

ИССЛЕДОВАНИЕ ХАРАКТЕРА РАЗРУШЕНИЯ ПОЛУФАБРИКАТОВ ИЗ ВЫСОКОЛЕГИРОВАННОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВА

Водолазский Ф.В., Гадеев Д.В., Кудинов И.В.

Научный руководитель – доц., к. т. н. Демаков С.Л.

ФГАОУ ВПО «Уральский федеральный университет имени первого
Президента России Б.Н.Ельцина», г. Екатеринбург,
f.v.vodolazskiy@ustu.ru, d.v.gadeev@ustu.ru

Высоколегированные титановые сплавы с успехом применяются в качестве материала крупногабаритных штамповок для авиапромышленности, где требуются высокие значения ударной вязкости и удельной прочности. Рассматриваемый в данной работе промышленный сплав VST 5553 имеет высокие свойства, но далеко не всегда удается получить высокие значения ударной вязкости и удельной прочности в конечном изделии. Окончательной ступенью обработки сплава VST5553 на высокие значения вязкости разрушения в настоящее время является 6-часовое старение при температуре $T_{пп-190}^{\circ}\text{C}$ [1].

Металлографический анализ проводился на микроскопе Olympus GX51. Фрактография проводилась на растровом электронном микроскопе Philips SEM 535. Рентгеноструктурный фазовый анализ (РСФА) проводился на рентгеновском дифрактометре Bruker D8 Advance в излучении K_{α} Cu. Для оценки показателей прочности, а также вязкости разрушения при различных типах нагружения были проведены механические испытания на ударный изгиб (образец Менаже) и на замедленное разрушение (3-х точный изгиб образца с V-образным концентратором со скоростью нагружения 1 мм/мин).

Используя стандартные методики [2], были проведены расчеты величины ударной вязкости KCU исследуемого сплава после обработки по стандартной технологии. Значение ударной вязкости KCU составило 0,49 МДж/м².

Анализ полученных параметров разрушения показал, что в случае использования промышленного режима обработки данного сплава, включающего одноступенчатое старение при $T_{пп-190}^{\circ}\text{C}$ в течение 6 часов, формирующаяся структура характеризуется пониженными значениями сопротивления разрушению.

Для выявления возможных причин низких показателей сопротивления разрушению был проведен металлографический анализ структуры сплава после обработки по промышленному режиму (рис. 1), а также фрактографический анализ поверхностей разрушения после механических испытаний (рис. 2.).

Анализ микроструктуры показал (рис. 1) наличие крупного рекристаллизованного зерна ($d_{cp}=0,5$ мм) со сплошной α -оторочкой. В теле зерна присутствовали как крупные пакеты первичных α -пластин, преимущественно растущих от границы зерна, так и относительно мелких пластин, образовавшихся при старении. В приграничных зонах и между первичными пластинами присутствовали зоны, свободные от вторичных выделений (рис. 1 – показаны стрелкой).

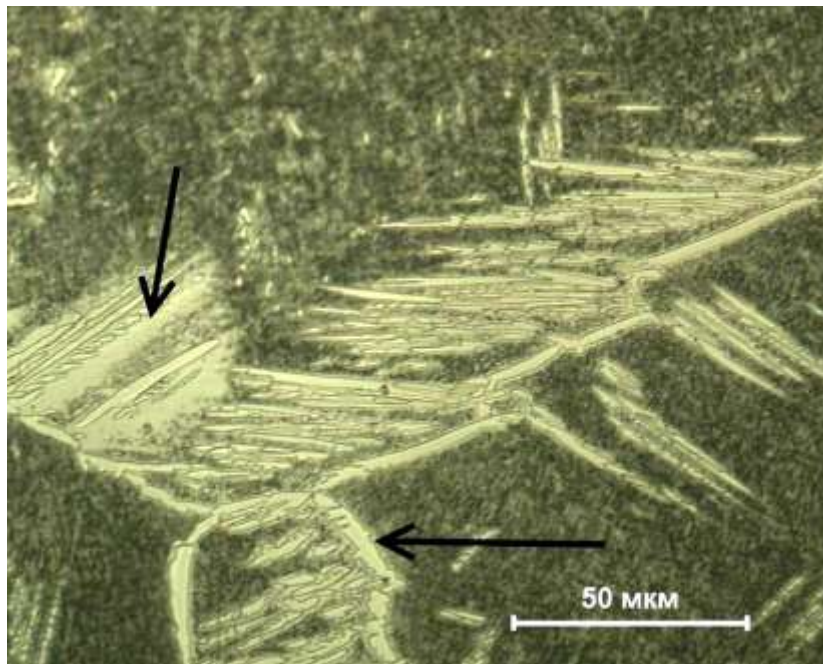


Рисунок 1 Микроструктура сплава VST5553 после обработки по промышленному режиму

Анализ микроструктуры показал (рис. 1) наличие крупного рекристаллизованного зерна ($d_{cp}=0,5$ мм) со сплошной α -оторочкой. В теле зерна присутствовали как крупные пакеты первичных α -пластин, преимущественно растущих от границы зерна, так и относительно мелких пластин, образовавшихся при старении. В приграничных зонах и между первичными пластинами присутствовали зоны, свободные от вторичных выделений (рис. 1 – показаны стрелкой).

Фрактографический анализ поверхностей разрушения показал, что разрушение материала при используемом промышленном режиме обработки при обоих типах нагружения происходит по межзеренным границам и частично по межпластинчатым прослойкам (рис. 2). Кроме того, обнаружено, что распространение трещины происходит именно по зоне, свободной от выделений α -фазы.

Анализ дифракционной картины подтвердил, что структура сплава после промышленного режима обработки состоит из значительного количества α -фазы и некоторой доли остаточного метастабильного β -

твердого раствора. Кроме того обнаружено, что дифракционные максимумы от ОЦК-решетки β -фазы (рис. 3) являются заметно ассиметричными и имеют более высокую пологость на восходящей ветви дифракционного эффекта.

Используя программно-аппаратный комплекс Bruker AXS «Tops» (версия 4.2) был проведен полнопрофильный анализ дифрактометрических данных по методу Ритвельда. Так, на рис. 3 показан участок дифрактограммы сплава после обработки по промышленному режиму с расчетным разделением линии $(200)_\beta$ на две β -фазы обедненной и обогащенной β -стабилизирующими элементами.

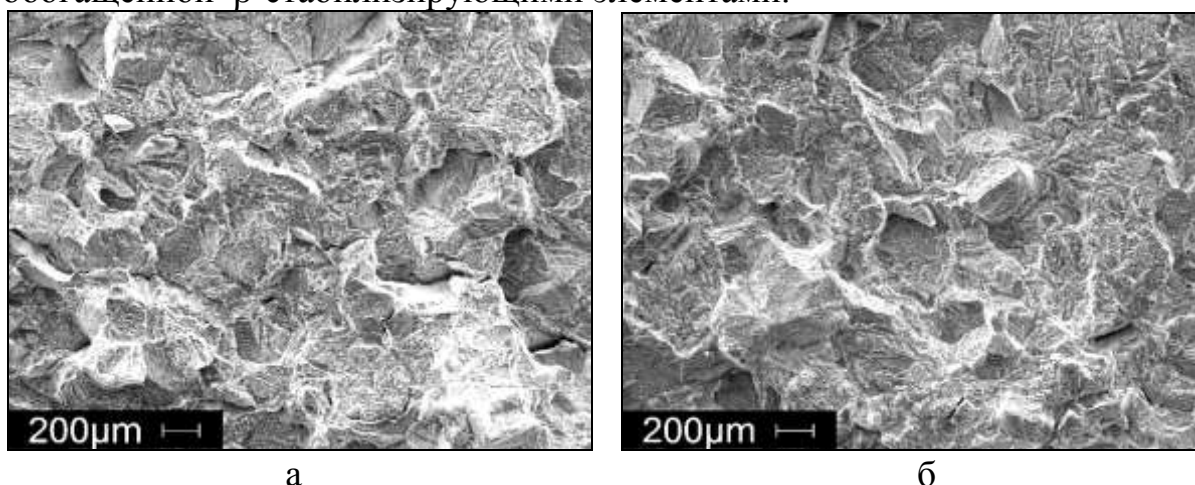


Рисунок 2 Структура поверхностей разрушения сплава VST5553 при различных типах нагружения: а) испытание на ударный изгиб; б) испытание на замедленное разрушение.

Используя программно-аппаратный комплекс Bruker AXS «Tops» (версия 4.2) был проведен полнопрофильный анализ дифрактометрических данных по методу Ритвельда. Так, на рис. 3 показан участок дифрактограммы сплава после обработки по промышленному режиму с расчетным разделением линии $(200)_\beta$ на две β -фазы обедненной и обогащенной β -стабилизирующими элементами.

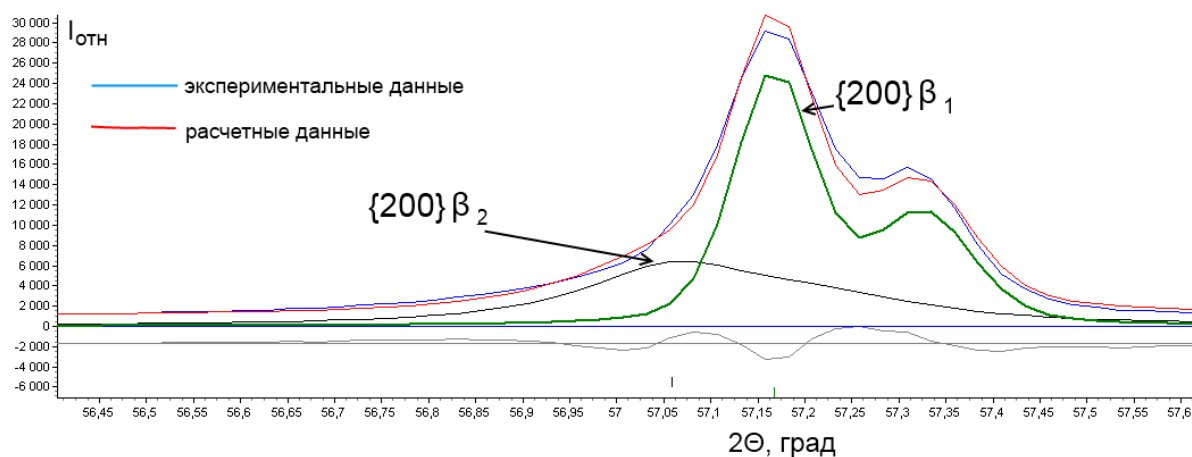


Рисунок 3 Расчетные и экспериментальные данные полнопрофильного анализа участка дифрактограммы сплава VST5553 по методу Ритвельда

С учетом общеизвестных соотношений, совершенно очевидно, что линия (200) β_2 , расположенная при более низких углах дифракции соответствует β -фазе с более высоким кристаллографическим периодом a_β , а более интенсивная линия (200) β_1 – фазе с пониженным периодом решетки.

Большинство β -стабилизирующих элементов, за исключением циркония, понижают период решетки β -твердого раствора [3], а цирконий, как показано ранее в настоящей работе, а также другими авторами [4], имеет тенденцию к равномерному распределению между α - и β - фазами в сплавах титана. Исходя из этого, можно полагать, что линия (200) β_2 соответствует менее легированной β -фазе, а линия (200) β_1 – фазе равновесного состава.

При этом стоит отметить, что влияние α -стабилизирующих элементов на период « a_β » в данном случае можно не учитывать, т.к. в структуре сплава наблюдается большая объемная доля α -фазы и основная масса данных элементов растворена в ней.

Области β -твердого раствора в структуре, обладающие различным химическим составом, характеризуются различной стабильностью к распаду при термической обработке [5], а также различным уровнем механических свойств [6] причем фаза β_2 является менее стабильной и прочной.

Таким образом, на основе совместного анализа результатов металлографического, фрактографического и рентгеноструктурного методов сделано предположение, что распространение трещины при механических испытаниях протекает главным образом по областям обедненного β_2 -твердого раствора, не испытавшего распад при старении.

На основе проведенных исследований структуры и свойств сплава VST5553 были сделаны следующие выводы.

1. При обработке сплава VST5553 по промышленному режиму в структуре после окончательного старения сохраняются области β -твердого раствора, свободные от продуктов диффузионного распада по которым происходит преимущественное распространение трещины при механических испытаниях, что приводит к снижению показателей вязкости разрушения;

2. Использование метода полнопрофильного рентгеноструктурного анализа позволило провести разделение дифракционных линий обедненного и равновесного по составу β -твердого раствора, причем распространение трещины происходит по областям обедненного β_2 -твердого раствора;

Литература

1. R.D.Briggs. Tough, high-strength titanium alloys; methods of heat treating titanium alloys. Патент США № 7785429, 2010.
2. Золотаревский В.С. Механические свойства металлов - 3-е изд., перераб. и доп. - М.: МИСИС, 1998. -400 с.
3. Цвиккер У. Титан и его сплавы. М.: Metallургия, 1979. 511 с.
4. Гуськова Е.И., Лашко Н.Ф., Солонина О.П., Ермолова М.И. / Распределение олова и циркония между фазами в $\alpha+\beta$ - титановых сплавах // Металловедение и термическая обработка металлов, №3. 1979 г. С. 54-56.
5. Попова Л.Е, Попов А.А. Диаграммы превращения аустенита в сталях и бета-раствора в сплавах титана. Справочник, 1991 год, "Металлургия", 503 с.
6. Калачев Б.А., Ливанов Б.А., Елагин В.И. Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов. – М.: МИСИС, 2005.

Работа выполнена в рамках госбюджетной темы Н977.42.Г001/12 «Теоретическое и экспериментальное исследование перспективных конструкционных сплавов и функциональных материалов с интерметаллидами», а также при финансовой поддержке УрФУ в рамках конкурса на проведение исследований молодыми учеными Уральского федерального университета имени первого Президента России Б.Н. Ельцина.