



УДК 669.295.5

ФОРМИРОВАНИЕ СВОЙСТВ ТИТАНОВЫХ СПЛАВОВ, МОДИФИЦИРОВАННЫХ БОРОМ

FORMATION OF THE PROPERTIES OF TITANIUM ALLOYS, MODIFIED BY BORON

Окорокова Ольга Вячеславовна

аспирантка,
Липецкий государственный технический университет,
Металлургический институт
ol4ek88@mail.ru

Цыганов Игорь Анатольевич

кандидат технических наук, доцент,
заведующий кафедрой физического металловедения,
Липецкий государственный технический университет,
Металлургический институт

Аннотация. Данная статья посвящена формированию свойств титанового сплава, используемого для создания энергетического оборудования, работающего в сложных условиях. Уделено внимание значению микролегирования бором. Описана обработка, которая обеспечит получение требуемых свойств.

Ключевые слова: ультрамелкозернистая структура, большеугловые границы, титановый сплав, бор, модифицирование.

Okorokova Olga Vyacheslavovna

Graduate Student,
Lipetsk state technical university,
Institute of Metallurgy
ol4ek88@mail.ru

Tsyganov Igor Anatolyevich

PhD, Associate Professor,
Lipetsk state technical university,
Institute of Metallurgy

Annotation. This article is devoted to the formation of the properties of a titanium alloy used to create power equipment operating under difficult conditions. Attention is paid to the importance of microalloying with boron. A treatment is described which will provide the required properties.

Keywords: ultrafine-grained structure, large-angle boundaries, titanium alloy, boron, modification.

Титановые сплавы характеризуются высокой коррозионной стойкостью, прочностью, низкой плотностью, поэтому их применяют в химической, энергетической промышленности. Для транспортных паротурбинных установок повышенной удельной мощности, в том числе морского базирования, требуются материалы с высокими прочностными, коррозионными и служебными характеристиками при повышенных температурах. ФГУП ЦНИИ КМ «Прометей» разработал высокопрочные титановые сплавы для морских условий эксплуатации систем легирования Ti-Al-Mo-V-C, Ti-Al-Mo-Zr-C, которые в зоне термического влияния сварного шва не теряют пластические свойства. Данные сплавы используют для энергетического оборудования морских судов, которые эксплуатируют при температуре не более 350 °С. Структурное состояние характеризуется большим количеством α -фазы и малым количеством β -фазы (10 %). Альфа-стабилизаторы придают высокие жаропрочность. β -фаза обеспечивает свариваемость и технологичность в металлургическом производстве. Для эксплуатации данных материалов при температурах 500 °С необходимо дать оценку таким параметрам, как сопротивление ползучести, длительная прочность. Формирование структурного состояния оказывает существенное влияние на механические свойства.

Легирование и параметры режима термической обработки обеспечивают получение комплекса работоспособных характеристик узлов энергетического оборудования. Влияние боридов на формирование мелкозернистой структуры при горячем формоизменении и различная деформационная и термическая обработка титановых сплавов, модифицированных бором, требует внимания и исследования.

Для получения ультрамелкозернистой структуры и, как следствие, высоких механических свойств, применяют теплую, горячую, холодную пластическую деформацию. При понижении температуры деформации увеличение её степени наблюдается рекристаллизованная микроструктура с большеугловыми границами зерен, что обеспечивает высокую стоимость проката [1, 2] и существенный износ металлургического оборудования. Для упрощения обработки и сокращения деформационных переделов применяют модифицирование бором.

Известно, что модифицирование бором и его карбидом увеличивает предел прочности, удлинение в 1,5–1,7 раза, несколько уменьшается ударная вязкость. Растворимость бора соответствует 0,007 %. Такое содержание интенсивно влияет на предел прочности благодаря увеличению сил межатомных связей в решетке твердого раствора, так как модифицированный сплав представляет собой α -твердый раствор [3].

Благодаря добавкам бора (0,01–0,1 %) происходит измельчение литой структуры, незначительное увеличение прочности, износостойкости. Присутствие однородно распределенных волокон моноборида титана обеспечивает повышение пластичности и получение мелкозернистой структуры.



Рекристаллизация зерен и разориентировка их границ после горячей деформации сплава ВТ1-0 происходит локализовано. В сплаве, подвергнутом модифицированию бором, наблюдается более равномерная деформация. После горячей деформации происходит формирование мелкозернистой структуры в сплаве ВТ1-0-0, 2В, так как рекристаллизационные процессы развиваются равномерно. Горячая деформация сопровождается процессами прерывистой динамической рекристаллизации и процессом возврата. Стоит сказать, что имеет место процесс деформационного двойникования, который обеспечивает формирование большеугловых границ по сравнению с исходной литой структурой. Это наблюдается при температуре деформации 600 °С. В литом сплаве ВТ1-0 при горячей деформации происходит динамический возврат, изменение формы зерен, а рекристаллизационные процессы слабо развиты.

Доля большеугловых границ зависит от температуры деформации. Заметный рост прослеживается при температуре 800–900 °С. Причем при 900 °С величина рекристаллизованных зерен меньше, так как протекание деформации в двухфазной области ($\alpha + \beta$) обеспечивает развитие динамической рекристаллизации. На рисунке 1 показано влияние температуры на структуру титановых сплавов.

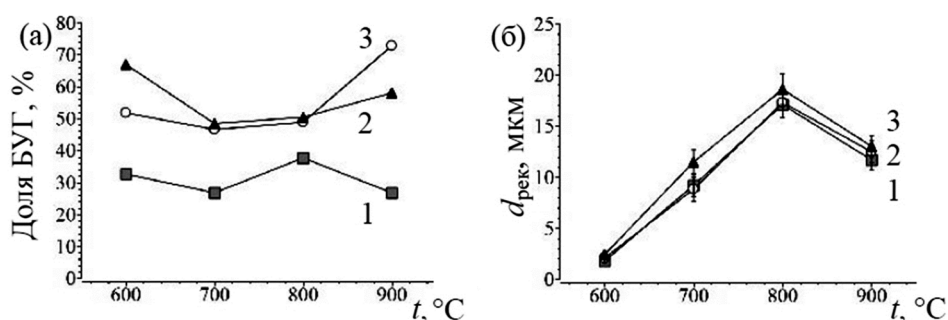


Рисунок 1 – Зависимость доли большеугловых границ и среднего размера рекристаллизованных зерен от температуры деформации:

1 – литой сплав ВТ1-0; 2 – литой сплав ВТ1-0-0, 2В; 3 – горячекатаный сплав ВТ1-0 [4]

В литом сплаве ВТ1-0 величина исходных β -зерен и α -колоний выше, что и приводит к получению локализованной структуры после протекания рекристаллизационных процессов.

Проведение горячей деформации в сплаве ВТ1-0-0, 2В в двухфазной области ($\alpha + \beta$) с применением малых степеней деформации позволит получить формирование мелкозернистой структуры с преобладанием большеугловых границ зерен. Последеформационные переделы с целью обеспечить сплав ультрамелкозернистой структурой целесообразно проводить при пониженных температурах, которые соответствуют процессам деформационного двойникования, способствующим развитию динамической рекристаллизации [4].

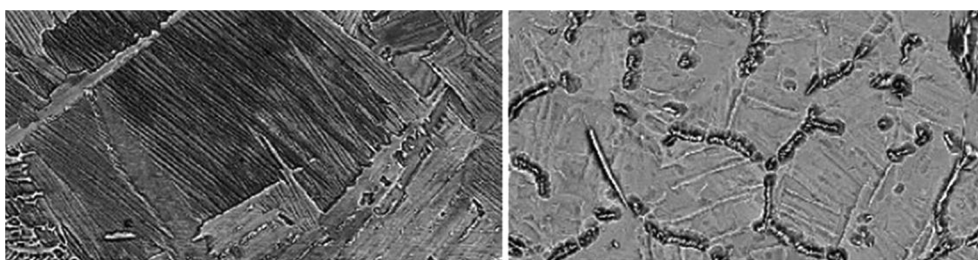


Рисунок 2 – Микроструктура сплавов:

а) литое состояние ВТ1-0; б) литое состояние ВТ1-0-0, 2В

Таким образом, применение модифицирования титановых сплавов бором способствует однородному распределению коротких волокон боридов титана (TiB), наличие которых обеспечивает получение мелкозернистой литой структуры [5]. Содержание бора в пределах 0,1–0,2 % уменьшает размер β -зерен и α -колоний, что увеличивает пластичность и способствует однородному развитию деформации при горячей прокатке. Динамическая рекристаллизация развивается в двухфазной области при температуре 900 °С. В модифицированном бором сплаве наблюдается хорошее сочетание прочностных и пластических характеристик, если после деформационной обработки термическая обработка происходила в β -области, что достигается наличием боридов, благодаря которым сдерживается рост зерен.

**Литература:**

1. S.V. Zherebtsov, etc. // Scripta Mater. – 51, 1147–1151 (2004).
2. С.П. Малышева // Письма о материалах. – 2014. – № 4 (1). – С. 49–51.
3. Ясинский К.К. Влияние малых добавок бора на структуру и свойства литейного титанового сплава / К.К. Ясинский, Е.Н. Тарасенко, И.А. Простов // Легкие и жаропрочные сплавы и их обработка. – М. : Наука, 1986. – С. 218–222
4. Гайсин Р.А. Влияние горячей деформации на структуру и механические свойства легированных бором титановых сплавов : автореф. дис. ... канд. тех. наук (05.16.01) / Гайсин Рамиль Айратович; Федеральное государственное бюджетное учреждение науки, Институт проблем сверхпластичности металлов Российской академии наук (ИПСМ РАН). – Уфа, 2015. – 23 с.
5. Гайсин Р.А. Рекристаллизационное поведение при горячей деформации технически чистого титана, модифицированного бором / Р.А. Гайсин, В.М. Имаев, Р.М. Имаев // Физика металлов и металловедение. – 2015. – Т. 116. – № 3. – С. 325–336.

References:

1. S.V. Zherebtsov, etc. // Scripta Mater. – 51, 1147–1151 (2004).
2. S.P. Malysheva // Letters on Materials. – 2014. – № 4 (1). – P. 49–51 (in Russian).
3. Yasinsky K.K. Influence of small additives of a pine forest on structure and property of foundry titanic alloy / K.K. Yasinsky, E.N. Tarasenko, I.A. Prostov // Light and heat resisting alloys and their processing. – M. : Science, 1986. – P. 218–222.
4. Gaysin R.A. Influence of hot deformation on structure and mechanical properties of the titanic alloys alloyed by a pine forest : abstract. ... Cand.Tech.Sci. (05.16.01) / Gaysin Ramil Ayratovich; Federal state budgetary institution of science, Institute of problems of superplasticity of metals of the Russian academy of Sciences (IPSM RAS). – Ufa, 2015. – 23 p.
5. Gaysin R.A. Rekristallizatsionnoye behavior at hot deformation of technically pure titanium modified by a pine forest / R.A. Gaysin, V.M. Imayev, R.M. Imayev // Physicist of metals and metallurgical science. – 2015. – V. 116. – № 3. – P. 325–336.