

УДК 669:539.2

Л.С.Чигинцев (асп., каф. СиС), А.А.Казаков, д.т.н., проф.

ВЛИЯНИЕ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ НА СВОЙСТВА ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ

Титановые сплавы, вместе со сталями и сплавами на основе алюминия, получили широкое применение в машиностроении благодаря своему уникальному комплексу свойств. Именно благодаря своей высокой удельной прочности, коррозионной стойкости, немагнитности и прочим свойствам сплавы на основе титана все чаще используются в тех областях судо- и машиностроения, где до недавнего времени применялась исключительно сталь.

Но несмотря на массу положительных качеств, титановые сплавы имеют определенные недостатки, причиной многих из которых является анизотропия ГПУ-решетки низкотемпературной α -модификации. Например, под влиянием анизотропии и невысокой теплопроводности при термическом и механическом воздействии, по сечению титановых заготовок может возникать значительная неоднородность, выраженная в неравномерном распределении легирующих элементов или неравномерности протекания превращений.

Таким образом, появляется анизотропия и нестабильность механических свойств у заготовок. Именно поэтому, остро стоит проблема выбора оптимального режима термической обработки, и как следствие, поиск зависимостей «состав-структура-свойства» для сплавов на основе титана.

Цель настоящей работы – установить взаимосвязь «состав-структура-свойства» для двухфазного титанового сплава Ti-6Al-6Zr-2V. Для достижения поставленной цели решены задачи изучения микроструктур при помощи анализатора изображений с учетом специфики морфологии структурных элементов титановых сплавов, задачи термодинамического моделирования фрагментов диаграмм состояния исследуемой композиции при заданных температурах отжига и задачи статистической обработки результатов.

Сплав Ti-6Al-6Zr-2V – это экспериментальный судокорпусный сплав, разработанный ЦНИИ КМ «Прометей», по свойствам он схож с другими промышленными прометеевскими сплавами ПТ-3В и ПТ-17.

Образцы из сплава Ti-6Al-Zr-2V получены в результате деформации со степенью 80% в β -($\alpha+\beta$)-областях и последующего ускоренного охлаждения. Затем образцы подвергались отжигу при разных температурах (800°, 850°, 880°, 950°, 970°, 1000° и 1050°) в течение 5 часов и охлаждению на воздухе.

Вся пробоподготовка для исследования была проведена на лабораторном оборудовании «Buehler». Она включала отрезку образцов, горячую запрессовку в фенольные или эпоксидные смолы, операции шлифования и полирования. Дальнейшее исследование образцов произведено на металлографическом микроскопе Nikon Epihot, а анализ изображений, построение панорамных изображений, расчет метрических параметров структуры произведен при помощи анализатора Thixomet.

Термодинамические расчеты выполнены с использованием коммерческого продукта ChemSage 4.1, а также баз термодинамических данных SGTE (Scientific Group Thermodynamic Europe). Произведен расчет фазового равновесия, который позволил предсказать состояние химического равновесия в системе при заданных: давлении, температуре и химическом составе компонентов системы.

Произведено два вида статистического анализа: предварительный расчет коэффициентов корреляции рассчитанных параметров структуры и предоставленных механических свойств, и расчет доверительных интервалов для средних параметров структуры.

Для корреляционного анализа свойств и структуры сплава в работе использована программа StatSoft Statistica 6.0. В итоге получены корреляционные матрицы, где фактором является параметр структуры, а откликом – механическое свойство.

По результатам термодинамического моделирования можно сделать следующие заключения: в сплаве Ti-6Al-6Zr-2V α -фаза в равновесном состоянии стабильна до температуры 790°C, а затем происходит превращение α -твердого раствора в β -фазу. Полное превращение ($\alpha+\beta$)-смеси в β -фазу происходит при температуре 970°C.

Как следует из расчетов равновесия сплава Ti-6Al-6Zr-2V, при температуре выше 790°C начинается двухфазная ($\alpha+\beta$)-область, поэтому начинается $\alpha\rightarrow\beta$ -превращение; стабильная β -фаза после превращения имеет вид крупных блоков. Вместе с тем, как следует из анализа эволюции структуры сплавов, при этих же температурах начинают развиваться процессы распада метастабильной β -фазы. То есть той фазы, которая существовала в металле при таких температурах, когда в равновесном состоянии там может быть только 100% α -фазы. Морфология такой метастабильной β -фазы значительно более дисперсная и представляет собой отдельные выделения, равномерно распределенные по плоскости шлифа, поэтому разница в морфологии этих двух типов β -фазы позволяет однозначно судить об их эволюции или скоростях превращения при разных температурах отжига.

Можно представить как выглядит динамика процессов распада и образования β -фаз: до температуры 850°C скорость образования стабильной β -фазы из α -твердого раствора превышает скорость распада метастабильной, существовавшей до температуры 790°C β -фазы, поэтому наблюдаем прирост суммарной β -фазы при повышении температуры отжига в этом интервале температур. На участке 850-880°C скорость образования стабильной β -фазы в виде блоков затормаживается, а растворение метастабильной - продолжается. На участке 880-950°C распад метастабильной β -фазы резко уменьшается, так как он блокируется интенсивным ростом по всему объему стабильной β -фазы. Для этого температурного интервала наблюдаем резкий прирост β -фазы. Наконец, в интервале 950-970°C происходит окончательное растворение оставшихся фрагментов мелких частиц метастабильной β -фазы и ее превращение в α -фазу.

С повышением содержания менее прочной, но более пластичной β -фазы заметно снижаются прочностные характеристики, а пластические свойства практически не меняются. Локальные «скачки» прочности объясняются тем, что при температурах 880°C и 970°C происходит интенсивный распад метастабильной β -фазы и превращение ее в α -фазу. Эти кратковременные повышения содержания α -фазы положительно влияют на прочность, так как α -фаза оказывает большее влияние на прочность сплава. Изменение ударной вязкости имеет тот же характер, что и кривая изменения дисперсности β -фазы в зависимости от температуры отжига.

Таким образом, в работе получены следующие результаты.

1. Установлена взаимосвязь «состав-структура-свойства» для сплава Ti-6Al-6Zr-2V:

- прочностными характеристиками и объемным процентом β -фазы;
- пластическими характеристиками и объемным процентом β -фазы;
- дисперсностью β -фазы и ударной вязкостью;
- толщинами α - и β -пластин и пластическими свойствами.

2. Установлено, что структура сплава Ti-6Al-6Zr-2V эволюционирует при повышении температуры отжига под влиянием двух параллельно развивающихся процессов: ступенчатого распада метастабильной β -фазы в интервале температур 850-880°C и 950-970°C, с одной стороны, и монотонного образования стабильной β -фазы из α -твердого раствора, с другой стороны.