



Структура и свойства сплавов системы титан–алюминий–галлий

С.Г. Глазунов

О.А. Никишов

О.П. Солонина

Л.В. Сорокина

М.И. Ермолова

Ж.Д. Тхоревская

Июнь 1973

Всероссийский институт авиационных материалов (ФГУП «ВИАМ» ГНЦ РФ) – крупнейшее российское государственное материаловедческое предприятие, на протяжении 80 лет разрабатывающее и производящее материалы, определяющие облик современной авиационно-космической техники. 1700 сотрудников ВИАМ трудятся в более чем 30 научно-исследовательских лабораториях, отделах, производственных цехах и испытательном центре, а также в 4 филиалах института. ВИАМ выполняет заказы на разработку и поставку металлических и неметаллических материалов, покрытий, технологических процессов и оборудования, методов защиты от коррозии, а также средств контроля исходных продуктов, полуфабрикатов и изделий на их основе. Работы ведутся как по государственным программам РФ, так и по заказам ведущих предприятий авиационно-космического комплекса России и мира.

В 1994 г. ВИАМ присвоен статус Государственного научного центра РФ, многократно затем им подтвержденный.

За разработку и создание материалов для авиационно-космической и других видов специальной техники 233 сотрудникам ВИАМ присуждены звания лауреатов различных государственных премий. Изобретения ВИАМ отмечены наградами на выставках и международных салонах в Женеве и Брюсселе. ВИАМ награжден 4 золотыми, 9 серебряными и 3 бронзовыми медалями, получено 15 дипломов.

Возглавляет институт лауреат государственных премий СССР и РФ, академик РАН, профессор Е.Н. Каблов.

Статья подготовлена для опубликования в журнале «Технология
легких сплавов», № 6, 1974 г.

Электронная версия доступна по адресу: www.viam.ru/public

Структура и свойства сплавов системы титан–алюминий–галлий

С.Г. Глазунов, О.А. Никишов, О.П. Солонина,
Л.В. Сорокина, М.И. Ермолова, Ж.Д. Тхоревская

Исследованием структуры и свойств сплавов тройной системы титан–алюминий–галлий установлено, что в случае легирования галлием жаропрочность сплавов резко увеличивается по сравнению с жаропрочностью сплавов двойной системы титан–алюминий.

Большинство титановых сплавов в своем составе содержит единственный легирующий альфа-стабилизатор – алюминий. В то же время его содержание в сплавах ограничено 7–8% из-за возможного охрупчивания сплавов за счет выделений α_2 -фазы. В связи с этим целесообразно рассмотреть влияние другого α -стабилизатора – галлия.

Галлий [1] способствует резкому увеличению прочности титана, при этом эффективность его влияния аналогична алюминию, по упрочняющему воздействию на свойства титана алюминий и галлий эквивалентны. В связи с тем, что галлий является аналогом алюминия, необходимо знать предельную его растворимость в α -твердом растворе. По данным работы [2], эта величина составляет 15%, по уточненным данным [3] – 5,6%.

Для изучения свойств и структуры титана, одновременно легированного алюминием и галлием, исследовали сплавы, содержащие 5–8% Al, 1; 3; 5% Ga. Сплавы выплавляли на губке ТГ-100. Легирующие компоненты вводили через лигатуру Ti–40Al–40Ga. Шихту рассчитывали по галлию, дошихтовку по алюминию проводили чистым металлом.

Кованые заготовки термообработывали по режиму: 900°C, 1 ч, воздух+700°C, 2 ч. Температуру полиморфного превращения определяли методом пробных закалок. Установлено, что 1% Al увеличивает температуру превращения сплавов на 20°C, а 1% Ga – на 10°C.

Оптическая металлография не позволила установить существенного изменения структуры в зависимости от состава, т.к. во всех исследованных сплавах отмечаются полиэдрические зерна различного размера. Электронно-микроскопическое исследование показало, что после отжига в структуре сплавов нет дополнительных выделений. Рентгеноструктурный анализ подтвердил наличие только α -твердого раствора. Резкое уменьшение параметров кристаллической ячейки α -фазы, что служит косвенным доказательством наличия α_2 -фазы, отмечается на сплаве Ti-8Al-5Ga. На рентгенограмме сплава Ti-8Al-5Ga обнаружена сверхструктурная рентгеновская линия с межплоскостным расстоянием $d=3,40 \text{ \AA}$, характерная для α_2 -фазы.

Для оценки возможности выделения α_2 -фазы в сплавах системы Ti-Al-Ga образцы нагревали при 600°C в течение 100 ч, что способствовало уменьшению параметров ячейки α -фазы по сравнению с параметрами ячейки образца без дополнительного нагрева при меньших концентрациях алюминия и галлия (рис. 1). После длительного нагрева резко изменяется характер структуры, видимой под электронным микроскопом (рис. 2). При 3–5% Ga, 6,7 и 8% Al отмечаются выделения второй фазы, количество которой возрастает с увеличением содержания алюминия и галлия.

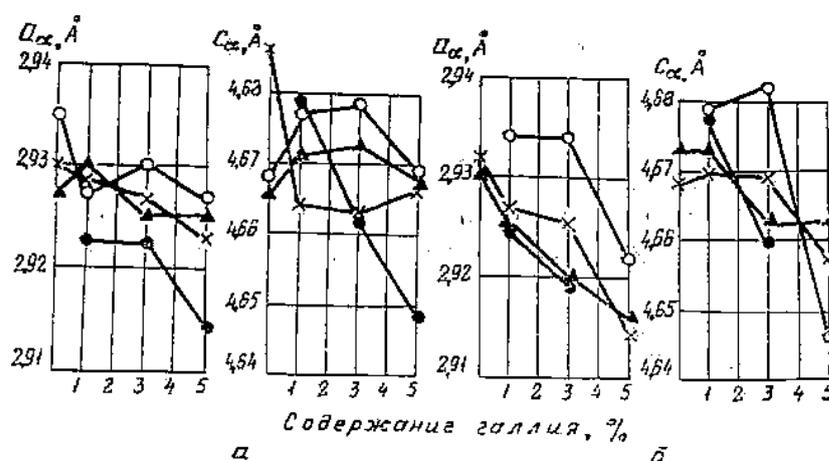


Рисунок 1. Параметры ячейки α -фазы после отжига (а) и после дополнительного нагрева (б) сплавов системы Ti-Al-Ga:
 ○ – 5% Al; × – 6% Al; ▲ – 7% Al; ● – 8% Al

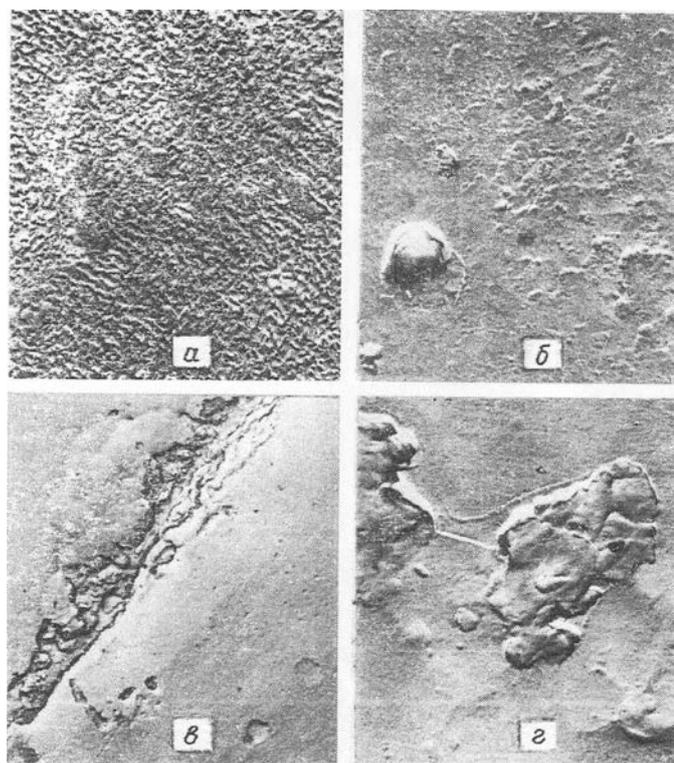


Рисунок 2. Микроструктура ($\times 10000$) сплавов системы Ti–Al–Ga после дополнительного нагрева при 600°C , 100 ч:
a – Ti–5Al–5Ga; *б* – Ti–6Al–5Ga; *в* – Ti–7Al–5Ga; *з* – Ti–8Al–3Ga

Прочность сплавов повышается по мере роста содержания алюминия и галлия (рис. 3). Пластические характеристики (удлинение и сужение) практически не изменяются в зависимости от количества алюминия при 0 и 1% Ga; при содержании галлия 3 и 5% кривые изменения пластичности носят экстремальный характер. Максимум пластичности отмечается на сплавах Ti–6Al–5Ga и Ti–7Al–3Ga, т.е. в том случае, когда сумма алюминия и галлия составляет 10–11%. Если в сплаве содержится галлия и алюминия больше указанной величины, то пластичность его резко уменьшается. Это позволяет предположить, что при суммарном легировании титана алюминием и галлием граница гомогенного α -твердого раствора способствует расширению области α -раствора по сравнению с двойной системой Ti–Al.

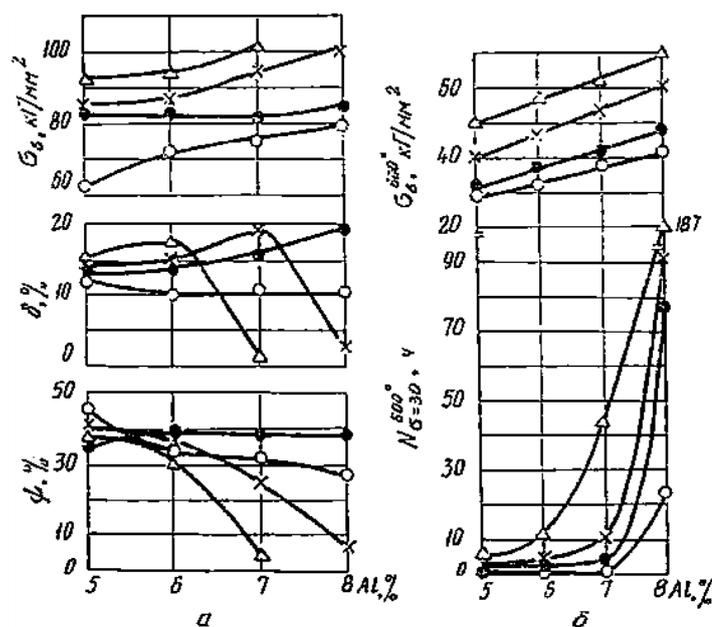


Рисунок 3. Механические (а) и жаропрочные (б) свойства сплавов системы Ti–Al–Ga: ○ – 0% Ga; ● – 1% Ga; × – 3% Ga; Δ – 5% Ga

Кратковременная прочность при 600°C линейно возрастает с увеличением обоих компонентов сплава. Предел прочности Ti–8Al–5Ga составляет 70 кг/мм^2 (см. рис. 3). Длительная прочность сплавов, оцененная по долговечности образцов, также увеличивается. На сплаве с максимальным легированием длительная прочность тройного сплава соизмерима с длительной прочностью многокомпонентного наиболее жаропрочного сплава VT18.

Таким образом, проведенные исследования показали перспективность системы Ti–Al–Ga как основы для создания новых жаропрочных титановых сплавов.

Список литературы:

1. Rosenberg H.W. The Science, Technology and Application of Titanium. Pergamon Press, 1970, p. 851–860.
2. Молчанова Е.К. Атлас диаграмм состояния титановых сплавов. «Машиностроение», 1964.
3. Jepson K.C., Larke L., Stubbington C.A. The Science, Technology and Application of Titanium. Pergamon Press, 1970, p. 861–870.