



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-61-63>
УДК 669.35-157:539.26

Поступила 31.03.2023
Received 31.03.2023

ФОРМИРОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ ДЕФОРМАЦИИ РАСТЯЖЕНИЕМ ПЕРЛИТНОЙ СТАЛИ

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

При деформировании растяжением исследовано влияние дисперсности перлита и параметров деформационного упрочнения при равномерной и локальной деформации на пластические свойства высокоуглеродистой стали. Рост пластичности перлитной стали с тонкопластинчатой структурой обусловлен усилением интенсивности деформационного упрочнения в области сосредоточенной деформации и повышением деформируемости пластин цементита. Для структур тонкопластинчатого перлита приведено соотношение межпластиночного расстояния и величины относительного сужения.

Ключевые слова. Дисперсность перлита, параметры деформационного упрочнения, область равномерной и локальной деформации, разрушение карбидной фазы, показатели пластичности.

Для цитирования. Фетисов, В. П. Формирование пластических свойств при деформации растяжением перлитной стали / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2023. № 2. С. 61–63. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-61-63>.

FORMATION OF PLASTIC PROPERTIES DURING DEFORMATION STRETCHING OF PEARLITIC STEEL

V. P. FETISOV, Orel city, Russia, E-mail olga:1560@yandex.ru

Under tensile deformation, the effect of pearlite fineness and strain hardening parameters under uniform and local deformation on the plastic properties of high-carbon steel has been studied. The increase in the plasticity of pearlitic steel with a thin-lamellar structure is due to an increase in the intensity of strain hardening in the region of concentrated deformation and an increase in the deformability of cementite plates. For the structures of thin-lamellar pearlite, the ratio between the interlamellar distance and the value of the relative narrowing is given.

Keywords. Pearlite dispersion, strain hardening parameters, area of uniform and local deformation, destruction of the carbide phase, plasticity indices.

For citation. Fetisov V. P. Formation of plastic properties during deformation stretching of pearlitic steel. Foundry production and metallurgy, 2023, no. 2, pp. 61–63. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2023-2-61-63>.

Для производства высокопрочной проволоки для металлокорда, рукавов высокого давления, канатной, пружинной и для армирования предварительно напряженных железобетонных конструкций широко используется катанка из высокоуглеродистой стали, пластические свойства которой оцениваются при контроле относительного удлинения и сужения. Поскольку эффективность сталепроволочного производства и качество метизных изделий во многом определяются запасом пластичности высокопрочного состояния металла, то практический интерес представляют исследования формирования пластических характеристик перлитной стали.

Целью настоящей работы является исследование при растяжении влияния дисперсности перлита на взаимосвязь параметров деформационного упрочнения и показателей пластичности высокоуглеродистой стали.

Эксперименты проводили при растяжении стали 80 с различным межпластиночным расстоянием в перлите. Предел текучести (σ_{02}), истинные напряжения при окончании равномерной деформации ($\sigma_{равн}$) и разрушении образца ($\sigma_{разр}$), равномерные относительные удлинение ($\delta_{равн}$) и сужение ($\Psi_{равн}$), полное ($\delta_{полн}$) и локальное ($\delta_{лок}$) относительные удлинения, а также полное относительное сужение при разрушении ($\Psi_{полн}$) и локальное сужение ($\Psi_{лок}$) определяли при испытании стандартных десятикратных образцов диаметром 3,0 мм. При этом показатели удлинения рассчитывали при обработке кривых растяжения и с использованием в качестве начальной длины расстояния между головками образца (37мм). Кроме того, контролировали показатели степени относительного прироста прочности

при равномерной деформации $Y_{\sigma_{\text{равн}}} = (\sigma_{\text{равн}} - \sigma_{02}) / \sigma_{02}$ и в области завершающей локальной деформации $Y_{\sigma_{\text{разр}}} = (\sigma_{\text{разр}} - \sigma_{\text{равн}}) / \sigma_{\text{равн}}$. Показатели подобного типа обладают повышенной структурной чувствительностью [1] по сравнению с традиционным параметром деформационного упрочнения n в известном уравнении $\sigma = K\epsilon^n$.

Влияние дисперсности перлита в стали 80 на механические свойства и показатели деформационного упрочнения при растяжении со скоростью 10^{-2} с^{-1} и температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Показатель	Межпластиночное расстояние в перлите Δ , мкм			
	0,088	0,142	0,296	0,540
σ_{02} , Н/мм ²	980	833	601	464
$\sigma_{\text{равн}}$, Н/мм ²	1194	1127	1019	922
$\sigma_{\text{разр}}$, Н/мм ²	2009	1661	1196	922
$Y_{\sigma_{\text{равн}}} = (\sigma_{\text{равн}} - \sigma_{02}) / \sigma_{02}$	0,22	0,35	0,69	0,99
$Y_{\sigma_{\text{разр}}} = (\sigma_{\text{разр}} - \sigma_{\text{равн}}) / \sigma_{\text{равн}}$	0,68	0,47	0,17	0,0
$\delta_{\text{полн}}$, %	8,7	8,3	8,0	7,7
$\delta_{\text{равн}}$, %	6,1	6,1	7,7	7,7
$\delta_{\text{лок}} = (\delta_{\text{полн}} - \delta_{\text{равн}})$, %	2,6	2,2	0,3	0,0
$\Psi_{\text{полн}}$, %	57,0	52,5	27,5	13,7
$\Psi_{\text{равн}}$, %	6,1	6,9	11,0	13,7
$\Psi_{\text{лок}} = (\Psi_{\text{полн}} - \Psi_{\text{равн}})$, %	50,9	45,6	16,5	0

Полученные результаты (см. таблицу) свидетельствуют, что σ_{02} , $\sigma_{\text{равн}}$ и $\sigma_{\text{разр}}$ возрастают с уменьшением межпластиночного расстояния в перлите; показатель $Y_{\sigma_{\text{равн}}}$ снижается, а $Y_{\sigma_{\text{разр}}}$ повышается с увеличением дисперсности перлита; $\Psi_{\text{полн}}$ повышается, а $\Psi_{\text{равн}}$ снижается при уменьшении межпластиночного расстояния в перлите; $\delta_{\text{полн}}$ увеличивается, а $\delta_{\text{равн}}$ уменьшается для высокодисперсного перлита; $\delta_{\text{лок}}$ и $\Psi_{\text{лок}}$ снижаются с ростом межпластиночного расстояния в перлите; для исследованного максимального значения межпластиночного расстояния в перлите отсутствуют шейка на разрывных образцах и локальное удлинение на кривых растяжения; между показателями $Y_{\sigma_{\text{равн}}}$ и $\delta_{\text{полн}}$, $\Psi_{\text{полн}}$ отмечается обратно пропорциональная, а между $Y_{\sigma_{\text{разр}}}$ и $\delta_{\text{полн}}$, $\Psi_{\text{полн}}$ – прямо пропорциональная зависимость.

Сравнение структурной чувствительности показателей пластичности $\delta_{\text{полн}}$ и $\Psi_{\text{полн}}$ показывает, что относительное сужение наиболее полно отражает высокопрочное состояние перлитной стали. Так, для экстремальных параметров структуры отношения $\delta_{\text{полн}}$ и $\Psi_{\text{полн}}$ составляют соответственно 1,1 и 4,2. В связи с этим рассмотрим формирование показателя относительного сужения перлитной стали.

В общем случае величина относительного сужения при деформации растяжением предопределяется условиями образования шейки и соотношением напряжений вследствие деформационного упрочнения и от уменьшения поперечного сечения образца.

Для перлитной стали источником локализации пластической деформации служат трещины, образующиеся в карбидной фазе из-за отсутствия совместности деформации пластин цементита и феррита [2]. Причем степень несовместности деформации цементита и феррита повышается в структуре грубопластинчатого перлита. В результате чего толстые пластины цементита растрескиваются при относительно небольших деформациях, особенно при растяжении в отличие от волочения с участием сжимающих напряжений [3]. Указанный характер деформации карбидной фазы вызывает ограничения течения металла в направлении растяжения и обеспечивает распространение центральной трещины в плоскости нормальной к оси растяжения [4], что в конечном счете способствует уменьшению развития шейки вплоть до ее полного отсутствия с ростом межпластиночного расстояния в перлите. В свою очередь улучшение деформируемости пластин цементита в тонкопластинчатом перлите обеспечивает увеличение степени деформации до их разрушения и соответственно усиление развития шейки с уменьшением межпластиночного расстояния в перлите.

Вместе с тем прямо пропорциональная зависимость показателей $Y_{\sigma_{\text{разр}}}$ и $\Psi_{\text{полн}}$ позволяет считать, что увеличение интенсивности деформационного упрочнения в области локальной деформации, компенсируя прирост напряжений из-за уменьшения площади сечения при развитии шейки, способствует повышению относительного сужения стали со структурой тонкопластинчатого перлита. При этом общий уровень показателя $Y_{\sigma_{\text{разр}}}$ определяется конкурирующими процессами дополнительного упрочнения при взаимодействии дислокаций с атомами углерода при распаде цементита и разупрочнения при релаксации напряжений из-за образования несплошностей структуры.

Обработка результатов экспериментов (см. таблицу) позволила для структур тонкопластинчатого перлита с $\Delta = 0,088-0,142$ мкм определить следующую зависимость относительного сужения от межпластиночного расстояния:

$$\Psi, \% = 63,48 - 75,94\Delta, \text{ мкм.}$$

Выводы

1. Повышение дисперсности структуры обеспечивает одновременный рост прочностных и пластических характеристик перлитной стали.
2. Наиболее полно пластичность высокопрочного состояния перлитной стали характеризует величина относительного сужения.
3. Формирование пластических свойств перлитной стали обусловлено комплексным влиянием интенсивности деформационного упрочнения в области локальной деформации и степени дефектности пластин цементита, накопленной в процессе пластической деформации.
4. Для структур тонкопластинчатого перлита получено экспериментальное выражение зависимости относительного сужения от межпластиночного расстояния.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фетисов, В. П.** Деформационное упрочнение углеродистой стали / В. П. Фетисов. М.: Мир, 2005, 200 с.
2. **Гриднев, В. Н.** Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. Я. Мешков. Киев: Наукова думка, 1974, 231 с.
3. **Aernoudt E.** Materials Response to Wiredrawing // *Wire Journal*. 1989. Vol. 22. No. 3. P. 53, 55–56, 59–60, 62, 65, 69, 75.
4. **Хоникомб, Р.** Пластическая деформация металлов / Р. Хоникомб. М.: Мир. 1972. 408 с.

REFERENCES

1. **Fetisov V.P.** *Deformacionnoe uprochnenie ughlerodistoj stali* [Carbon steel strain hardening]. Moscow, Mir Publ., 2005, 200 p.
2. **Gridnev V.N., Gavriluk V.G., Meshkov Ju. Ja.** *Prochnost' i plastichnost' holodnodeformirovannoj stali* [Strength and ductility of cold-rolled steel]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974, 231 p.
3. **Aernoudt E.** Materials Response to Wiredrawing. *Wire Journal*. 1989, vol. 22, no. 3, pp. 53, 55–56, 59–60, 62, 65, 69, 75.
4. **Honeycombe R.** *Plasticheskaya deformaciya metallov* [The plastic deformation of metals]. Moscow, Mir Publ., 1972, 408 p.