

УДК 669.295:620.18

Д. В. Ткач, канд. техн. наук Л. П. Степанова, д-р техн. наук В. Ю. Ольшанецький,
канд. техн. наук В. Л. Грешта

Національний технічний університет, м. Запоріжжя

РЕНТГЕНОСТРУКТУРНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОЦЕСІВ РЕКРИСТАЛІЗАЦІЇ В ТИТАНІ VT1-0 ІЗ СУБМІКРОКРИСТАЛІЧНОЮ СТРУКТУРОЮ

Проведено дослідження впливу інтенсивної пластичної деформації на процеси рекристалізації титану VT1-0. Установлено, що температура початку рекристалізації становить 385 °С. Виявлено значне зростання мікронапружень II роду після проведення гвинтової екструзії, які можна зменшити проведенням дорекристалізаційного відпалу при температурі $t = 300$ °С упродовж 1 години.

Ключові слова: титан VT1-0, рекристалізація, гвинтова екструзія, мікронапруження.

Останнім часом широкого розповсюдження набули дослідження металів та сплавів у субмікроструктурному та нанокристалічному стані. Такі матеріали мають властивості, які суттєво відрізняються від властивостей звичайних полікристалів, що розширює спектр їх можливого використання.

В зразках титану VT1-0 формування субмікроструктурної структури із середнім розміром зерен 250 нм здійснено при інтенсивній пластичній деформації із використанням методу гвинтової екструзії [1]. Гвинтова екструзія є досить складним процесом, в якому вихідна (лита) різнозерниста структура помітно трансформується вже на перших етапах деформаційного процесу. Впродовж 1–3 циклів деформації відбувається поступове подрібнення зеренної структури, переважно в крайовій частині заготовок, та реалізуються певні зміни в характері дислокаційної структури.

Матеріал після інтенсивної пластичної деформації характеризується значним рівнем внутрішніх напружень і, відповідно, високою накопиченою енергією внаслідок наявності великої кількості дефектів кристалічної будови, що може приводити до прискорення розвитку відновлювальних процесів при подальшій термічній активації, а також до зниження температури початку первинної рекристалізації T_n^p . У зв'язку з цим певний інтерес викликають дослідження, які дозволяють установити деякі закономірності щодо характеру структурних змін при переході від наклепаного стану, сформованого при гвинтовій екструзії, до більш рівноважного при нагріванні в інтервалі температур 200–650 °С.

Для визначення температури початку рекристалізації був обраний рентгеноструктурний метод оберненої зйомки в камері КРОС (фотометод), що дозволяє прослідкувати всі етапи розвитку рекристалізаційних процесів, які проявляються в характерних змінах структури дифракційних ліній; ознакою їх початку є поява точкових рефлексів більшої інтенсивності на фоні суцільних ліній від деформованої структури.

Зйомку проводили для зразків після 1-го і 5-го циклів деформації та для відпалених зразків, отриманих гвинтовою екструзією після 5 циклів. Відпалювання проводили в печі опору в інтервалі температур 200–650 °С з інтервалом 50 °С упродовж 1 години з охолодженням на повітрі. В області температур, де були зафіксовані перші рефлекси (350–400 °С), які свідчили про початок рекристалізації, нагрів здійснювався з інтервалом у 15 °С, що дозволило достатньо точно визначити T_n^p . Зважаючи на високу накопичену при деформації внутрішню енергію субмікроструктурного титану, зниження температури початку рекристалізації з 580 °С, яка характерна для титану VT1-0 [1], до більш низьких температур є цілком можливим.

Враховуючи, що технологічний процес отримання СМК матеріалів методом гвинтової екструзії передбачає нагрівання заготовки до 400 °С, було висунуто припущення про ймовірну реалізацію динамічної рекристалізації як одного з можливих механізмів подрібнення зеренної структури безпосередньо в процесі гвинтової екструзії.

При вивченні рентгенограм деформованих зразків не спостерігалось ознак утворення рекристалізованих зародків внаслідок динамічної рекристалізації (принаймні в інтервалах їх розмірів 1...3 мкм і більше), незалежно від кількості циклів інтенсивної пластичної деформації (рис. 1, а, б). Спостерігалось суттєве поширення ліній, що є підтвердженням наявності значних внутрішніх напружень.

З метою більш якісної оцінки рівня напружень в залежності від впливу таких зовнішніх факторів, як деформація та температура, проводили вимірювання ширини дифракційних ліній з індексами НКЛ 105 на дифрактометрі ДРОН-1 (табл. 1). Ширина дифракційної лінії 105 після проведення 5 циклів інтенсивної пластичної деформації зростає практично в 2 рази з $11,7 \times 10^{-3}$ до $24,6 \times 10^{-3}$ радіан порівняно з вихідним (литим) зразком, оскільки в процесі гвинтової екструзії подрібнення кри-

сталітів супроводжується викривленням їх ґратки та зростанням мікронапружень другого роду. Використання лінії з великим кутом дифракції дає змогу стверджувати про превалюючий вплив внутрішніх напружень на її фізичну ширину.

Дані, отримані фотометодом, також свідчать про досить інтенсивне зростання внутрішніх напружень під час інтенсивної пластичної деформації.

Таблиця 1 – Вплив гвинтової екструзії та подальшого відпалу на ширину дифракційної лінії з індексами НКЛ 105

Зразок	Ширина лінії 105, радіани
литий	$11,7 \cdot 10^{-3}$
після 5 циклів деформації	$24,6 \cdot 10^{-3}$
після відпалу 350 °С	$17,8 \cdot 10^{-3}$
після відпалу 450 °С	$11,5 \cdot 10^{-3}$

При температурі 385 °С було зафіксовано появу на дифракційних лініях точкових рефлексів (8–10), які свідчили про утворення перших центрів рекристалізованих зерен (рис. 1, в). Тому цю температуру нами було обрано за температуру початку рекристалізації СМК титану, отриманого після 5 циклів гвинтової екструзії. Також спостерігалось подальше звуження дифракційних ліній і зниження рівня акомодацийних напружень в матеріалі.

Зростання температури відпалу приводить до інтенсифікації рекристалізаційних процесів із наближенням системи до більш рівноважного стану і при досягненні температури 550 °С вже формується значна кількість зародків рекристалізації (рис. 1, з). Розділення α -лінії на α_1 та α_2 також є певним свідченням того, що на цьому етапі активно реалізуються процеси зменшення внутрішніх напружень. Проте зберігаються ознаки деформованої структури, оскільки на рентгенограмах спостерігається збереження суцільності дифракційних ліній від деформованих зерен.

При відпалі 600 °С продовжується зростання новоутворених зерен та зародження нових центрів рекристалізації зі збереженням окремих елементів суцільності кільцевих ліній (рис. 1, д). І лише при досягненні температури 650 °С дифракційні лінії повністю складаються з точкових рефлексів (рис. 1, е), що вказує на повне зняття наклепу та початок збиральної рекристалізації. Для відпалених зразків, починаючи з температури 385 °С, дифракційні лінії на рентгенограмах характеризуються рівномірним азимутальним розподілом інтенсивності; також на рентгенограмах наявні і більш слабкі лінії, які не спостерігалися при низьких температурах відпалювання. Останнє дає можливість зробити висновки про зміни характеру текстури деформації в процесі рекристалізаційних процесів, що, в свою чергу, означатиме зменшення анізотропності матеріалу порівняно з деформованим станом.

Отже, за результатами проведених досліджень встановлено:

- температура початку рекристалізації субмікрорекристалічного титану, отриманого після 5 циклів гвинтової екструзії, становить 385 °С, що на 195 °С менше порівняно із такою характеристикою для звичайного полікристалічного титану ВТ1-0. Одержані дані визначають пріоритет у виборі наступного режиму термічної обробки – дорекристалізаційний відпал при $t = 300$ °С протягом 1 години, при якому реалізується зменшення мікронапружень II роду при збереженні високого рівня показників міцності, сформованих при гвинтовій екструзії [3].

- не виявлено ознак динамічної рекристалізації як одного з механізмів подрібнення структури при інтенсивній пластичній деформації.

Список літератури

1. Бейгельзімер Я. Е. Винтовая экструзия – процесс накопления деформации / [Я. Е. Бейгельзімер, В. Н. Варюхин, Д. В. Орлов, С. Г. Сынков] – Донецк : Фирма ТЕАН, 2003. – 87 с.

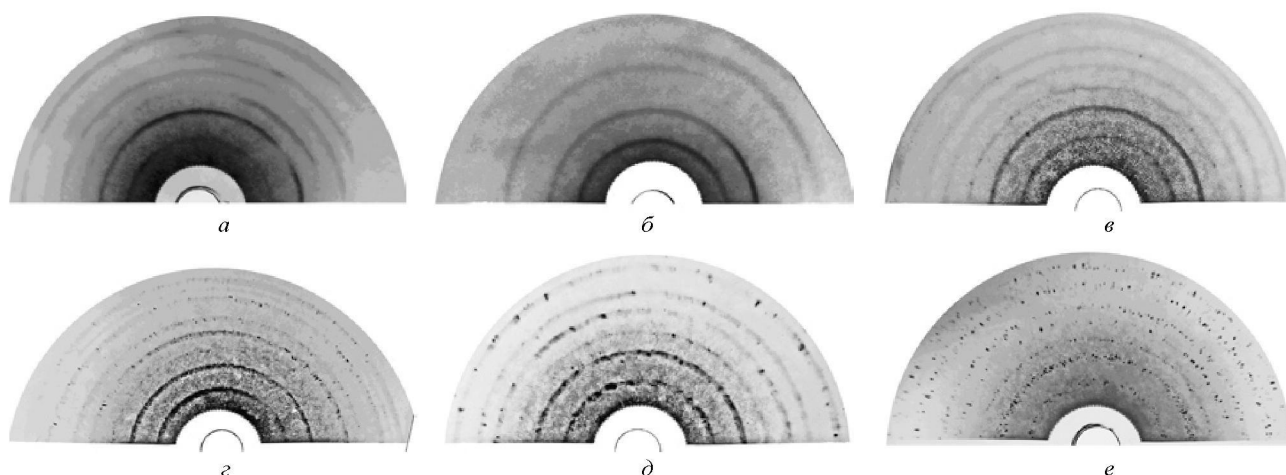


Рис. 1. Вплив ПД та термічної обробки на структурний стан титану ВТ1-0 (рентгенограми отримані в камері КРОС):

a – деформація 1 цикл; *б* – 5 циклів; *в* – відпал 385 °С; *з* – 550 °С; *д* – 600 °С; *е* – 650 °С

2. Солонина О. П. Жаропрочные титановые сплавы / О. П. Солонина, С. Г. Глазунов М. : Металлургия, 1976. – 448 с.
3. Павленко Д. В. Деформационное поведение и выносливость сплава VT1-0 с субмикроструктурой / Д. В. Павленко, Д. В. Ткач, В.Л. Грешта // Вестник двигателестроения. – 2011. – № 1. – С. 125–131.

Одержано 15.04.2013

Ткач Д.В., Степанова Л.П., Ольшанецкий В.Е., Грешта В.Л. Рентгеноструктурное исследование процессов рекристаллизации в титане VT1-0 с субмикроструктурой

Проведено исследование влияния интенсивной пластической деформации на процессы рекристаллизации титана VT1-0. Установлено, что температура начала рекристаллизации составляет 385 °С. При этом зафиксировано значительное возрастание микронапряжений II рода после проведения винтовой экструзии, которые можно уменьшить проведением дореакристаллизационного отжига при температуре $t = 300$ °С в течение 1 часа.

Ключевые слова: титан VT1-0, рекристаллизация, винтовая экструзия, микронапряжения.

Tkach D., Stepanova L., Olshanetskyi V., Greshtha V. X-ray diffraction analysis of recrystallization processes in titanium vt1-0 submicrocrystalline structure

The influence of intensive plastic deformation on the recrystallization process in titanium VT1-0 investigated. The temperature of recrystallization beginning is 385 ° C. A considerable increase in the type II microstrain after twist extrusion is fixed that can reduced by using before-recrystallization annealing at $t = 300$ °C for 1 hour.

Key words: titanium VT1-0, recrystallization, twist extrusion, microstrain.
