

УДК 669:539.2

Г.Ю.Назарян (асп., каф. СиС), С.В.Андреева (м.н.с., каф. СиС), А.А.Казаков, д.т.н., проф.

## РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ОЦЕНКИ ПАРАМЕТРОВ СТРУКТУРЫ ДВУХФАЗНЫХ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ С ПОМОЩЬЮ КОМПЬЮТЕРНОГО АНАЛИЗАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЯ

Титан является одним из наиболее распространенных элементов земной коры. Природные ресурсы титана превышают в несколько раз общее количество хорошо известных и широко применяемых металлов – меди, никеля, олова, свинца, цинка, сурьмы, хрома, марганца, серебра, молибдена, вольфрама, ртути, висмута, золота, платины вместе взятых. Среди конструкционных металлов титан занимает по распространенности на земле четвертое место, уступая только алюминию, железу и магнию. Титан обладает замечательной совокупностью свойств. В нем сочетается высокая прочность при малом удельном весе с большой коррозионной устойчивостью. Некоторые титановые сплавы по прочности превосходят сталь в два раза при вдвое меньшей плотности и при этом сопротивляются коррозии подобно нержавеющей стали.

Механические и служебные свойства титановых сплавов определяются не только фазовым составом, но также морфологией, распределением и тонким строением составляющих их фаз. В связи с этим большое внимание уделяется установлению общих закономерностей влияния структурных факторов на механические и, главным образом, служебные свойства.

Как известно, металлографические методы исследования применяются при изучении причин снижения механических свойств изделий и, особенно, в случаях различного рода поломок и разрушений в процессе эксплуатации. По этим вопросам накоплен довольно большой и ценный материал, являющийся результатом исследований заводских лабораторий и отраслевых институтов различных отраслей промышленности и очень мало освещенный в литературе по титану.

За последнее время в металловедении получили широкое распространение методы количественного микроструктурного анализа, в том числе, с применением средств автоматизации на основе использования компьютеров для анализа изображений (приборы типа Квантимет, Микровидеомат, Эпиквант, Омникон и др.). Применение этих методов для титановых сплавов представляется особенно перспективным вследствие наблюдаемой в практике резкой зависимости свойств этих сплавов от структуры. Так, на основе количественной металлографии в сочетании с вероятностно-статистическими методами корреляционного и регрессионного анализа установлена связь между механическими свойствами и параметрами пластинчатой структуры титановых сплавов.

Целью данной работы является разработка методики объективной оценки метрических параметров структуры двухфазных титановых сплавов типа ВТ-6 с помощью анализатора изображения.

Для достижения поставленной цели поставлены и решены следующие задачи исследования:

-разработка процедуры склеивания смежных полей зрения для создания панорамных изображений и сравнительная оценка объективности описания структуры при анализе панорамы по сравнению с традиционным анализом нескольких отдельных полей зрения;

-разработка алгоритмов обработки изображения для идентификации отдельных структурных составляющих сплавов;

-подготовка шлифов и исследование партии образцов сплавов ВТ-6;

-исследование взаимосвязи метрических параметров и механических свойств сплавов.

В работе исследовались сто образцов, вырезанных из серийных рабочих лопаток пятой ступени К1000, изготовленных из сплава ВТ-6. Были взяты образцы из четырех плавок: 1-1246-239, 1-1292-239, 1-1295-240 и 1-1291-239, заготовки цилиндрической формы диаметром 125 мм и длиной 2 метра.

На полученных образцах после проведения механических испытаний делались микрошлифы. Их травление происходило при помощи реактива, состоящего из 100 мл дистиллированной воды, 5 мл азотной кислоты и 2 мл плавиковой.

Изучение шлифов происходило при помощи микроскопа NIKON EPIPHOT при увеличении  $\times 400$  и анализатора изображения Thixomet.

В результате проделанной работы была разработана методика оценки метрических параметров структуры двухфазных титановых сплавов с помощью компьютерного анализа изображения, включающая:

-изготовление панорамы изображения структуры, состоящей из 100 и более обычных полей зрения, для минимизации ошибки игнорирования пограничных зерен;

-выделение первичной  $\alpha$ -фазы из двухфазной структуры сплава, а также оценка ее объемного содержания и метрических параметров (ее количество в процентах, количество ее зерен, их средняя площадь, периметр, выпуклый периметр, максимальный и минимальный диаметры, фактор формы, протяженность);

-разделение слипшихся первичных зерен  $\alpha$ -фазы или выявление скелетонов, образованных конгломератами  $\alpha$ -фазы;

-оценка дисперсности смеси ( $\alpha+\beta$ ).

Эффективность работы методики и анализатора в целом проверена на 16-ти мегапиксельных панорамах изображений, построенных при исследованиях ста образцов, вырезанных из серийных рабочих лопаток пятой ступени К1000, изготовленных из сплава типа ВТ-6, имеющих различные содержания  $\alpha$ -фазы (0-85%), различную дисперсность ( $\alpha+\beta$ ) смеси (от 1 до 6) и различное удельное количество зерен первичной  $\alpha$ -фазы (от 40 до 2800).

Создана база данных панорамных изображений и метрических параметров структур для всех 100 исследованных сплавов.

Показано, что при оценке структуры титановых сплавов по отдельным полям зрения значительная доля зерен первичной  $\alpha$ -фазы попадает на границу поля зрения и не может быть измерена. Поэтому традиционный анализ структуры титановых сплавов по отдельным полям зрения не дает объективной оценки, а для этой цели может быть использован разработанный в данной работе анализ на основе панорамы.

Показано, что одинаковыми кратковременными свойствами могут обладать сплавы, имеющие совершенно разные структуры, и наоборот, сплавы с одинаковыми структурами могут обладать совершенно разными кратковременными механическими свойствами.

Статистической обработкой результатов измерений показано, что коэффициент корреляции найденных метрические параметры структуры с кратковременными механическими свойствами не превышает 42%.

Для поиска объективного комплексного критерия оценки качества структуры двухфазных титановых сплавов типа ВТ-6 целесообразно произвести статистическую обработку полученных метрических параметров совместно с усталостными свойствами этих сплавов.