

**ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ АЛЮМИНИЕВОГО
СПЛАВА МЕТОДОМ ЦИФРОВЫХ СПЕКЛ-ИЗОБРАЖЕНИЙ**

Ю.В. Ли¹, А.В. Бочкарёва^{2,3}, А.Г. Лунёв^{2,3}

Научный руководитель: д.ф.-м.н. Баранникова С.А.^{1,2}

¹Томский государственный университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 36, 634050

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

Россия, г.Томск, пр. Академический, 2/4, 634055

³Национальный исследовательский Томский политехнический университет

Россия, г.Томск, пр. Ленина, 30, 634050

E-mail: jul2207@mail.ru

**THE STUDY OF LOCALIZED PLASTIC DEFORMATION OF ALUMINUM ALLOY USING
DIGITAL SPECKLE IMAGE TECHNIQUE**

Yu.V. Li¹, A.V. Bochkareva^{2,3}, A.G. Lunev^{2,3}

Scientific Supervisor: Dr. S.A. Barannikova^{1,2}

¹Tomsk State University, Russia, Tomsk, Lenin str., 36, 634050

²Institute of Strength Physics and Materials Science, SB RAS, Russia, Tomsk, Akademicheskii pr., 2/4, 634055

³Tomsk Polytechnic University, Russia, Tomsk, Lenin str., 30, 634050

E-mail: jul2207@mail.ru

Annotation. *The effect of hydrogen embrittlement on the localized plastic deformation of aluminum alloy D1 was investigated. The studies were performed for the test samples of aluminum alloy subjected to electrolytic hydrogenation. It is found that the mechanical properties and localized plastic deformation parameters of aluminum alloy are affected adversely by hydrogen embrittlement. The hydrogenated counterpart of alloy has a lower degree of ductility relative to the original alloy; however, the plastic flow behavior of material remains virtually unaffected. The deformation diagrams were examined for the deformed samples of aluminum alloy. These are found to show all the plastic flow stages: the linear, parabolic and pre-failure stages would occur for the respective values of the exponent n from the Ludwik-Holomon equation. Using digital speckle image technique, the local strain patterns were being registered for the original alloy D1 and the counterpart subjected to electrolytic hydrogenation for 100 h.*

Применение новых методов анализа неоднородности полей деформаций позволило значительно продвинуться в понимании природы локализации пластической деформации и разрушения металлов и сплавов [1, 2]. Несмотря на исследования процесса образования полос деформации при прерывистой текучести в алюминиевых сплавах к настоящему моменту времени [3] многие вопросы остаются открытыми. Экспериментальные результаты, на которых базируется автоволновой подход к описанию локализованной пластической деформации [4], получены с использованием уникального измерительного комплекса ALMEC для фотографической регистрации спекл-изображения [5]. В настоящей работе применение комплекса ALMEC-tv для цифровой регистрации спекл-изображения позволило повысить

быстродействие прибора, обеспечить возможность регистрации процессов формоизменения и разрушения в реальном времени, а также повысить пространственное разрешение при исследовании неоднородности фронтов деформации в алюминиевом сплаве Д1 при одноосном растяжении в исходном состоянии и подверженного электролитическому насыщению водородом в течение 100 ч. Поскольку наводороживание алюминиевых сплавов инициирует различные структурные изменения [6].

Для исследований выбран дисперсионно-твердеющий сплав системы дуралюмин Д1. После штампования из горячекатаного листа образцы были подвергнуты искусственному старению при $T=340^{\circ}\text{C}$ в течение 3 ч с охлаждением в печи. Водородное насыщение исследуемого сплава проводилось электролитическим методом при постоянном контролируемом катодном потенциале в 1N растворе серной кислоты в течение 100 ч в трехэлектродной электрохимической ячейке [7]. Механические испытания образцов в форме двойной лопатки с размерами рабочей части $50\times 10\times 2$ мм проводились при 300 К по схеме одноосного растяжения со скоростью растяжения $6,67\times 10^{-5}$ с $^{-1}$ на испытательной машине LFM-125, снабженной для изучения макролокализации деформации автоматизированным лазерным измерительным комплексом для анализа цифровых спекл-изображений (ALMEC-tv). Кривые нагружения сплава Д1 в исходном состоянии (1) и подверженного электролитическому насыщению водородом в течение 100 ч (2), представленные на рисунке 1, имеют пилообразный вид. Спады напряжений достигают 4-5 МПа, природа которых обусловлена эффектом Портевена-Ле Шателье [8]. При обработке цифровых спекл-изображений методикой, основанной на измерении скорости мерцания спеклов, наблюдаются периодически перемещающиеся одиночные фронты локализованной деформации, аналогичные полосам Чернова-Людерса. Пример таких фронтов локализации пластической деформации показан на рисунке 2.

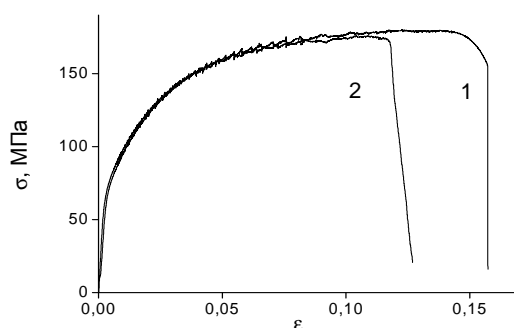


Рис.1. Кривые нагружения сплава Д1 в исходном состоянии (1) и после его наводороживания $t=100$ ч (2).

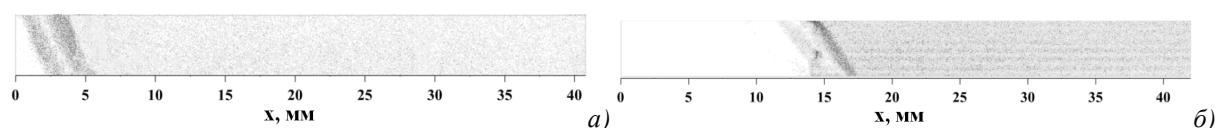


Рис. 2. Визуализация полос макролокализации деформации на поверхности образца Д1 в состоянии (1) при общей деформации 1,1% (а) и в состоянии (2) при общей деформации 5,1% (б)

Последовательность координат X , соответствующих положениям полос деформации вдоль оси растяжения с течением времени t аппроксимировали прямыми линиями. Из зависимостей $X(t)$ определяются скорость и расстояние между полосами локализованной деформации, которые служат информативным дополнением к обычным механическим характеристикам материала.

Анализ картин локализации пластической деформации в образцах сплава Д1 показал преимущественное распространение одиночных фронтов деформации по всей длине образца. Зарождение новых полос локализованной пластической деформации происходит вблизи неподвижного захвата. Скорость полос локализации пластической деформации и расстояние между ними снижаются по мере роста общей деформации как в исходном состоянии (1), так и после предварительного насыщения водородом (2). На стадии предразрушения к моменту формирования шейки перемещение фронтов деформации ограничено узкой областью — местом будущего разрушения.

В настоящей работе показано влияние насыщения водородом алюминиевого сплава марки Д1 электролитическим методом на локализацию пластического течения. Показано, что насыщение водородом образцов в течение 100 ч в значительной степени влияет на пластичность сплава по сравнению с исходным состоянием. При этом остается неизменным число присутствующих стадий пластического течения, а именно, линейная, параболическая и стадия предразрушения, однако сокращается их продолжительность. Водород усиливает локализацию пластической деформации и меняет количественные параметры локализации пластической деформации: скорость фронтов локализации пластической деформации и расстояние между ними [9].

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Плехов О.А., Саинтье Н., Наймарк О.Б. Экспериментальное исследование процессов накопления и диссипации энергии в железе при упругопластическом переходе // Журнал технической физики. – 2007. – Т. 77. – № 9. – С. 135 – 137.
2. Третьякова Т.В., Вильдеман В.Э. Исследование развития трещин при сложных режимах нагружения методом корреляции цифровых изображений // Заводская лаборатория. Диагностика материалов. – 2012. – Т. 78. – № 6. – С. 54 – 58.
3. Шибков А.А., Золотов А.Е., Желтов М.А. Механизмы зарождения полос макролокализованной деформации // Известия РАН. Серия физическая. – 2012. – Т. 76. – № 1. – С. 97 – 107.
4. Danilov V.I., Bochkaryova A.V., Zuev L.B. Macrolocalization of deformation in material having unstable plastic flow behavior // Metal Physics and Metal Science. – 2009. – No. 6. – Vol. 107. – P. 660–667.
5. Zuev L.B., Gorbatenko V.V., Zuev L.B., Pavlichev K.V. Elaboration of speckle photography techniques for plastic flow analyses // Measurement Science and Technology. – 2010. – V. 21. – No. 5. – P. 1 – 5.
6. Takai K., Shoda H., Suzuki H., Nagumo M. Lattice defects dominating hydrogen-related failure of metals // Acta Materialia. – 2008. – № 56. – P. 5158 – 5167.
7. Yagodzinsky Y., Todoshchenko O., Papula S., Hänninen H. Hydrogen Solubility and Diffusion in Austenitic Stainless Steels Studied with Thermal Desorption Spectroscopy // Steel Research International. - 2011. - Vol. 82, No. 1. - P. 20–25.
8. Xiang, G.F., Zhang Q.C., Lin H.W. et al. Time-resolved deformation measurements of the Portevin–Le Chatelier bands // Scripta Mat. –2007. – V. 56. – No.8 – P. 721 – 724.
9. Баранникова С.А., Надежкин М.В., Мельничук В.А., Зуев Л.Б. О локализации пластической деформации растяжения монокристаллов аустенитной стали, электролитически насыщенных водородом // Письма в ЖТФ. – 2011. – Т. 37. – №. 17. – С. 9 – 17.