



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-85-87>
УДК 669

Поступила 31.01.2023
Received 31.01.2023

ИССЛЕДОВАНИЕ ЛОКАЛИЗАЦИИ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

В. П. ФЕТИСОВ, г. Орел, Российская Федерация. E-mail: olga1560@yandex.ru

Установлена взаимосвязь между локализацией пластической деформации в начальной стадии деформирования и в завершающей при развитии шейки. Определена роль интенсивности деформационного упрочнения в области локальной деформации на формирование величины относительного сужения.

Ключевые слова. Величина зерна феррита, размер ячеек, локальное удлинение, интенсивность упрочнения при развитии шейки, относительное сужение.

Для цитирования. Фетисов, В. П. Исследование локализации пластической деформации при растяжении низкоуглеродистой стали / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2023. № 1. С. 85–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-85-87>.

INVESTIGATION OF LOCALIZATION OF PLASTIC DEFORMATION DURING STRETCHING OF LOW-CARBON STEEL

V. P. FETISOV, Orel city, Russia. E-mail: olga1560@yandex.ru

The relationship between the localization of plastic deformation in the initial stage of deformation and in the final stage during the development of the neck is established. The role of the intensity of deformation hardening in the area of local deformation on the formation of the magnitude of relative constriction is determined.

Keywords. The size of the ferrite grain, the size of the cells, local elongation, intensity during the development of the neck, relative narrowing.

For citation. Fetisov V. P. Investigation of localization of plastic deformation during stretching of low-carbon steel. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 1, pp. 85–87. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-1-85-87>.

Деформирование растяжением отожженной низкоуглеродистой стали сопровождается локализацией пластической деформации в начальной стадии течения и на завершающем этапе при образовании и развитии шейки. При этом локализация в начальной стадии обусловлена концентрацией остаточной деформации в приграничных областях ферритных зерен и оценивается длиной площадки текучести [1], а при образовании шейки – превышением напряжения от уменьшения поперечного сечения над напряжением вследствие деформационного упрочнения [2] и характеризуется величиной локального удлинения [3].

В работе [4] рассмотрено изменение длины площадки текучести в зависимости от размера зерна феррита, температуры, скорости, схемы деформации и влияние локализации деформации на способность низкоуглеродистой стали к деформационному упрочнению в области равномерной (устойчивой) деформации.

Целью настоящей работы является исследование завершающей стадии деформирования низкоуглеродистой стали при контроле показателей относительного удлинения и величины относительного сужения.

Эксперименты проводили при растяжении стали 15кп с различной величиной зерна феррита. Временное сопротивление разрыву (σ_B), относительное сужение (Ψ), полное ($\delta_{\text{полн}}$), равномерное ($\delta_{\text{равн}}$) и локальное ($\delta_{\text{лок}}$) относительные удлинения и длину площадки текучести ($l_{\text{пт}}$) определяли при испытании стандартных коротких образцов диаметром 6,0 мм. Кроме того, контролировался показатель деформационного упрочнения (n) в известном уравнении $\sigma = K \varepsilon^n$.

Полученные результаты свидетельствуют (см. таблицу), что временное сопротивление разрыву, длина площадки текучести, локальное удлинение и относительное сужение возрастают, а показатель деформационного упрочнения, равномерное и полное удлинения снижаются при уменьшении размера зерна феррита. При этом локальное удлинение в мелкозернистой стали повышается при уменьшении равномерного удлинения, окончание которого является началом образования шейки.

В работе [3] отмечается взаимосвязь величины локального удлинения с интенсивностью деформационного упрочнения в области сосредоточенной деформации. Выполненный авторами работы [5] контроль изменения размеров ячеек и предела текучести на образцах проволоки в процессе многократного волочения низкоуглеродистой стали ($C=0,13\%$) с разной исходной величиной зерна феррита показал сохранение различия в размерах структурных параметров при истинных суммарных деформациях: 1,27; 1,68; 2,20 и 3,06 ($Q_{\text{сум}}=95\%$), соизмеримых со степенью деформации в шейке, а также уменьшение общего прироста прочности для мелкозернистой стали. Применительно к деформации растяжением экспериментальные данные работы [5] позволяют считать, что вслед за снижением на стадии равномерной деформации показателя деформационного упрочнения для мелкозернистой стали (см. таблицу) интенсивность упрочнения в области локальной деформации также должна снижаться при уменьшении размера ячеек и тем самым способствовать повышению локального удлинения. Следовательно, увеличение локального удлинения в мелкозернистой стали, которое характеризует степень локализации пластического течения на стадии сосредоточенной деформации, обусловлено суммарным эффектом от более раннего начала образования шейки и при снижении в области локальной деформации интенсивности деформационного упрочнения, что в свою очередь приводит к повышению относительного сужения при уменьшении размера зерна феррита (см. таблицу).

Влияние размера зерна феррита в стали 15кп на временное сопротивление разрыву, показатель деформационного упрочнения, длину площадки текучести, показатели относительного удлинения и на относительное сужение и показатель развития шейки при деформации растяжением со скоростью 10^{-4}с^{-1} и при температуре $20\text{ }^\circ\text{C}$

Показатель	Размер зерна феррита, мм				
	0,016	0,022	0,042	0,069	0,11
$\sigma_{\text{в}}, \text{Н/мм}^2$	406,7	386,1	365,5	345,0	329,3
n	0,20	0,33	0,34	0,35	0,37
$\ell_{\text{пт}}, \%$	2,40	1,49	1,30	1,0	0,91
$\Psi, \%$	70,0	70,0	69,0	67,0	67,0
$\delta_{\text{полн}}, \%$	31,0	32,0	32,0	32,0	33,0
$\delta_{\text{равн}}, \%$	22,0	25,0	26,0	26,0	27,0
$\delta_{\text{лок}} = (\delta_{\text{полн}} - \delta_{\text{равн}}), \%$	9,0	7,0	6,0	6,0	6,0
$Y_{\text{ш}}$	0,41	0,28	0,23	0,23	0,22

Отмеченный ранее одинаковый характер зависимости показателей $\ell_{\text{пт}}$ и $\delta_{\text{лок}}$ от исходной структуры свидетельствует, что локализация пластической деформации в начальной стадии деформирования способствует ускорению начала и повышению неоднородности деформации при развитии шейки. При этом наиболее полно локализацию деформации на завершающей стадии пластического течения отражает предложенный в работе [6] показатель развития шейки $Y_{\text{ш}} = (\delta_{\text{полн}} - \delta_{\text{равн}}) / \delta_{\text{равн}}$, характеризующий степень относительного изменения локального удлинения. Сравнение структурной чувствительности локального удлинения и показателя развития шейки показывает (см. таблицу), что отношение показателя $Y_{\text{ш}}$ для экстремальных размеров зерна феррита в 1,3 раза превышает соответствующее отношение для $\delta_{\text{лок}}$.

Полученные результаты подтверждают отмеченное в работе [7] сохранение влияния локализации пластической деформации при контроле длины площадки текучести на область сверхбольших суммарных обжатий, способствуя снижению деформируемости при многократном волочении низкоуглеродистой катанки.

Выводы

1. При контроле длины площадки текучести и величины локального удлинения установлено влияние неоднородности деформации в начальной стадии деформирования на локализацию пластической деформации при развитии шейки.
2. Увеличение локального удлинения и относительного сужения в мелкозернистой стали обусловлено ускоренным началом образования шейки и уменьшением интенсивности упрочнения при ее развитии.
3. Повышенной структурной чувствительностью при контроле локального удлинения обладает показатель развития шейки $Y_{\text{ш}} = (\delta_{\text{полн}} - \delta_{\text{равн}}) / \delta_{\text{равн}}$.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Иванова, В.С.** Роль дислокаций в упрочнении и разрушении металлов/В.С. Иванова, Л.К. Гордиенко, В.Н. Геминов и др. М.: Наука, 1965, 180 с.
2. **Хоникомб, Р.** Пластическая деформация металлов / Р. Хоникомб. М.: Мир, 1972. 408 с.
3. **Губкин, С.И.** Пластическая деформация металлов, Т. 2 / С.И. Губкин. М.: Metallurgizdat, 1961, 416 с.
4. **Фетисов, В.П.** Локализация пластической деформации при деформировании низкоуглеродистой стали / В.П. Фетисов // Литье и металлургия. 2022. № 4. С. 51–54.
5. **Моррисон, В.Б.** Пластичность сплавов со сверхмелким зерном / В.Б. Моррисон, Р.Л. Миллер // Сверхмелкое зерно в металлах. М.: Металлургия, 1973. С. 181–205.
6. **Фетисов, В.П.** Оценка пластичности при деформации углеродистой стали / В.П. Фетисов // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 85–88.
7. **Фетисов, В.П.** Контроль деформируемости при волочении низкоуглеродистой катанки / В.П. Фетисов // Литье и металлургия. 2022. № 3. С. 61–63.

REFERENCES

1. **Ivanova V.S., Gordienko L.K., Geminov V.N.** *Rol' dislokacij v uprochnenii i razrushenii metallov* [The role of dislocations in hardening and fracture of metals.] Moscow, Nauka Publ., 1965, 180 p.
2. **Honeycombe R.** *Plasticheskaya deformaciya metallov* [The plastic deformation of metals]. Moscow, Mir Publ., 1972. 408 p.
3. **Gubkin S.I.** *Plasticheskaya deformaciya metallov* [The plastic deformation of metals]. Moscow, Metallurgija Publ., 1961. 416 p.
4. **Fetisov V.P.** Lokalizatsiya plasticheskoy deformatsii pri deformirovanii nizkouglerodistoy stali [Localization of plastic deformation during the deformation of low-carbon steel]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 4, pp. 51–54.
5. **Morrison W.B., Miller R.L.** *Plastichnost' splavov so sverhmelkim zernom* [Ultrafine- Grain metals] Moscow, Metallurgija Publ., 1973, pp. 181–205.
6. **Fetisov V.P.** Otsenka plastichnosti pri deformatsii uglerodistoy stali [Evaluation of plasticity during deformation of carbon steel]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2019, no. 3, pp. 85–88.
7. **Fetisov V.P.** Kontrol deformiruемости pri volochenii nizkouglerodistoy stali [Control of deformability during drawing of low-carbon wire rod]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2022, no. 3, pp. 61–63.