

ОСОБЕННОСТИ МОРФОЛОГИИ И КИНЕТИКИ ПОЛОС ЧЕРНОВА–ЛЮДЕРСА В НИКЕЛИДЕ ТИТАНА

К.В. ИОХИМ¹, В.И. ДАНИЛОВ^{2,3}, Л.Р. АХМЕТШИН¹

¹Томский государственный университет

²Институт физики прочности и материаловедения СО РАН

³Томский политехнический университет

E-mail: super-girl_1996.20@mail.ru

Известно, что в материалах с острым пределом текучести, где диаграмма нагружения содержит зуб и площадку текучести, упругопластический переход происходит путем формирования и распространения полос Чернова – Людерса [1]. Экспериментально исследованы кинетика и морфология подвижных фронтов этих полос в малоуглеродистой стали. Установлено, что в плоских образцах скорости фронтов зависят от скорости нагружения и числа активных полос. Показано, что фронт имеет сложное строение и не может рассматриваться как одномерная граница между деформированной и недеформированной частями объекта [2]. С другой стороны, особенность деформационной кривой типа зуба и площадки текучести может быть обусловлена не дислокационными процессами, а деформационным фазовым превращением. Вопрос, насколько установленные на малоуглеродистых сталях закономерности будут справедливы в этом случае, пока не имеет ответа, поэтому целью данной работы является исследование характера распространения фронтов локализованной деформации в плоских образцах материала с деформацией фазового превращения.

Исследования проводились на никелиде титана марки ТН – 1 состава 55,76 мас. % Ni + 44,24 мас. % Ti. Образцы типа двойная лопатка с размерами рабочей части 40×6×1 мм.

Подготовленные образцы отжигались в течение 1 часа в соляной ванне при 450⁰С и охлаждались в воде. После такой термической обработки никелид титана данного состава имел следующие характеристики:

- температура перехода из кубической В2 фазы в ромбоэдрическую R фазу $T_R = +31^0\text{C}$,
- температура начала мартенситного перехода ромбоэдрической фазы R в моноклинную фазу В19' $M_S = -13^0\text{C}$.
- температура конца мартенситного перехода ромбоэдрической фазы R в моноклинную фазу В19' $M_f = -54^0\text{C}$.
- температура начала обратного превращения моноклинной фазы В19' в кубическую фазы В2 $A_S = +10^0\text{C}$.
- температура конца обратного превращения моноклинной фазы В19' в кубическую фазы В2 $A_f = +24^0\text{C}$.

Таким образом, при комнатной температуре образцы были в фазе R и могли претерпевать деформационный фазовый переход $R \rightarrow \text{В19}'$. Обратное превращение $\text{В19}' \rightarrow \text{В2}$ при разгрузке без охлаждения не реализуется.

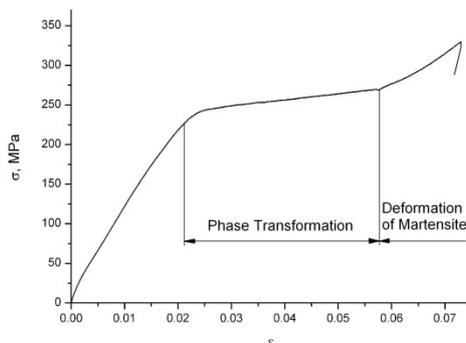


Рисунок 1 - Деформационная кривая образца NiTi

На кривых нагружения (рисунок 1) таких образцов никелида, полученных при испытаниях на одноосное нагружение на универсальной испытательной машине Walter+Bay

AG LFM-125 при комнатной температуре со скоростью 0.2 мм/мин., всегда наблюдается участок подобный площадке текучести в малоуглеродистой стали. Основное отличие в том, что на этом участке происходит заметное упрочнение. Так же, в отличие от диаграммы нагружения малоуглеродистой стали, здесь отсутствует зуб текучести.

Анализ локализации деформации методом цифровой статистической спекл-фотографии оказался невозможен, потому что степень локализации деформации на фронте фазового превращения не достаточна по сравнению со степенью локализацией на фронте полос Чернова – Людерса в малоуглеродистой стали. Поэтому была использована обработка методом цифровой корреляции изображений (DIC) [3], который хотя и уступает по пространственному разрешению, но позволяет выявить область со значительно меньшей степенью локализации. Таким образом, удалось установить, что деформационное фазовое превращение в поликристаллическом никелиде титана действительно реализуется путем движения макроскопических подвижных фронтов (рисунок 2). (Псевдоцвета на рисунках отражают величину деформации в соответствующих областях. Чем ярче цвет, тем больше локальное удлинение в данной области).

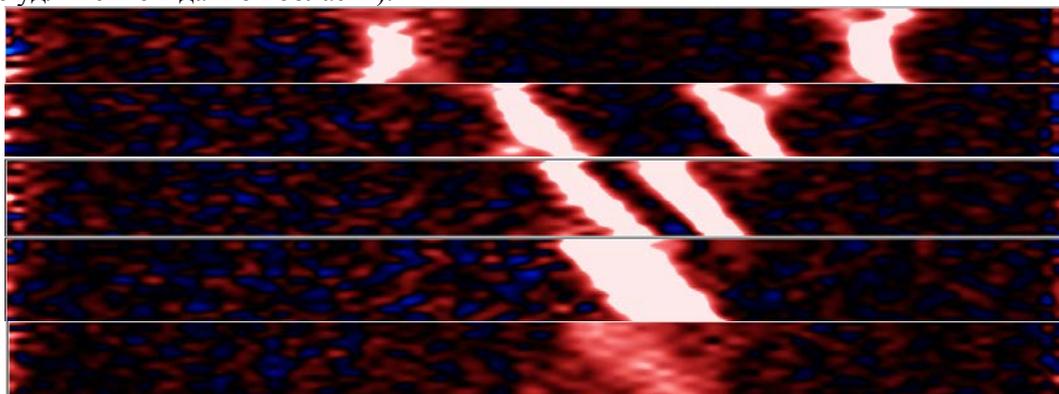


Рисунок 2 – Последовательные положения фронтов превращения. Сверху вниз для моментов времени 251 с, 355 с, 398 с, 413 с, 437 с.

Во всех исследованных случаях зарождалось две полосы превращения на противоположных концах рабочей части образца. Подвижные фронты полос двигались навстречу друг к другу и аннигилировали. Средняя скорость движения обоих фронтов была одинакова и составила $V=0.044$ мм/с, что совпадает по порядку величин со скоростями фронтов полос Чернова - Людерса в малоуглеродистой стали.

Проведенные в данной работе исследования позволяют сделать следующие выводы:

1. В никелиде титана деформационное фазовое превращение происходит подобно распространению полос Чернова – Людерса в сталях, только степень локализации деформации на фронтах значительно меньше.
2. Как и в плоских образцах сталей в никелиде титана зарождаются две области превращения вблизи захватов.
3. Поведение движущихся фронтов и их скорости полностью подобны аналогичным процессам в плоских образцах малоуглеродистых сталей.

Список литературы

1. Pelleg J. Mechanical properties of materials. Springer. Heidelberg, New York, London. 2013.
2. Danilov V.I., Gorbatenko V.V., Zuev L.B. On the kinetics of mobile Chernov–Luders band fronts // AIP Conference Proceedings. 2016. Vol. 1783, 020034.
3. Sutton M.A., Wolters W.J., Peters W.H., Ranson W.F., and McNeill S.R. Determination of displacements using an improved digital correlation method // Image and Vision Computing. 1983. Vol. 1(3), pp. 133–139.