МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ И НАУКИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего профессионального образования
**«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ
ТОМСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ»**

ПЕРСПЕКТИВЫ РАЗВИТИЯ ФУНДАМЕНТАЛЬНЫХ НАУК

Сборник научных трудов
X Международной конференция студентов и молодых ученых

РОССИЯ, ТОМСК, 23–26 апреля 2013 г.

PROSPECTS OF FUNDAMENTAL SCIENCES DEVELOPMENT

X INTERNATIONAL CONFERENCE OF STUDENTS AND YOUNG SCIENTISTS

RUSSIA, TOMSK, April 23–26, 2013

Томск 2013

ВЛИЯНИЕ ЛЕГИРОВАНИЯ ВОДОРОДОМ НА РАЗВИТИЕ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ В СУБМИКРОКРИСТАЛЛИЧЕСКОМ ТИТАНОВОМ СПЛАВЕ ВТ6 В УСЛОВИЯХ ПОЛЗУЧЕСТИ

Д.Ю. Булынко, О.В. Забудченко
Научный руководитель: д.ф.-м.н. Г.П. Грабовецкая
Томский государственный университет, Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050
E-mail: bulynko_dmtr@mail.ru

INFLUENCE OF HYDROGENATION ON DEVELOPMENT OF DEFORMATION PROCESSES IN SUBMICROCRYSTALLINE VT6 TITANIUM ALLOY IN CONDITIONS OF CREEP

D.Yu. Bulynko, O.V. Zabudchenko
Scientific Supervisor: Dr. G.P. Grabovetskaya
Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050
E-mail: bulynko_dmtr@mail.ru

Deformation behavior under a constant strain of submicrocrystalline titanium alloy Ti-6Al-4V with hydrogen content at room temperature has been studied. Possible reasons of change of alloy stability to deformation localization on macrolevel at hydrogen presence are discussed.

В последнее время возрос интерес к исследованию структуры, механических, магнитных и электрических свойств объемных субмикрокристаллических (СМК - размер зерна менее 1 мкм) материалов. Это связано с необходимостью создания новых перспективных материалов, отличающихся от традиционных материалов уровнем физико-механических свойств и неординарным их проявлением.

Титан и его сплавы вследствие их низкой плотности, хорошей биосовместимости и высокой коррозийной стойкости рассматриваются, как наиболее перспективные материалы для медицины, авиа-космической и химической техники. Однако титан и сплавы на его основе имеют некоторые недостатки, одним из которых является их высокая склонность к водородной хрупкости. Это связано с тем, что водород способен проникать в металл по границам зерен из внешней среды или контактирующего материала в процессе эксплуатации. Кроме того, благодаря высокой диффузионной подвижности в металлах, водород может перераспределяться в объеме титана под действием полей упругих напряжений, образуя скопления в наиболее напряженных участках и тем самым, увеличивая вероятность выделения гидридов и образования пор и трещин.

В литературе имеются данные, согласно которым формирование в титановых сплавах мелкозернистой структуры повышает их сопротивление водородному охрупчиванию. Это дает основание предполагать, что формирование СМК структуры в титановых сплавах будет способствовать повышению их устойчивости к водородной хрупкости. Однако сопротивление водородному охрупчиванию СМК сплавов титана мало изучены, тогда как перспектива использования титановых сплавов в СМК состоянии во многом зависит от их устойчивости к водородной хрупкости.

Водородная хрупкость наиболее ярко проявляется при длительном воздействии нагрузки и низких скоростях деформации, т.е. в условиях ползучести. Поэтому исследования влияния легирования

водородом на деформационное поведение и служебные характеристики сплавов титана с субмикрокристаллической структурой в условиях ползучести являются актуальными.

В качестве исходного материала исследования в работе был использован $\alpha+\beta$ титановый сплав ВТ6, состав которого приведен в табл. 1. Выбор этого сплава обусловлен тем, что он являются одним из наиболее широко используемых материалов на основе титана в промышленности.

Таблица 1.

Состав исследуемого титанового сплава ВТ6 (мас. %)

Ti	Al	V	Zr	Si	Fe	C	O	N	H
основа	6,1	3,9	0,05	0,04	0,18	0,02	0,17	0,01	0,005

Субмикрокристаллическая структура в сплаве со средним размером зерен порядка ~0,1 мкм была получена методом, сочетающим предварительное легирование водородом и горячую пластическую деформацию прессованием. Испытания на ползучесть образцов с размерами рабочей части 5x1.7x0.7 мм проводили при температуре 293 К.

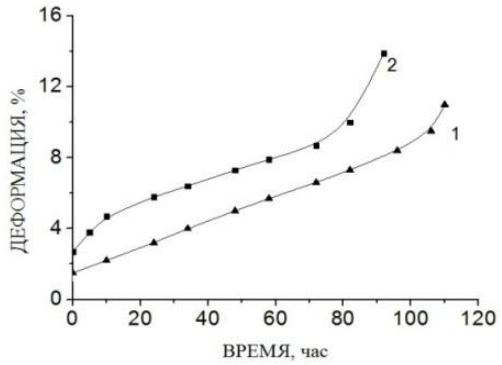


Рис. 1. Кривые ползучести СМК сплавов ВТ6 и ВТ6-0,1Н при температуре 293 К и σ = 1180 МПа. 1 – ВТ6; 2 – ВТ6-0,1Н.

На рис. 1 представлены кривые ползучести образцов СМК сплава ВТ6 с содержанием водорода 0,002 и 0,1 мас.% при температуре 293 К и напряжении 1180 МПа. Видно, что характер кривой ползучести СМК сплава ВТ6 зависят от концентрации водорода в образцах. На кривой ползучести образца сплава с содержанием водорода 0,002 мас.% имеется лишь две стадии ползучести: установившаяся и ускоренная. На кривой ползучести образца сплава с содержанием водорода 0,1 мас.% кроме указанных двух стадий наблюдается и стадия неустановившейся ползучести. Увеличение концентрации водорода в СМК сплаве с 0,002 до 0,1 мас.% приводит к некоторому снижению скорости установившейся ползучести и увеличению деформации до разрушения (рис. 1). Однако при этом уменьшается время до разрушения СМК сплава, что обусловлено высокой скоростью ползучести на ускоренной стадии ползучести. Небольшое снижение скорости установившейся ползучести на наводороженного образца связано, по-видимому, с двумя факторами: твердорастворным упрочнением β фазы титана водородом (по данным рентгеноструктурного анализа водород в сплаве с концентрацией 0,1 мас.% находится в твердом растворе) и деформационным упрочнением сплава в процессе ползучести на неустановившейся стадии.

Переход к ускоренной стадии ползучести СМК сплава ВТ6 с различным содержанием водорода совпадает с локализацией пластической деформации на макроуровне. В образцах с содержанием водорода 0,002 % локализация пластической деформации на макроуровне реализуется в виде двух полос локализованной деформации шириной ~0,5 мкм, расположенных под углом ~120^o друг к другу (рис. 2, а). Разрушение образцов происходит сдвигом по одной из этих полос. В образцах сплава с содержанием водорода 0,1 мас.% локализация пластической деформации на макроуровне происходит путем образования хорошо выраженной шейки. Разрушение образцов сплава ВТ6-0,1Н происходит в шейке по плоскости близкой к плоскости максимальных касательных напряжений.

Более детальное изучение деформационного рельефа, формирующегося на предварительно полированной поверхности рабочей части образцов СМК сплава, показало, что локализация пластической деформации в образцах с содержанием водорода 0,002 мас.% имеет место уже на установившейся стадии ползучести. На начальном участке стадии установившейся ползучести на поверхности рабочей части этих образцов образуются отдельные полосы локализованной деформации шириной 10–20 мкм. Полосы имеют ламельную структуру и располагаются параллельно приложенной нагрузке (рис. 2, б). С увеличением времени ползучести плотность таких полос растет.

На поверхности образцов сплава ВТ6-0,1Н на стадии установившейся ползучести полосы локализованной деформации отсутствуют, но наблюдается образование цепочек пор, расположенных вдоль направлений параллельных максимальным касательным напряжениям (рис. 2, в).

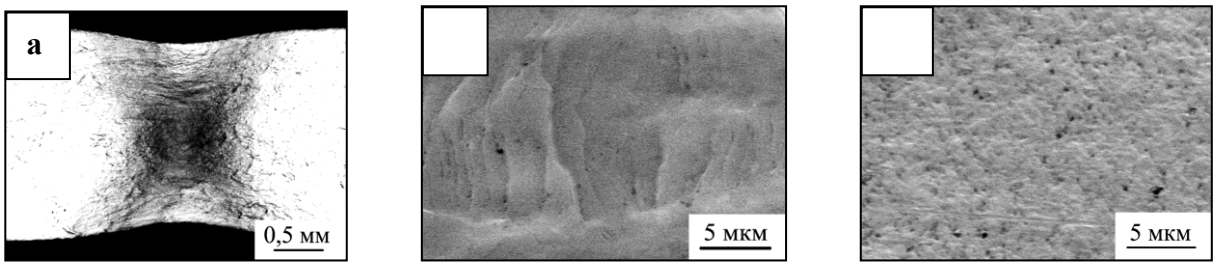


Рис. 2. Локализация пластической деформации СМК сплава ВТ6. а) макрополосы локализованной деформации сплава ВТ6-0,002Н; б) отдельные микрополосы локализованной деформации на поверхности рабочей части образца сплава ВТ6-0,002Н; в) цепочки пор в сплаве ВТ6-0,1Н

Известно [1], что развитие локализации пластической деформации в металлических материалах с неравновесной структурой, какой является СМК структура, связано с затруднением движения дислокаций из-за высоких внутренних напряжений. С другой стороны, существует предположение [2], согласно которому присутствие водорода в твердом растворе в некоторых металлах (Nb, V, Ti, Fe) и сплавах на их основе облегчает зарождение дислокаций и увеличивает их подвижность. В связи с этим можно предполагать, что отсутствие локализации пластической деформации на установившейся стадии ползучести в образцах сплава ВТ6-0,1Н, содержащих водород в твердом растворе, обусловлено облегченным зарождением дислокаций и увеличением их подвижности.

Таким образом, полученные результаты свидетельствуют о том, что водород, находясь в твердом растворе, препятствует развитию локализации пластической деформации в СМК сплаве ВТ6 в процессе ползучести при комнатной температуре.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Панин В.Е., Егорушкин В.Е., Панин А.В. Физическая мезомеханика деформируемого твердого тела как многоуровневой системы. // Физическая мезомеханика. – 2006. – Т. 9. – № 3. – С. 9–22.

2. Robertson I.V. The effect of hydrogen on dislocation dynamics // Engineering Fracture Mechanics. – 2001. V. 68. P. 671–692.