

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВОГО СОСТАВА И СТРУКТУРЫ В ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si ПРИ ТЕРМОВОДОРОДНОЙ ОБРАБОТКЕ

Гвоздева О.Н., Пожого В.А.

Научный руководитель: проф., д.т.н. Скворцова С.В.

«МАТИ»-Российский государственный технологический университет
им. К.Э. Циолковского

121552, г. Москва, ул. Оршанская, 3; каф. МиТОМ

Тел.: (499) 141-94-61, факс (495) 417-89-78 E-mail: mitom@implants.ru

Одним из перспективных направлений развития жаропрочных материалов является создание новых титановых сплавов, и в частности с повышенным содержанием алюминия. Однако, в титановых сплавах с концентрацией алюминия, превышающей его предельную растворимость в α -фазе (~7%), в процессе длительной эксплуатации при повышенных температурах происходит выделение в частицах α -фазы дисперсной, когерентной α_2 -фазы на основе интерметаллида Ti_3Al , что приводит к охрупчиванию материала и разрушению деталей в процессе эксплуатации.

Решить проблему термической стабильности таких сплавов традиционными методами термической или термомеханической обработки не предоставляется возможным. Поэтому разработанные еще на рубеже 60-х - 70-х годов сплавы этого класса (СТ4, Ti-8111) с содержанием алюминия 8-9% не нашли практического применения и актуальным стал поиск принципиально новых технологических способов обработки жаропрочных титановых сплавов с интерметаллидным упрочнением, которые позволили бы решить эту проблему. Одним из таких способов является термоводородная обработка (ТВО), основанная на обратимом легировании водородом.

Таким образом, цель работы состояла в установлении закономерностей влияния термоводородной обработки на формирование фазового состава и структуры в опытном титановом сплаве Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si.

Наводороживание образцов осуществляли в установке Сивертса до концентраций 0,2%, 0,4% и 0,6% при температурах ($\alpha+\beta$)-области 750 - 900°C с шагом 50°C. По завершении процесса поглощения образцы выдерживали при температуре наводороживания при равновесном давлении водорода в течение 3-х часов. Во всех случаях охлаждение до нормальной температуры проводили со скоростью 1 К/с.

Установлено, что введение в сплав 0,2% водорода при температуре 900°C и последующее охлаждение со скоростью 1°К/с приводит к

формированию структуры, содержащей помимо первичной α^I -фазы и α'' -мартенсита и небольшого количества β - фазы.

Увеличение содержание водорода до 0,4% при данной температуре приводит к формированию структуры, в которой присутствуют α^I - и β -фазы, причем происходит обогащение первичной α^I - фазы алюминием, что создает условия для протекания в её микрообъемах начальных процессов упорядочения с образованием α_2 -фазы.

Дальнейшее увеличение концентрации водорода до 0,6% приводит к завершению процессов перераспределения алюминия в α - и β -фазах. В результате в частицах «первичной» α -фазы концентрация алюминия достигает стехиометрического состава и происходит полное ее упорядочение, т.е. частицы «первичной» α -фазы полностью переходят в частицы α_2 -фазы. Таким образом, в сплаве формируется структура, содержащая первичные частицы α^I - фазы, обогащенные алюминием до состава α_2 -фазы и β - фазы.

Наводороживание в интервале температур 850 – 750°C до концентрации водорода 0,2% позволяет получить $(\alpha+\beta)$ -структуру. Дальнейшее увеличение содержания водорода приводит к формированию сложной гетерофазной $(\alpha+\alpha_2+\beta)$ -структуры, причем чем больше в сплаве водорода, тем больше сохраняется в структуре количество β -фазы.

На основании полученных данных была построена диаграмма, показывающая изменение фазового состава опытного сплава Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si в зависимости от температуры и концентрации водорода и определено, что с точки зрения создания в сплаве гетерофазной структуры, содержащей α_2 -фазу, наиболее предпочтительным является наводороживающий отжиг в интервале температур 700°C - 850°C до концентрации водорода 0,6% масс (рис. 1).

Почти все схемы термоводородной обработки включают вакуумный отжиг как заключительную операцию в целях удаления водорода из изделия или полуфабриката до безопасных концентраций. Однако в процессе дегазации при вакуумном отжиге происходит преобразование структуры сплава вследствие развития $\beta \rightarrow \alpha$ - превращения.

На следующем этапе работы изучения было исследовано влияние температуры вакуумного отжига на формирование фазового состава и структуры опытного сплава Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si, дополнительно легированного водородом.

Вакуумный отжиг проводили при температурах 800°C, 750°C, 700°C и 650°C, в течение 5, 6, 9 и 12 часов, соответственно. Причём максимальная температура вакуумного отжига была на 50°C ниже температуры наводороживающего отжига. Конечное содержание водорода в образцах не превышало 0,004%.

На основании данных рентгеноструктурного и электронно-микроскопических анализов установлено, что если наводороживающий отжиг проводился при температурах 700°C – 800°C, то вакуумный отжиг в

интервале температур 650°C – 750°C приводит к формированию структуры, состоящей из первичных некогерентных частиц α_2 -фазы, α -фазы, образующейся из β -фазы в процессе дегазации ($\alpha_{\text{дег}}$), и небольшого количества β -фазы (рис. 2). Следует отметить, что образующаяся из обеднённой алюминием β -фазы $\alpha_{\text{дег}}$ -фаза содержит меньше алюминия, чем обогащённая алюминием α_2 -фаза, поэтому её дифракционные максимумы располагаются под меньшими брэгговскими углами.

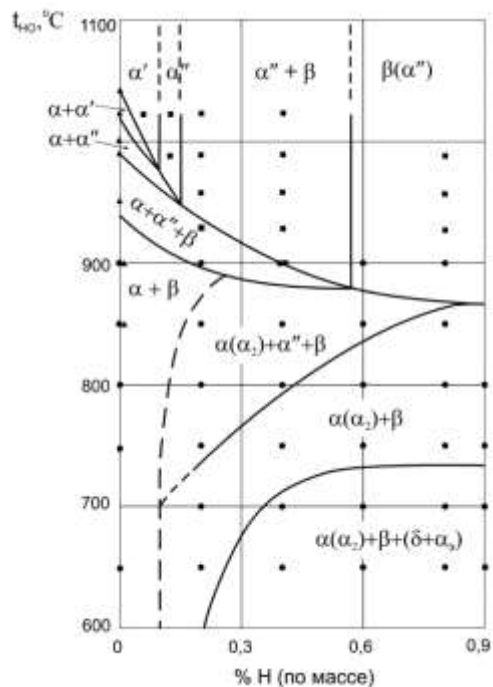


Рис. 1 диаграмма «фазовый состав – концентрация водорода – температура наводороживающего отжига» для сплава Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si после охлаждения до нормальной температуры со скоростью больше первой критической.

Вакуумный отжиг при температуре 800°C после наводороживания образцов до концентрации 0,6% при температуре 850°C приводит к формированию равновесной ($\alpha_p + \beta_p$)-структуры. Это свидетельствует о том, что с повышением температуры вакуумного отжига активизируются процессы диффузии основных легирующих элементов в процессе изотермической выдержки необходимой для удаления водорода до безопасных концентраций.

Таким образом проведённые исследования показали, что для создания в опытном сплаве Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si геторофазной структуры, содержащей некогерентные частицы α_2 -фазы наводороживание необходимо проводить до концентрации 0,6% (по массе) в интервале температур 700°C – 800°C, а температура вакуумного отжига не должна превышать 750°C.

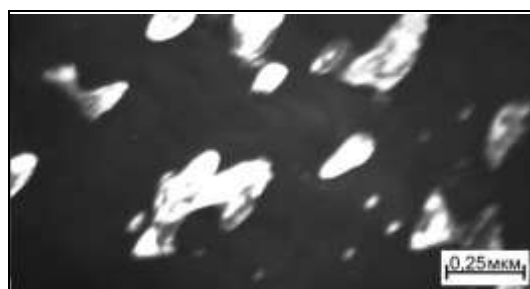


Рис. 2. Результаты электронно-микроскопических исследований фольг на просвет, вырезанных из сплава Ti-8Al-2Mo-2Zr-0,2Si после ТВО, включающей наводороживающий отжиг при 700°C до 0,6%Н и вакуумный отжиг при 650°C темнопольное изображение в сверхструктурном рефлексе ($23\bar{1}$) α_2 -фазы