

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

Надежкин М. В.¹, Косинов Д. А.², Бараникова С. А.¹, Зуев Л. Б.¹, Громов В. Е.²

¹Институт физики прочности и материаловедения СО РАН, г. Томск, Россия
bsa@ispms.isc.ru

²Сибирский государственный индустриальный университет, г. Новокузнецк, Россия
gromov@physics.sibsiu.ru

Низкоуглеродистые стали отличаются малой прочностью и высокой пластичностью в холодном состоянии. Эти стали в основном производят в виде тонкого листа и используют после отжига или нормализации для холодной штамповки с глубокой вытяжкой [1, 2]. В работе проведены исследования локализации пластической деформации на разных стадиях кривых нагружения при одноосном растяжении для стали 08Ю. Испытания на растяжение были выполнены на плоских образцах в форме двойной лопатки с размерами рабочей 50×10×2 мм. Образцы растягивались на универсальной испытательной машине «Instron-1185» при комнатной температуре с постоянной скоростью перемещения захвата $V_m = 0,5$ мм/мин. Для исследований макроскопической локализации пластического течения использовалась двухэкспозиционная спекл-фотография [3] (с разрешающей способностью ~1 мкм).

Результаты механических испытаний на растяжение образцов показали, что средние значения механических характеристик (пределов текучести, прочности и относительного удлинения до разрыва) согласуются с данными по механическим свойствам конструкционных углеродистых качественных сталей для термообработанного листа (для стали 08Ю – $\sigma_T = 205$ МПа, $\sigma_B = 255\text{--}350$ МПа, $\delta = 34\%$).

Заметное отличие деформационных кривых в состоянии после горячей прокатки без концентраторов напряжений (1) и с концентраторами напряжений после травления для удаления окалины (2) вдоль прокатки состоит в сокращении продолжительности площадки текучести (рис.). Это свидетельствует о наклепе стали после травления, т.е. образующиеся полосчатые дефекты могут быть областями наклепа материала и являются концентраторами напряжений.

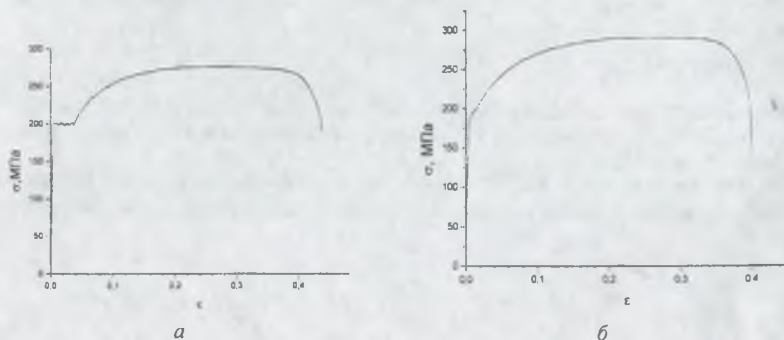


Рис. Кривые нагружения

а – без концентраторов напряжений; б – с концентраторами напряжений

Исследования микроструктуры показали, что в состоянии (1) средний размер зерна в поперечном сечении образца составил $\sim 13,2 \pm 6,2$ мкм, а в продольном сечении $\sim 15,3 \pm 6,4$ мкм. Величина зерна соответствует баллу № 9 по шкале зернистости стали. В состоянии (2) микроструктура полностью соответствует структуре стали 08Ю после горя-

чей прокатки. Балл зерна соответствует № 9 – по шкале зернистости стали. На макрошпифе ясно выделяются полосы светлого и темного цвета – полосчатые дефекты. Ширина полос составила $\approx 1,3$ мм. Отличия в структурах в области дефектов в стали не отмечены. С целью выяснения различия в кристаллической структуре стали в состоянии (1) и (2) был использован рентгеноструктурный анализ. На рентгенограмме образца в состоянии (1) после горячей прокатки присутствуют рефлексы Fe_2O_3 и $\alpha\text{-Fe}$. Интенсивность рефлексов неметаллической фазы значительно превышает интенсивность рефлексов железа. В состоянии (2) после удаления окалины путем травления на рентгенограммах образца со светлых и темных участков – полосчатых дефектов присутствуют рефлексы $\alpha\text{-Fe}$ и Fe_2O_3 . Данные рентгеновских исследований показали, что между светлыми и темными полосчатыми дефектами образца отсутствуют какие-либо отличия в кристаллической структуре.

В образцах в состоянии (1) площадка текучести (стадия I) вместе с зубом текучести имела протяженность до 3,7 % и была обусловлена зарождением и распространением по кристаллу полосы Людерса. Анализ распределений локальных деформаций показал, что пластическая деформация с самого начала нагружения распределена неоднородно, т.е. локализована в зонах макроскопического масштаба, вытянутых вдоль оси растяжения X, в то время как другие объемы при этом же приросте деформации практически не деформируются. Распределения локальных удлинений на площадке текучести представляли собой две зоны локализованной деформации (полосы Людерса). На протяжении всей площадки текучести два фронта пластической деформации перемещались от подвижного захвата с постоянной скоростью $V_I \sim 3,5 \cdot 10^{-5}$ м/с. На стадии параболического деформационного упрочнения картина локализации пластического течения имела вид стационарной системы очагов пластического течения по длине образца с характерным расстоянием между ними $4,5 \pm 1$ мм. В образцах в состоянии (2) полосчатые дефекты располагались перпендикулярно направлению прокатки и оси растяжения. На кривой растяжения в результате наклепа материала площадка текучести отсутствовала и после предела текучести наблюдалась стадия линейного деформационного упрочнения (II) протяженностью до 1,5 % общей деформации. На этой стадии деформация локализована в нескольких зонах локализованной деформации, состоящей в свою очередь из двух-трех связанных очагов, движущихся от подвижного захвата с постоянной скоростью $V_{II} \sim 6 \cdot 10^{-5}$ м/с. На стадии параболического деформационного упрочнения (III) картина локализации пластического течения имела вид стационарной системы очагов пластического течения, однако, в отличие от состояния (1), структура очагов локализации в состоянии (2) оказывается сложной, а именно, на расстояниях 10, 30, 33, 46 и 51 мм по длине образца выявляются высокоамплитудные максимумы локальных деформаций, разделенные совокупностью низкоамплитудных максимумов. Такой характер локализации пластического течения может быть связан с наличием полосчатых дефектов по длине образца, являющихся концентраторами напряжений.

Работа выполнена по проекту в рамках ФЦП «Научные и научно-педагогические кадры инновационной России» на 2009-2013 годы по мероприятию: 1.1 «Проведение научных исследований коллективами научно-образовательных центров в области создания и обработки кристаллических материалов» (ГК № 14.740.11.0037 от 01.09.2010).

Список литературы

1. Сорокин В.Г. Стали и сплавы. Марочник: Справ. изд. – М: Интермет Инжиниринг, 2001. – 608 с.
2. Коцарь Л.С., Белянский А.Д., Мухин Ю.А. Технология листопрокатного производства. – М: Металлургия, 1997. – 272 с.
3. Зуев Л.Б., Данилов В.И., Баранникова С.А. Физика макролокализации пластического течения. Новосибирск: Наука, 2008. – 327 с.