

УДК 620

## ОСОБЕННОСТИ МЕХАНИЧЕСКОГО ПОВЕДЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ИЗ АУСТЕНИТНО-МАРТЕНСИТНОЙ СТАЛИ С TRIP ЭФФЕКТОМ.

Дихтиевская К.К., студент МТ8-41М, VI курс

Сидристый Д.В., студент Э10-21М, V курс

Московский государственный технический университет им. Баумана

Научный руководитель: к.т.н. Просвирнин Д.В.

Институт металлургии и материаловедения им. А. А. Байкова РАН

[c.diht17@yandex.ru](mailto:c.diht17@yandex.ru)

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА:** ПРОВОЛОКА ИЗ ТРИП-СТАЛИ, МАРТЕНСИТ ДЕФОРМАЦИИ, МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА, МЕХАНИЗМ РАЗРУШЕНИЯ

Обычные аустенитные нержавеющие стали, такие как AISI 304 американского производства и ВНС-9Ш, разработанная всероссийским научно-исследовательским институтом авиационных материалов, получили широкое распространение в промышленности благодаря своим выдающимся свойствам, таким как превосходная прочность и исключительная формируемость [1]. Они обычно используются в отожженном состоянии и обладают относительно низкой прочностью. Поэтому были предприняты усилия по разработке метастабильных аустенитных сталей с низкой энергией дефекта упаковки для повышения сочетания прочности и пластичности за счет эффекта пластичности наведённой превращением.

Считается, что вызванное деформацией превращение в мартенсит ответственно за так называемый TRIP (Transformed Induced Plasticity) [2].

Такой эффект наблюдается вследствие образования мартенсита деформации в локальных объемах металла при статическом растяжении. И в месте зарождения шейки происходит релаксация внутренних напряжений в результате совместного действия механизма скольжения и мартенситного превращения. После этого наблюдается резкое повышение коэффициента деформационного упрочнения. Микрошайка дальше не развивается. А вновь образовавшийся мартенсит предотвращает течение [3].

Такие стали с TRIP-эффектом могут поглощать энергию при ударах. Они достаточно известны в применении конструкторов в автомобилестроении, авиастроении и в высоко нагруженных деталях, а также применяются в изделиях, для которых важно уменьшение массы при сохранении высокой прочности, а именно: болты и крепежные изделия, некоторые виды тросов и прядей и другие детали машин и механизмов [4].

Чтобы обеспечить мартенситное превращение при определенной температуре, свободная энергия Гиббса мартенсита должна быть ниже, чем у

аустенита. Температура, при которой свободная энергия Гиббса двух фаз равны, обозначают  $T_0$ . На практике часто требуется достаточное переохлаждение ниже  $T_0$  для обеспечения межфазной энергии между атомами аустенита и мартенсита, а также энергии упругой деформации, связанной с превращением [5]. При внешней нагрузке деформация может протекать с помощью мартенситного преобразования, двойникования и других механизмов пластичности. Возникновение этих механизмов зависит от химического состава и температуры, поскольку оба влияют на энергию дефекта упаковки [6]. Общепризнано, что эта энергия ниже  $20 \text{ МДж}\cdot\text{м}^{-2}$  способствует превращению аустенита в мартенсит либо последовательностью  $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha$ , либо прямым превращением  $\gamma \rightarrow \alpha$  [7,8].

Также известно, что особенность высокопрочных металлических материалов заключается в том, что их предел усталости  $\sigma_R$  составляет около 50% от их условного предела текучести. В связи с этим, напряжения при пригодных уровнях долговечности, находятся еще в номинально упругой области. Поэтому для этих материалов нередко наблюдается соответствие между пределом усталости и пределом упругости.

Исследования проводили на проволоке разного диаметра от 0,3 мм до 0,9 из высокопрочной коррозионностойкой аустенитно-martенситной трип-стали ВНС9-Ш. Химический состав соответствовал требованиям ТУ 14-4-12-26-83 «Проволока нержавеющая пружинная из стали марки 18Х15НАМ3-Ш (ВНС-9Ш)».

Так же известно, что структура проволоки из стали ВНС9-Ш в результате холодной прокатки оказывается градиентным композитным материалом. В поверхностном слое глубиной  $\sim 10 \text{ мкм}$  содержится чистый аустенит, а внутри аустенитно-мартенситная структура (рисунок 1) [9].



Рисунок 1 – Микроструктура проволоки из стали ВНС-9Ш после холодного волочения на диаметр 0,36 мм

При проведении усталостного и статического испытаний приходится сталкиваться с задачей правильного закрепление тонкой проволоки. В наших исследованиях использовалась специальная установка для усталостных испытаний проволок со специальными лунками заданного диаметра [10].

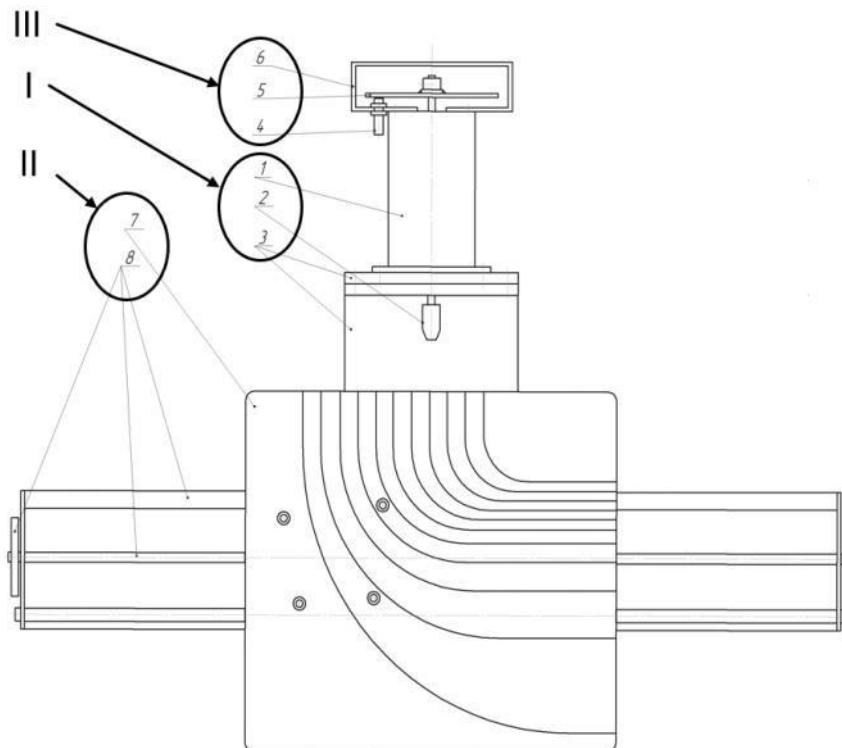


Рисунок 2 – Схема спроектированной установки испытаний проволоки: I – Блок привода; 2- цанговый патрон, 3 – корпус, II – Блок задающий напряжения испытания: 7 – платформа, 8 – механизм перемещения платформы; III – Блок подсчёта числа циклов: 4 – индуктивный датчик, 5 – маячок, 6 – защита маячка

Особенности поведения стали ВНС9-Ш в условиях циклического деформирования непосредственно связаны со структурным и фазовым составом этой стали и ее поведением в условиях статического деформирования. На рис. 3, а представлена кривая усталости образцов из стали ВНС9- Ш. Видно, что большая часть разрушившихся образцов лежит в области напряжений, соответствующих стадии микротекучести при статическом деформировании, и их долговечность соответствует области малоцикловой усталости (до долговечности ~ 105 циклов). Такое поведение при усталости характерно для высокопрочных металлических материалов [11]. Также, у этой стали наблюдается четкий физический предел усталости  $\sigma_R = 900$  МПа, а отношение предела усталости к пределу прочности равно ~ 0,5. Предел усталости находится значительно ниже уровня условного и физического предела текучести.

При циклическом нагружении таким материалам свойственно разупрочняются. Это может быть связано с тем, что их структура заведомо содержит дефекты в результате наклёпа, как вариант - в результате мартенситного превращения. Их усталостное разрушение начинается не от концентраторов,

которые обычно возникают в результате интрузий, а от концентраторов напряжений, существующих в самом материале или конструкции.

При объёмном содержании мартенсита деформации 35% для проволоки диаметром 0,3 мм предел прочности составил 1900 Мпа, а для проволоки 0,95 – 900 Мпа. Получены предварительные данные об уровне усталостной прочности проволок при различных условиях циклического деформирования.

Работа выполняется при финансовой поддержке РФФИ в рамках научного проекта

№ 20-08-00556

### Список литературы

- [1] M. Naghizadeh, H. Mirzadeh, Metall. Mat. Trans. A 47, 4210 (2016)
- [2] В.Ф. Терентьев. Особенности механического поведения тонколистовой аустенитно – мартенситной трип-стали // Институт металлургии материаловедения им. А.А. Байкова РАН – 80 лет. Сборник научных трудов. // М.: Интерконтакт Наука, 2018, 644 с.
- [3] D. Fahr, Dissertation, University of California, 1969
- [4] Дихтиевская К.К. Нанесение тонких модифицирующих поверхность слоёв и их влияние на механические характеристики стали с TRIP эффектом. // «Гагаринские чтения – 2021» Сборник тезисов докладов, 939 с.
- [5] G.B. Olson, M. Cohen, Metall. Trans. A 7, 1897 (1976)
- [6] L. Rémy, A. Pineau, B. Thomas, Mater. Sci. Eng. 36, 47 (1978)
- [7] A. Dumay, J.-P. Chateau, S. Allain, S. Migot, O. Bouaziz, Mater. Sci. Eng. A 483, 184 (2008)
- [8] A. Saeed-Akbari, L. Mosecker, A. Schwedt, W. Bleck, Metall. Mat. Trans. A 43, 1688 (2012)
- [9] Севальнёва ТГ Терентьев В.Ф. Севальнёв Г.С. Власов И.И. Формирование градиентной структуры при волочении проволоки из аустенитно-martенситной трип стали ВНС9-Ш // Деформация и разрушение материалов, 2016, № 8, 29-35с.
- [10] Геминов В.Н., Геров В.В. Колмаков А.Г. Установка для усталостных испытаний тонких проволок. Патент РФ № Ru 2163716C1 январь 14.
- [11] Терентьев В.Ф., Кораблева С.А. Усталость металлов. М.: Наука. 2015. 485 с.