

УДК 620.178.73

Е. А. Руденя^{*}, И. В. Иванов

Новосибирский государственный технический университет, г. Новосибирск

**katya.rudenya@mail.ru*

Научный руководитель — доц., канд. техн. наук И. А. Батаев

ВЛИЯНИЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ТИТАНОВОГО СТЕРЖНЯ И СТАЛЬНОЙ МИШЕНИ

В работе исследованы механические свойства титанового стержня при его ударной пластической деформации. Было показано, что напряженное состояние и уровень пластической деформации в образце Тейлора неоднородны. Полученные в результате моделирования данные соотносятся с экспериментальными.

Ключевые слова: титан, высокоскоростная деформация, тест Тейлора, механические свойства, микротвердость

E. A. Rudenya, I. V. Ivanov

THE INFLUENCE OF HIGH-SPEED DEFORMATION ON THE STRUCTURE AND PROPERTIES OF TITANIUM ROD AND STEEL TARGET

The mechanical properties of titanium rod under its impact plastic deformation were investigated. It was shown that the stress state and the level of plastic deformation in the Taylor sample are inhomogeneous. The data obtained as a result of modeling correlate with experimental data.

Key words: titanium, high-rate deformation, Taylor test, mechanical properties, microhardness

Исследования формирования структур при высокоскоростных деформациях имеют важное значение, поскольку позволяют установить общие закономерности и механизмы деформирования. Примером простого и удобного метода определения прочностных свойств материала в условиях высокоскоростного деформирования является тест Тейлора. Этот метод основан на предположении об одномерно-

сти распространения упругопластических волн в цилиндрическом образце при его соударении с жесткой преградой. Испытания позволяют достичь высоких скоростей деформации (100–300 м/с) [1].

Целью работы являлось исследование механических свойств титанового стержня и стальной мишени в результате ударной пластической деформации.

Тест Тейлора проводили на пороховой пушке. Скорость удара составила около 234 м/с. Исходным образцом являлся цилиндр из технически чистого титана. Длина образца составляла 80 мм, диаметр — 10 мм. Мишень была выполнена из стали марки SS400 (аналог в России — Ст4 пс).

Подобно эксперименту на одноосное сжатие, образец после теста Тейлора пластически деформируется, сжимаясь в осевом направлении и расширяясь в радиальном. На рис. 1, *а* представлен образец после динамического испытания. На рис. 1, *б* представлена модель образца.

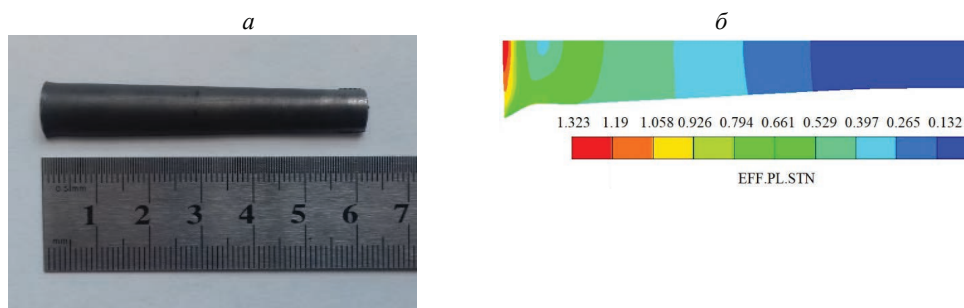


Рис. 1. Результаты теста Тейлора:

а — образец после теста Тейлора; *б* — модель образца

Для исследования механических свойств цилиндра после теста Тейлора был разрезан и были изготовлены два микрошлифа. Предполагая, что материал изотропен и деформирован симметрично относительно оси, картирование микротвердости проводилось на одной половине образца относительно центральной оси. На рис. 2, *а* показаны карта микротвердости и среднее значение микротвердости. Полученные результаты хорошо соотносятся с данными моделирования.

По полученным данным можно сказать, что напряженное состояние и уровень пластической деформации в образце Тейлора неоднородны. Наибольший уровень деформации наблюдается на ударной

поверхности, а наименьший — на задней поверхности. Это можно объяснить различием уровня пластической деформации в объеме образца. Помимо этого, в результате проведения ударного теста Тейлора возможно прохождение процессов рекристаллизации, вызванных повышением температуры при пластической деформации. Также оказывает влияние формирование дефектной структуры, что способствует изменению внутренней энергии. Известно, что на ранних стадиях пластической деформации возможно появление двойников, влияющих на механические свойства материала. При динамических нагружениях двойники в титане представляют собой практически такие же барьеры, как границы зерен [2].

На рис. 2, б представлена карта микротвердости стальной мишени. Глубина упрочненного слоя составила около 5 мм. На рис. 3, б изображена микроструктура стальной мишени в сечении в зоне ударной деформации. Наблюдается уменьшение размера зерен и наличие большого количества двойников по сравнению с недеформированной зоной (рис. 3, а). Уменьшение размера зерен приводит к повышению микротвердости образца, что соответствует полученной карте микротвердости.

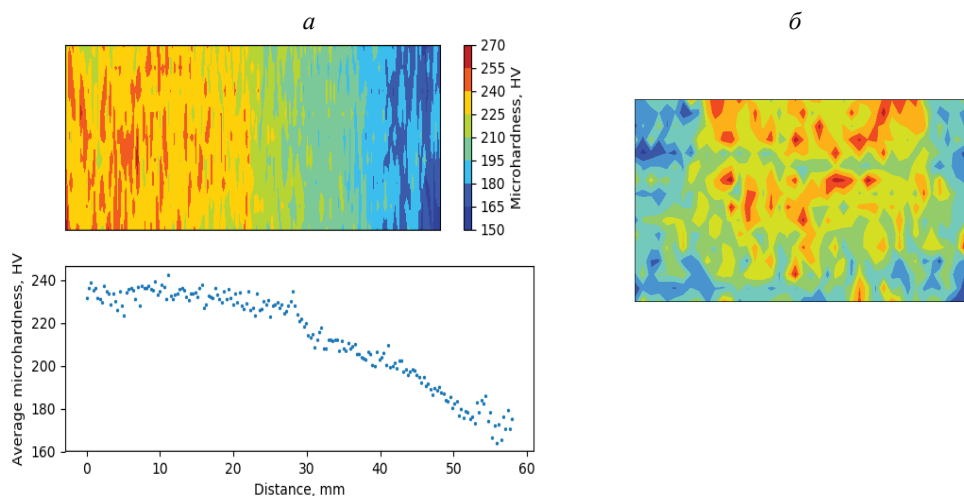


Рис. 2. Карты микротвердости:

a — карта микротвердости и среднее значение микротвердости титанового цилиндра; *б* — карта микротвердости стальной мишени

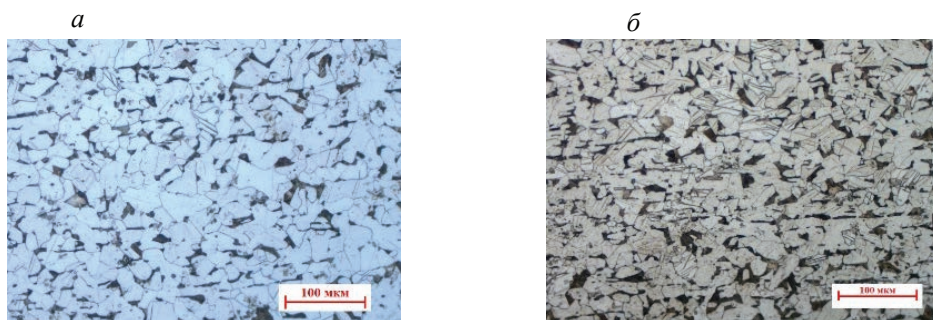


Рис. 3. Микроструктура мишени:

a — в недеформированной зоне; *б* — в зоне деформации

Важным условием теста Тейлора является наличие жесткой мишени, которая не будет деформироваться в процессе ударного воздействия. Из полученных данных можно сделать вывод, что выбор стали марки Ст4 пс не является оптимальным для проведения данного испытания.

Литература

1. Revil-Baudard B., Cazacu O. Plastic deformation of high-purity α -titanium: model development and validation using the Taylor cylinder impact test // *Mechanics of Materials*. 2015. V. 80. P. 264–275.
2. Полухин П. И., Горелик С. С. *Физические основы пластической деформации*. М. : Металлургия, 1982. 584 с.