

II КОНСТРУКЦІЙНІ І ФУНКЦІОНАЛЬНІ МАТЕРІАЛИ

УДК 669.017:539.43

Канд. техн. наук А. Б. Максимов

Государственный морской технологический университет, г. Керчь

ОЦЕНКА ПОВРЕЖДАЕМОСТИ НИЗКОЛЕГИРОВАННОЙ СТАЛИ ПРИ ХОЛОДНОЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ

Предложен критерий повреждаемости стали под действием деформации. В качестве критерия повреждаемости определен момент скачкообразного изменения величины микронеровностей поверхности.

Ключевые слова: сталь низколегированная, холодная деформация, дефекты структуры, параметры обработки, допустимая деформация.

Введение

Деформационная обработка позволяет целенаправленно изменять физико-механические характеристики стали [1]. Наряду с достижением необходимого положительного эффекта деформационного воздействия на металл за счет образования дефектов микроструктуры наступает такое состояние, когда количество и качество дефектов микроструктуры будут способствовать разрушению. Поэтому необходимо ограничивать значения параметров деформационной обработки металла [2].

Постановка проблемы и анализ публикаций

В качестве критерия начала разрушения, определяющего качество микроструктуры стали, целесообразно принять момент образования необратимой повреждаемости [3]. Исследования тонкой структуры стали при холодной пластической деформации показало, что начало разрушения металла можно связать с процессом образования полосовой дислокационной структуры [3]. По-существу, полосовая дислокационная структура является основой для зарождения трещин. Однако, исследование дислокационной структуры требует наличия дорогостоящего электронного микроскопа и много времени для подготовки образцов для исследования.

Целью данной работы является выбор критерия качества микроструктуры стали, соответствующий началу разрушения и определение значений параметров его доступным и простым способом.

Материал и методика исследования

В качестве материала исследования использовалась сталь 10Г2С1. Образцы размером 230 × 15 × 8 мм подвергались деформированию с постоянной амплитудой деформации в интервале (1–8) %. На поверхности образца изготавливался шлиф. Изменение микроструктуры стали (изменение величины микронеровностей поверхности) при деформации исследовали на интерференционном микроскопе МИИ-4.

Более подробно методика исследования изложена в работе [4].

Теория и анализ полученных результатов

В работе [4] было установлено, что изменение величины микронеровностей поверхности в зависимости от числа циклов деформирования четко разделяется на две стадии. Вначале (на первой стадии) величина микронеровностей поверхности с увеличением циклов деформирования плавно возрастает. Статистический разброс значений микронеровностей поверхности не превышает значений ошибки измерения.

Затем (на второй стадии) с увеличением числа циклов деформации происходит резкое возрастание величины микронеровностей поверхности стали, а разброс экспериментальных данных превышает на порядок ошибку измерения.

Изменение величины микронеровностей поверхности при деформации обусловлено интрузией и экструзией. Интрузия является зародышевой трещиной [5]. Вследствие того, что на первой стадии разброс значений микронеровностей поверхности не превышает ошибки измерения, то можно предположить, что деформация протекает равномерно по всему образцу. Резкое увеличение разброса значений на второй стадии можно связать с тем, что процесс деформации локализуется в некоторых объемах металла. Момент избирательного деформирования металла можно принять за начало образования необратимой повреждаемости. Количество циклов деформирования (при соответствующей амплитуде деформации) определим как предельно допустимые (N_d). Электронно-микроскопические исследования [6] показали, что в этот момент ячеистая дислокационная структура переходит в полосовую. Образование полосовой дислокационной структуры связывается с начальным этапом разрушения.

Между амплитудой деформации и количеством циклов до разрушения справедливо соотношение Коффина [7]:

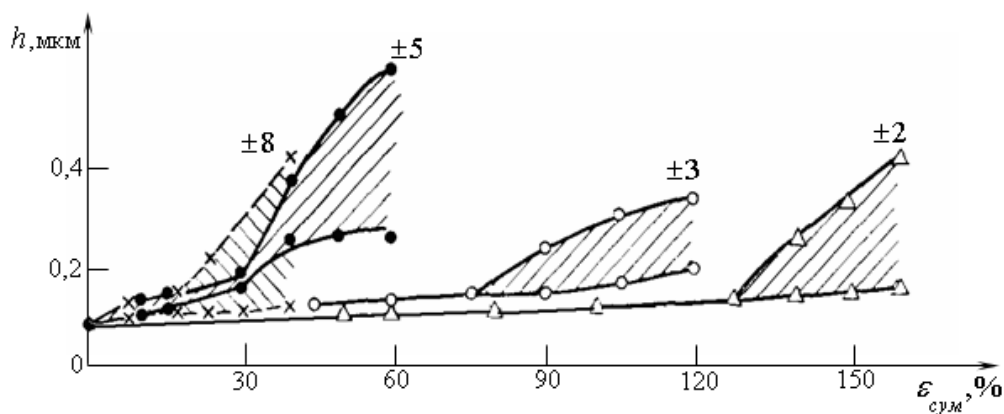


Рис. 1. Изменение величины микронеровностей (h) в зависимости от числа циклов деформирования (N); цифры у кривых – амплитуда деформации, % [4]

$$\varepsilon N_p^\gamma = C, \quad (1)$$

где ε – амплитуда деформации;

N_p – количество циклов до разрушения при соответствующей амплитуде деформации;

γ и C – постоянные, зависящие от материала.

Для стали 10Г2С1 в нормализованном состоянии зависимость (1) имеет вид (рис. 2):

$$\varepsilon N_o^{0,58} = 36. \quad (2)$$

Зависимость между амплитудой деформации и предельно допустимым числом циклов (N_o) описывается зависимостью:

$$\varepsilon N_o^{0,58} = 14,9. \quad (3)$$

Постоянная C в уравнении (1) интерпретируется как величина, равная относительной деформации при растяжении [7]. Для стали 10Г2С1 в нормализованном состоянии относительное удлинение $\delta = 34,5\%$, что близко совпадает с постоянной в правой части уравнения (2). По этой логике постоянная в правой части уравнения (3) должна соответствовать величине равномерной деформации при растяжении.

Деформационное воздействие на металл производится с целью упрочнения. Упрочнение сопровождается снижением пластичности и вязкости стали. В работах [1, 6] показано, что в интервале определенных количеств циклов изгиба происходит повышение пластичности и ударной вязкости (не достигая исходного уровня). Это объясняется формированием ячеистой дислокационной структуры на определенном этапе деформирования. Этот интервал характеризуется оптимальным сочетанием прочностных и пластических свойств стали. Причем упрочнение достигает (60–70) % от максимально возможного, а снижение относительного удлинения и ударной вязкости при нормальной и пониженной температурах не пре-

вышает (15–20) %. Нижняя граница этого интервала (начало формирования ячеистой дислокационной структуры) описывается уравнением:

$$\varepsilon N_H^{0,58} = 12, \quad (4)$$

где N_H – количество циклов, соответствующее началу формирования ячеистой дислокационной структуры при данной амплитуде деформации.

На рис. 2 заштрихованная область, ограниченная прямыми, описываемыми уравнениями (3) и (4) определяет поле деформационных параметров, сочетающих получение оптимального комплекса механических свойств стали без появления необратимой повреждаемости микроструктуры.

По величине интрузии (экструзии) можно оценить количество дислокаций в скоплении [5].

Учитывая, что вектор Бюргера приблизительно равен межатомному расстоянию, и для железа составляет 0,1 нм, то число дислокаций в скоплении можно определить по формуле:

$$n = \frac{h}{b}, \quad (5)$$

где n – число дислокаций в скоплении;

h – высота (глубина) микронеровностей поверхности;

b – вектор Бюргера.

Подставляя численные значения в формулу (5), получим, что $n = 50$. По разным оценкам [8], для образования микротрещины требуется порядка (100–200) дислокаций. Полученный результат соответствует тому, что процессы образования микротрещин и локализации пластической деформации практически совпадают. Поэтому момент совпадения этих процессов можно принять за начало образования необратимой повреждаемости металла. Это позволяет выбрать допустимые значения параметров деформационной обработки (амплитуду деформации и количество циклов деформирования), соответствующие оптимальному сочетанию механических свойств стали.

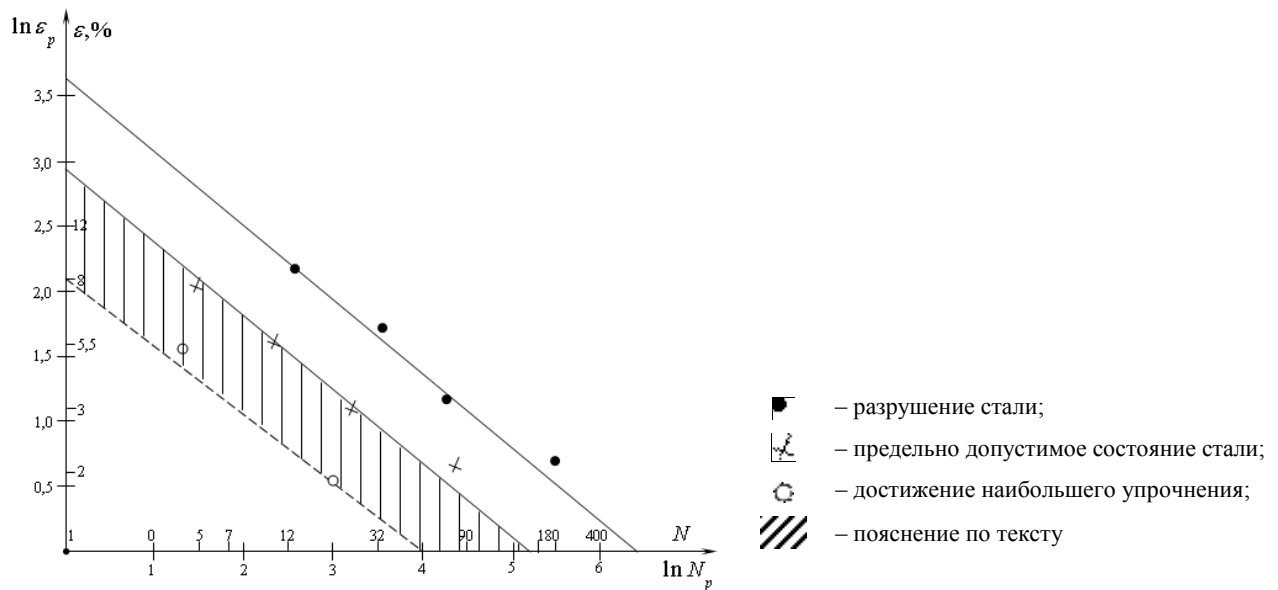


Рис. 2. Зависимость между амплитудой деформации (ε) и числом циклов деформирования

Выводы

На основании выполненных исследований и анализа полученных результатов сделаны следующие выводы:

1. Предложен критерий оценки определения предельно допустимого числа циклов деформирования стали.
2. В качестве критерия оценки необратимой повреждаемости микроструктуры стали выбран момент локализации пластической деформации и формирования микротрещин.
3. Инструментально момент образования необратимой повреждаемости при деформации можно определить по скачкообразному увеличению величины микронеровностей поверхности.

Список литературы

1. Применение пластической деформации циклическим изгибом как элемента упрочняющей термомеханической обработки листового проката из сталей / [Ф. Е. Долженков, М. С. Подгайский, А. Б. Максимов] // Изв. АН СССР. Металлы. – 1984. – № 2. – С. 156–158.
2. А.с. 1433990 СССР, МКИ³ С21Д8/00. Способ обработ-

ки листового проката / М. С. Подгайский, А. Б. Максимов, Т. М. Наливайченко (СССР). – №4231649/23-02 ; заявл. 17.04.87 ; опубл. 30.10.88, Бюл. № 40 (I ч.).

3. Иванова В. С. Усталостное разрушение металлов / В. С. Иванова. – М. : Metallurgiya. – 1963. – 253 с.
4. Максимов А. Б. Изменение величины микронеровностей поверхности при пластическом циклическом изгибе / А. Б. Максимов, М. С. Подгайский // Изв. АН СССР. Металлы. – 1983. – № 2. – С. 161–162.
5. Физическое металловедение / под ред. Р. Кана. – М. : Мир. – 1968. – 484 с.
6. Подгайский В. С. Влияние деформации циклическим изгибом на дислокационную структуру стали 10Г2С1 / М. С. Подгайский, А. Б. Максимов, Ю. П. Нескуб // Изв. АН СССР. Металлы. – 1985. – № 5. – С. 131–134.
7. Максимов А. Б. Определение допустимых пределов изменения параметров деформационной упрочняющей обработки термообработанного проката / А. Б. Максимов, М. С. Подгайский // Повышение качества термически обработанного проката. – М. : Metallurgiya. – 1986. – С. 87–88.
8. Финкель В. М. Физические основы торможения разрушения / В. М. Финкель. – М. : Metallurgiya, 1977. – 360 с.

Одержано 06.09.2011

Максимов А.Б. Оцінка пошкоджуваності низьколегованої сталі при холодній пластичній деформації

Запропоновано критерій пошкоджуваності сталі під дією деформації. Як критерій пошкоджуваності визначений момент стрибкоподібної зміни величини микронерівностей поверхні.

Ключові слова: сталь низьколегована, холодна деформація, дефекти структури, параметри обробки, допустима деформація.

Maximov A. Assessment of damage to low-alloy steel during cold plastic deformation

The criterion of steel damage under the strain action was proposed. The criterion of damage is determined as the moment of hopping changes of the value surface microroughness.

Key words: low-alloy steel, cold deformation, structure defects, processing parameters, admissible deformation.