ТЕЗИСЫ ДОКЛАДОВ

МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ
«Физическая мезомеханика. Материалы с многоуровневой иерархически организованной структурой и интеллектуальные производственные технологии»

6–10 сентября 2021 г.
Томск, Россия

Томск – 2021
Издательство ТГУ

DOI: 10.17223/978-5-907442-03-0-2021-081

ИЗМЕНЕНИЕ УДАРНОЙ ВЯЗКОСТИ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ ВТ8 И ВТ14 ПОСЛЕ ПОПЕРЕЧНО-ВИНТОВОЙ ПРОКАТКИ И КОНТРОЛИРУЕМОГО ОХЛАЖДЕНИЯ

[1]Власов И.В., [1]Гоморова Ю.Ф., [2]Яковлев А.В., [1]Найденкин Е.В.
[1]Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, Томск
[2]Национальный исследовательский Томский политехнический университет, Томск

Титановые деформируемые сплавы характеризуются высокими механическими свойствами, коррозионной стойкостью и низкой плотность, что позволяет изготавливать из них лёгкие и прочные изделия. Эти сплав хорошо свариваются и широко применяются для изготовления деталей ответственного назначения. Традиционно, для получений высоких значений твёрдости и временного сопротивления на разрыв, применяют термообработку, состоящую из закалки в воду с последующим старением в процессе которого происходи распад нестабильных фаз и выделение дисперсных упрочняющих частиц [1].

Дополнительным видом упрочнения может быть модификация поверхности [2], изменение химического состава сплава [3] или деформационное воздействие [4]. В этой связи применение поперечно-винтовой прокатки (ПВП) позволяет проводить контролируемое, при необходимости многоступенчатое, деформационное упрочнение [5]. Нагрев титановых сплавов до температуры близкой к температуре полиморфного превращения обеспечивает высокую деформацию, без образования хрупких трещин, а последующая закалка «фиксирует» сформированную структуру. Однако, такое состояние отличается высокой хрупкостью и низкой ударной вязкостью. Для получения структуры сплава, сочетающей в себе как высокую твёрдость, так и пластичность ведутся работы по оптимизации процессов прокатки и термической обработки [6]. Наиболее удобным механизмом управление структурой в данном случае является контролируемое охлаждение после прокатки для повышения пластичности и ударной вязкости сплава [7].

В качестве исследуемого материала были выбраны деформируемые титановые сплавы ВТ8 и ВТ14 с разной температурой полного полиморфного превращения (разница составляет ~60 °С [1]) для оценки структуры и механических свойств сплавов после деформационного упрочнения и закалки в воду (режим I). Различия в температуре полиморфного превращения должны привести к различному структур-фазовому состоянию после ПВП и последующего резкого охлаждения (~11 °С /сек). Для повышения пластичности и ударной вязкости сплавов в работе предложен второй вид обработки (режим II), заключающийся в добавлении к первому режиму контролируемого охлаждения на воздухе (~1.5 °С/сек) после поперечно-винновой прокатки и перед закалкой в воду. Такая «пауза», по мнению авторов, должна снизить наклёп за счёт термической релаксации напряжений и дать время для роста α+β фаз перед закалкой для предотвращения формирования мелкозернистой или мартенситной хрупкой структуры. В результате должна сформироваться более равновесная по сравнению с первым режимом структура, в то же время более прочная в сравнении с традиционным отжигом после заводской прокатки.

Таким образом, целью данной работы было провести исследование различий в формировании структуры и ударной вязкости деформационных титановых сплавов с разной температурой полного полиморфного превращения после поперечно-винтовой прокатки, а так же оценить влияние двухэтапного охлаждения сплавов после прокатки на изменение их пластичности и прочности.

Сплав ВТ8 в состоянии поставки состоит из первичных β зёрен с прослойками α-фазы. Обработка материала по двум режимам приводит к формированию бинарной структуры, выделению α-кристаллов в матрице $\alpha+\beta$. Основные отличия структуры сплава после разных режимов обработки заключаются в формировании в центральной части прутка α-частиц различной формы. Так для режима I α-частицы принимают форму вытянутых ламелей в виду высокой скорости охлаждения, в то время как для режима II α-кристаллы имеют форму равноосных частиц в результате дополнительного этапа охлаждения на воздухе.

Сплав ВТ14 в состоянии поставки имеет аналогичную структур, состоящую из первичных β зёрен с прослойками α-фазы. В виду наличия дополнительного β-стабилизатора в виде ванадия, снижающего температуру полиморфного превращения, обработка сплава ВТ14 по режиму I приводит формированию крупных α'-зерен с выделением по их границам β-фаз в виде игольчатых пластин. Добавление этапа охлаждения (режим II) на воздухе повышает долю β-фазы формируя сложную игольчатую $\alpha+\beta$ структур внутри первичных β-зерен.

Поверхностный слой, испытавший в процессе прокатки максимальную степень деформации, а при закалке более высокую скорость охлаждения по сравнению с сердцевиной прутка, демонстрирует высокие значения твердости. Наибольшее упрочнение материала происходит на глубине до 150 мкм для всех видов сплавов и режимов обработки.

При прокатке по режиму I, для сплавов ВТ8 и ВТ14, получены наименьшие значения ударной вязкости (рис. 1). Причиной этого для сплава ВТ8 является сформированная $\alpha+\beta$ структура с выделением длинных пластин α-фазы, сдерживающих пластическую деформацию. В случае ВТ14 после обработки по режиму I формируется хрупкая мартенситная структура, приводящая к падению ударной вязкости.

Высокие значения ударной вязкости сплава ВТ8 после обработки по режиму II, по сравнению с режимом I и состоянием поставки, объясняются формированием однородной структуры с выделением множества кристаллов α-Ti и увеличением протяжённости их границ. Наличие протяжённых границ приводит к повышению нагрузки, требуемой для зарождения трещины, и увеличению ударной вязкости. Дополнительный этап охлаждения в режиме II для сплава ВТ14 приводит к частичному восстановлению ударной вязкости, однако она остаётся несколько ниже по сравнению с состоянием поставки. Восстановление значений ударной вязкости сплава ВТ14 в первую очередь объясняется увеличением количества β-фазы и характером её распределения в сплаве по сравнению с режимом I.

Отрицательная температура испытаний приводит к снижению значений ударной вязкости для всех сплавов по причине блокирования механизмов пластической деформации. Так же пропорционально падает ударная вязкость после двух видов обработок.

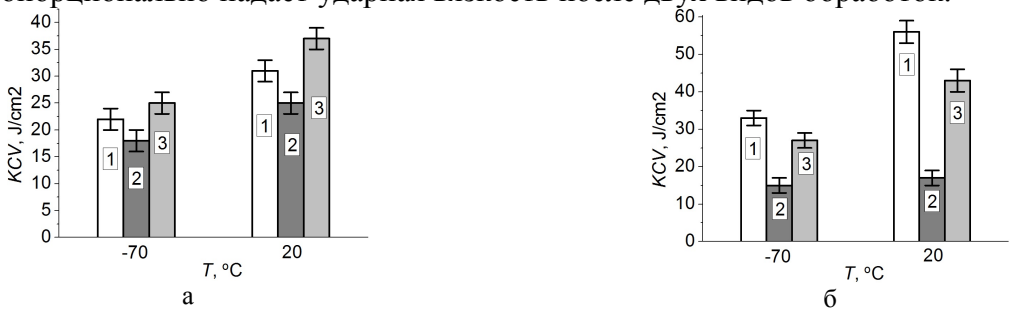

Рис. 1. Диаграммы ударной вязкости в зависимости от температуры испытания: сплав ВТ8 (а); ВТ14 (б); 1 –состояние поставки; 2 – после ПВП по режиму 1; 3 – после ПВП по режиму 2

Работа выполнена в рамках государственного задания ИФПМ СО РАН, тема номер FWRW-2021.

1. Титановые сплавы. Металлография титановых сплавов / Н.Ф. Аношкин, А.Ф. Белов, С.Г. Глазунов и др. Москва, Изд.-во Металлургия. – 1980. – 464 с.
2. Pushilina N., Stepanova E., Stepanov A., Syrtanov M. Surface Modification of the EBM Ti-6Al-4V Alloy by Pulsed Ion Beam // Metals. 2021. Vol. 11(3). P. 512.
3. Bahador A., Umeda J., Ghandvar H., et al. Microstructure globularization of high oxygen concentration dual-phase extruded Ti alloys via powder metallurgy route // Materials Characterization. 2021. Vol. 172. Article 110855.
4. Wojtas D., Wierzbanowski K., et al. Microstructure-strength relationship of ultrafine-grained titanium manufactured by unconventional severe plastic deformation process // Journal of Alloys and Compounds. 2020. Vol. 837. 155576.
5. Naydenkin E.V., Mishin I.P., et al. Fatigue and fracture behavior of ultrafine-grained near β titanium alloy produced by radial shear rolling and subsequent aging // Materials Science and Engineering: A. 2021. Vol. 810. 140968.
6. Chi G., Liu H., Yi D. Drastic improvement in elongation and impact toughness of Ti–Al–V–Mo–Zr alloy tube via three-step heat treatment // Materials Letters. 2021. Vol. 284 (Part 1). 128925.
7. Chong Y., Bhattacharjee T., et al. Deformation mechanism of bimodal microstructure in Ti-6Al-4V alloy // Journal of Materials Science & Technology. 2021. Vol. 71. P. 138-151.