

Научные тезисы

УДК 669.295:537.8:620.17

ДЕФОРМАЦИОННОЕ ПОВЕДЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИ ЧИСТОГО ТИТАНА В ПОСТОЯННОМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ 0,3 ТЛ

**Крестина Владимировна Аксенова, Виталий Владиславович
Шляров*, Дмитрий Валерьевич Загуляев**

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк, Россия

* *shlyarov@mail.ru*

Аннотация. В результате испытаний образцов титана VT1–0 на многоцикловую усталость установлено, что наблюдается увеличение усталостной долговечности на 64 % в постоянном магнитном поле 0,3 Тл. Экспериментальные результаты по исследованию процесса ползучести показали, что в постоянном магнитном поле скорость ползучести увеличивается на 30,71 %.

Ключевые слова: магнитное поле, многоцикловая усталость, ползучесть, индукция, титан, разрушение

Благодарности: научный руководитель — доц., канд. техн. наук Д. В. Загуляев

Финансирование: исследование выполнено за счет гранта Российского научного фонда (проект № 21-79-00118).

Scientific thesises

DEFORMATION BEHAVIOR OF TECHNICAL PURE TITANIUM IN A CONSTANT MAGNETIC FIELD OF 0.3 T

Krestina V. Aksenova, Vitalii V. Shlyarov*, Dmitrii V. Zaguliaev

Siberian State Industrial University, Novokuznetsk, Russia

* *shlyarov@mail.ru*

Abstract. As a result of tests of VT1–0 titanium specimens for high-cycle fatigue, it was found that there is an increase in fatigue life by 64 % in a constant magnetic

field of 0,3 T. Experimental results on the study of the creep process showed that in a constant magnetic field, the creep rate increases by 30,71 %.

Keywords: magnetic field, high-cycle fatigue, creep, induction, titanium, fracture

Acknowledgments: scientific supervisor — Associate Professor, Candidate of Technical Sciences D. V. Zagulyaev

Funding: the research was carried out at the expense of a grant from the Russian Science Foundation (project No. 21-79-00118).

К настоящему времени различными научными коллективами установлено, что воздействие магнитного поля на «немагнитные» металлические материалы (Al, Cu, Zn и др.) приводит к изменению их деформационного поведения [1]. Выдвинут ряд гипотез по влиянию магнитного поля на металлические парамагнитные металлы, которые базируются на изменении подвижности дефектов при помещении металла в магнитное поле [2]. Основным результатом магнитного воздействия на металлические материалы является его пластификация, что, несомненно, должно привести к увеличению скорости ползучести и усталостного ресурса парамагнитных металлов, к которым относится титан. Титан и сплавы на его основе ввиду их уникальных механических свойств, особенно стойкости к усталостному разрушению при повышенных температурах, нашли широкое применение в компонентах авиационной и машиностроительной промышленности, где предъявляются высокие требования к долговечности и надежности конструкций в суровых условиях эксплуатации [3].

Одними из наиболее опасных видов разрушения являются ползучесть и усталость, поскольку деформация в материале накапливается в течение длительного времени и, в конечном счете, приводит к разрушению. Что же касается сложных инженерных сооружений, то усталостное разрушение всегда происходит в местах концентрации напряжений. Это утверждение верно не только на макроуровне, но и на мезоуровне. Концентрация напряжений на мезоуровне возникает, как правило, из-за различных свойств микроструктуры, т. е. беспорядочно ориентированных зерен [4] и металлургических дефектов [5]. При усталостном нагружении мезомасштабная концентрация напряжений ускоряет накопление повреждений, затем способствует возникновению дислокаций и дальнейшему зарождению трещин, что приводит к разрушению детали или механизма в целом [6]. Таким

образом, для обеспечения долгосрочной безопасности используемых конструкций или компонентов необходимо дальнейшее изучение поведения конструкционных материалов при ползучести и усталости в различных условиях.

Целью работы является определение деформационных характеристик технически чистого титана марки ВТ1-0 в постоянном магнитном поле. Экспериментальная часть работы заключается в определении скорости стационарной ползучести и числа циклов до разрушения образцов титана, подвергнутого испытаниям в обычных условиях (без магнитного поля) и при воздействии постоянного магнитного поля с индукцией 0,3 Тл.

В качестве материала исследования использовали образцы технически чистого титана марки ВТ1-0, химический состав которого, в соответствии с ГОСТ 19807–91 «Титан и сплавы титановые деформируемые», приведен на рис. Исследование процесса ползучести в магнитном поле проводили с использованием цилиндрических образцов диаметром 5 мм и длиной 250 мм на специальной установке [7]. Усталостные испытания осуществлялись по схеме циклического несимметричного консольного изгиба в условиях многоциклового усталости с частотой нагружения $3,3 \text{ с}^{-1}$ и одновременном воздействии магнитного поля 0,3 Тл. Образцы для усталостных испытаний имели форму параллелепипеда с параметрами $4 \times 12 \times 130 \text{ мм}^3$. Имитация трещины осуществлялась двумя надрезами в виде полуокружности радиусами 22 мм.

В результате исследований деформационных характеристик технически чистого титана ВТ1-0 было установлено, что скорость ползучести на установившейся стадии процесса без применения магнитного поля составляет 2,41 %/ч. При воздействии магнитного поля 0,3 Тл происходит увеличение скорости ползучести титана до $3,15 \pm 1,04 \text{ %/ч}$. Таким образом, можно констатировать, что скорость ползучести увеличивается на 30,71 %.

Испытания материала на многоцикловую усталость показали, что при режиме нагружения, описанном выше, образцы технически чистого титана в исходном состоянии достигают критической деформации и разрушаются в среднем при 121478 ± 8086 циклов. Применение магнитного поля постоянной геометрии 0,3 Тл приводит к увеличению на 64 % количества циклов до разрушения, которое составляет 199105 ± 16143 циклов.

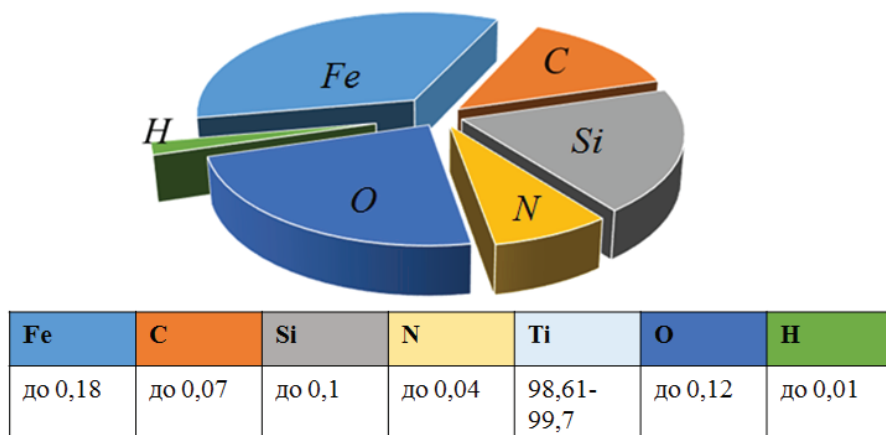


Рис. Химический состав исследуемого материала в соответствии с ГОСТ 19807–91 в мас. %

Таким образом, можно утверждать, что постоянное магнитное поле способно изменять деформационные характеристики технически чистого титана марки ВТ1-0. Подобное поведение титана в условиях магнитопольевых воздействий согласуется с нашими данными по изменению микротвердости в постоянном поле [8]. Можно констатировать, что применение постоянного магнитного поля способно изменять макромеханические характеристики поликристаллического технически чистого титана.

Список источников

1. Загуляев Д. В., Коновалов С. В., Громов В. Е. Влияние слабых магнитных полей на микротвердость поликристаллического алюминия // Вестник Южно-Уральского государственного университета. Серия : Математика. Механика. Физика. 2010. № 9. С. 53–56.
2. Головин Ю. И. Магнитопластичность твердых тел (Обзор) // Физика твердого тела. 2004. Т. 46, Вып. 5. С. 769–803.
3. Бубнов В. А., Князев А. Н. Титан и его сплавы в машиностроении // Вестник Курганского государственного университета. Серия: Технические науки. 2016. № 3 (42). С. 92–96.
4. Improved very high cycle bending fatigue behavior of Ni microbeams with Au coatings / S. Gupta [et al.] // Acta Mater. 2018. V. 161. P. 444–455.
5. Sakai T., Oguma N., Morikawa A. Microscopic and nanoscopic observations of metallurgical structures around inclusions at interior crack initia-

tion site for a bearing steel in very high-cycle fatigue // *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 2015. V. 38. P. 1305–1314.

6. Very high-cycle fatigue properties and microstructural damage mechanisms of selective laser melted AlSi10Mg alloy / M. Awd [et al.] // *Int. J. Fatigue*. 2019. V. 124. P. 55–69.

7. Шляров В. В., Загуляев Д. В. Влияние магнитных полей на процесс пластической деформации цветных металлов // *Фундаментальные проблемы современного материаловедения*. 2019. Т. 16. № 3. С. 394–398.

8. Изменение микротвердости титана VT1–0 при воздействии магнитным полем 0,5 Тл / В. В. Шляров [и др.] // *Вестник Тамбовского университета. Серия Естественные и технические науки*. 2016. С. 1444–1446.

References

1. Zagulyaev D. V., Konovalov S. V., Gromov V. E. Influence of weak magnetic fields on the microhardness of polycrystalline aluminum // *Bulletin of the South Ural State University. Series: Mathematics. Mechanics. Physics*. 2010. No. 9. P. 53–56.

2. Golovin Yu. I. Magnetoplasticity of solids (Review) // *Solid State Physics*. 2004. T. 46, Issue. 5. P. 769–803.

3. Bubnov V. A., Knyazev A. N. Titanium and its alloys in mechanical engineering // *Bulletin of the Kurgan State University. Series: Engineering Sciences*. 2016. No. 3 (42). P. 92–96.

4. Improved very high cycle bending fatigue behavior of Ni microbeams with Au coatings / S. Gupta [et al.] // *Acta Mater.* 2018. V. 161. P. 444–455.

5. Sakai T., Oguma N., Morikawa A. Microscopic and nanoscopic observations of metallurgical structures around inclusions at interior crack initiation site for a bearing steel in very high-cycle fatigue // *Fatigue Fract. Eng. Mater. Struct.* 2015. V. 38. P. 1305–1314.

6. Very high-cycle fatigue properties and microstructural damage mechanisms of selective laser melted AlSi10Mg alloy / M. Awd [et al.] // *Int. J. Fatigue*. 2019. V. 124. P. 55–69.

7. Shlyarov V. V., Zagulyaev D. V. Influence of magnetic fields on the process of plastic deformation of non-ferrous metals // *Fundamental problems of modern materials science*. 2019. Vol. 16. No. 3. P. 394–398.

8. Changes in the microhardness of VT1–0 titanium when exposed to a magnetic field of 0.5 T / V. V. Shlyarov [et al.] // *Bulletin of the Tambov University. Series Natural and technical sciences*. 2016. P. 1444–1446.