після семи проходів структура практично не відрізнялася у всьому об'ємі обох типів заготовок (рис. 3). Таким чином, у результаті проведених досліджень вдалося реалізувати технологію отримання якісних титанових сплавів із субмікрокристаліч-

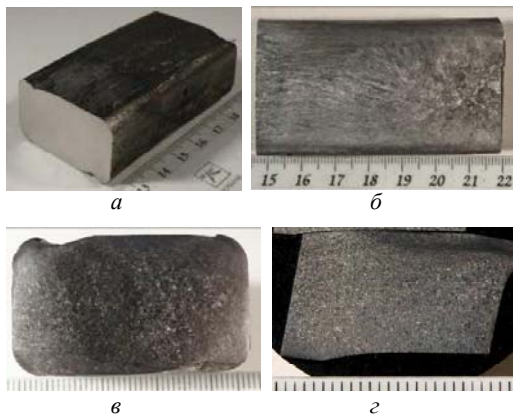


Рис. 3. Характерний вигляд та структура заготовок після проведення ПІД методом ГЕ (сплав складу № 1): а – вид заготовки після деформації; б – макроструктура в повздовжньому напрямку заготовки після 3 проходів; в – макроструктура в поперечному напрямку заготовки після 3 проходів; з – макроструктура в поперечному напрямку заготовки після 7 проходів

ною структурою з литих заготовок. Розроблено конкретні режими інтенсивної пластичної деформації методом гвинтової екструзії для отримання оптимальної структури присадкових матеріалів.

Отримані, методом лінійного планування аналітичні залежності, що дозволяють шляхом варіювання температурно-силових факторів оптимізувати кінцеву структуру дослідних присадкових матеріалів на основі титану.

Список літератури

1. Марукович Е. И. Модифицирование сплавов / Е. И. Марукович, В. Ю. Стеценко. – Минск : Беларуская навука, 2009. – 192 с.
2. Комановский А. З. Обработка титановых сплавов давлением / Комановский А. З., Чечулин Б. Б., Важецин С. Ф. – М. : Металлургия, 1977 – 96 с.
4. Гусев А. И. Наноматериалы, наноструктуры, нанотехнологии / Гусев А. И. – М. : ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 416 с.
5. Валиева Р. Объемные наноструктурные металлические материалы: получение, структура и свойства / Р. Валиева, И. Александров – М. : Академкнига. 2007. – 397 с.
6. Коваленко Т. А. Формирование стабильной субмикроструктурной структуры в титане / Т. А. Коваленко, А. В. Овчинников // МиТОМ. – 2010. – № 2. – С. 35–43.
7. Оценка эффективности применения интенсивной пластической деформации для получения нанокристаллической структуры в титановом сплаве ВТ3-1 / А. В. Овчинников, Д. В. Павленко, А. Я. Качан, В. Г. Шевченко // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2007. – № 1. – С. 27–31.
8. Применение винтовой экструзии для получения субмикроструктурной структуры и гомогенизации титанового сплава ВТ3-1/ [А. В. Овчинников, Д. В. Павленко, А. Я. Качан и др.] // Вестник двигателестроения. – 2007. – № 2. – С. 185–188.
9. Ольшанецкий В. Е. О физических подходах к математическому моделированию функциональных связей / В. Е. Ольшанецкий // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2003. – № 1. – С. 80–86.
10. Овчинников А. В. Применение титановых сплавов с СМК структурой для восстановления деталей роторной части ГТД / А. В. Овчинников // Автоматическая сварка. – 2012. – № 2 (706). – С. 21–25.

Одержано 03.07.2014

Овчинников А.В., Ольшанецкий В.Е., Джуган А.А. Получение присадочных опытных сплавов с субмикроструктурной (СМК) структурой методом винтовой экструзии

Исследовано влияние исходной структуры на процесс интенсивной пластической деформации методом винтовой экструзии. Разработана технологическая схема и определены основные режимы процесса деформации, обеспечивающие формирование СМК структуры в исследовательских сплавах. Получены аналитические уравнения для расчета зависимости объема структурных составляющих с СМК размером от количества проходивших через матрицу с винтовым каналом.

Ключевые слова: субмикроструктурная структура, титан, матрица, сварка, деформация, неоднородность, шов, количество проходивших.

Ovchinnikov O., Olshanetskiy V., Dzhugan O. Obtaining of experimental filler materials with submicrocrystalline structure by the method of twist extrusion

The effect of the initial structure on the process of intensive plastic deformation by twist extrusion was investigated. The technological scheme and the main modes of the deformation process, providing formation of SMC structure of research alloys were developed. The analytical equations for calculating the volume depending on the structural components with the SMC size on the number of passes through the die with the twist channel were obtained.

Key words: submicrocrystalline structure, titanium, matrix, welding, deformation, inhomogeneity, weld, number of operations.