



<https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-61-64>
УДК 621.771.42:621.78

Поступила 22.07.2021
Received 22.07.2021

КОНТРОЛЬ СПОСОБНОСТИ К ВОЛОЧЕНИЮ КАТАНКИ ИЗ УГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

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

Предложен показатель деформационной способности катанки из углеродистой стали, учитывающий склонность металла к упрочнению, и общий уровень пластических свойств, и определены технологические подходы назначения оптимального суммарного обжатия до промежуточной термической обработки при волочении низкоуглеродистой катанки и катанки для металлокорда.

Ключевые слова. Структурное состояние, максимальная вытяжка за переход, степень упрочнения, деформационная способность, накопление необратимой повреждаемости.

Для цитирования. Фетисов, В. П. Контроль способности к волочению катанки из углеродистой стали / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2021. № 3. С. 61–64. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-61-64>.

CONTROLLING THE DRAWABILITY OF CARBON STEEL WIRE ROD

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

The author proposed an indicator of the deformation capacity of carbon steel wire rod, which took into account the tendency of the metal to hardening and the general level of plastic properties, and determined technological approaches to the designation of the optimal total reduction before intermediate heat treatment by drawing low carbon wire rod and wire rod for metal cord.

Keywords. Structural condition, maximum stretch per transition, degree of hardening, deformation capacity, accumulation of irreversible damage.

For citation. Fetisov V. P. Controlling the drawability of carbon steel wire rod. Foundry production and metallurgy, 2021, no. 3, pp. 61–64. <https://doi.org/10.21122/1683-6065-2021-3-61-64>.

Способность к волочению (деформируемость) катанки характеризуется достигнутым уровнем единичных обжатий за переход и суммарных обжатий до промежуточной термической обработки.

Одним из способов предварительной оценки деформируемости катанки является определение при однократном волочении максимальной вытяжки за переход (μ_{\max}), при которой отсутствует дополнительное (менее диаметра волокна) уменьшение диаметра проволоки на выходе из волокна [1].

Проведенные исследования показали [1], что повышение μ_{\max} отмечается с увеличением размера зерна феррита в низкоуглеродистой стали и для более дисперсной структуры в перлитной стали. Так, для катанки Ст 0м (C = 0,11 %) в горячекатаном состоянии максимальная вытяжка за переход составляет 2,70 против 2,60; 2,55 и 2,36 после одностадийного ускоренного охлаждения с температурой смотки ($T_{\text{см}}$, °C) катанки в бунт соответственно 800; 700 и 600 °C, а для перлитной стали 70: $\mu_{\max} = 2,30$ после патентирования и 2,0 после отжига на грубопластинчатый перлит. В первом случае повышение деформируемости с ростом размера зерна феррита (5–6-й балл для горячекатаного состояния, 7–8-й балл для $T_{\text{см}} = 800$ °C, 8–9-й балл для $T_{\text{см}} = 700$ °C и 10–11-й балл для $T_{\text{см}} = 600$ °C) обусловлено увеличением способности металла к деформационному упрочнению. Так, показатель степени деформационного упрочнения при волочении n_b в выражении $\sigma_b = \sigma_b^* (ln \mu)^{n_b}$ (σ_b – временное сопротивление разрыву; σ_b^* – коэффициент прочности, равный σ_b при $ln \mu = 1$; $ln \mu$ – истинная степень деформации при волочении) возрастает соответственно с 0,14; 0,19; 0,21 до 0,30 для катанки в горячекатаном состоянии. Применительно к перлитной стали в качестве основного фактора роста максимальной вытяжки за переход выступает пластичность металла, связанная с морфологией карбидной фазы: $\psi = 46\%$ для патентированного состояния (пластинчатый перлит балла 1) и $\psi = 22\%$ после отжига (пластинчатый перлит балла 4–5), несмотря на увеличение показателя n_b с 0,096 до 0,175 для отожженного состояния.

Эффективность прямого метода контроля деформируемости с помощью максимальной вытяжки за переход очевидна, однако получаемые результаты зависят также от условий волочения.

В работе [2] для катанки из высокоуглеродистой стали установлена повышенная чувствительность в отношении способности к волочению от структурных изменений. При этом механические характеристики не являются критерием способности металла к волочению, а наиболее надежны данные электронно-микроскопических исследований для контроля деформируемости.

Целью настоящей работы является разработка критерия деформируемости катанки из углеродистой стали на базе стандартных механических испытаний при растяжении и определение технологических подходов назначения оптимального суммарного обжатия до промежуточной термической обработки применительно к низкоуглеродистой катанке и катанке для металлокорда.

Учитывая различное влияние параметров деформационного упрочнения и показателей пластичности на деформируемость низкоуглеродистой и перлитной стали, рассмотрим возможность использования универсального показателя деформационной способности в виде $P_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$, где $Y\sigma_b = (\sigma_b - \sigma_T) / \sigma_T$ – показатель степени относительного прироста прочности (показатель интенсивности деформационного упрочнения); $Y\psi = (F_0 - F_K) / F_K$ – показатель степени относительного уменьшения площади сечения при растяжении (показатель интенсивности сужения). Проведенные исследования [1,3] показали, что $Y\sigma_b$ и $Y\psi$ являются более структурно чувствительными характеристиками по сравнению с показателем степени деформационного упрочнения при волочении и относительным сужением.

В табл. 1, 2 приведено изменение традиционных показателей σ_b , σ_T , ψ и $P_{дс}$ в зависимости от размера зерна феррита в стали 15кп и межпластиночного расстояния в стали 80. Максимальные значения $P_{дс}$ наблюдаются для крупнозернистой низкоуглеродистой стали (3,49 против 2,75) (табл. 1) и для более дисперсной перлитной стали (1,57 против 1,12) (табл. 2), что полностью отражает изложенный ранее характер изменения максимальной вытяжки за переход в зависимости от структурного состояния углеродистой стали и свидетельствует об его эффективности.

Таблица 1. Влияние размера зерна феррита (d) на изменение механических свойств и показателей $Y\sigma_b$, $Y\psi$, $P_{дс}$ при растяжении стали 15 кп со скоростью 10^{-3} с^{-1} и при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$

d , мм	σ_b , Н/мм ²	σ_T , Н/мм ²	ψ , %	$Y\sigma_b$	$Y\psi$	$P_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$
0,016	417,5	274,4	69	0,52	2,23	2,75
0,022	398,9	237,2	69	0,68	2,23	2,91
0,042	379,3	191,1	68	0,98	2,12	3,10
0,069	350,8	151,9	65	1,31	1,86	3,17
0,11	345,0	131,3	65	1,63	1,86	3,49

Таблица 2. Влияние межпластиночного расстояния в перлите (Δ) на изменение механических свойств и показателей $Y\sigma_b$, $Y\psi$, $P_{дс}$ при растяжении стали 80 со скоростью 10^{-3} с^{-1} и при температуре $20 \text{ }^\circ\text{C}$

Δ , мм	σ_b , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	ψ , %	$Y\sigma_b$	$Y\psi$	$P_{дс} = Y\sigma_b + Y\psi$
0,000088	1231,9	911,4	55	0,35	1,22	1,57
0,000142	1033,9	730,1	48	0,42	0,92	1,34
0,000296	945,7	521,4	31	0,81	0,45	1,26
0,000540	799,7	411,6	15	0,94	0,18	1,12

Предложенный показатель деформационной способности, определяемый при стандартных испытаниях, может быть использован при назначении суммарного обжатия катанки Ст 0м и Ст 1 кп для проволоки диаметром 0,28–0,70 мм для тканой сетки и проволоки общего назначения, структура и механические свойства которых должны обеспечить возможность стабильного волочения без промежуточного отжига на заготовку диаметром 1,0–1,2 мм с суммарной степенью деформации 96,6–97,6%. При этом стабильность многократного волочения оценивается методом эстафеты при переработке катанки со свойствами, установленными по результатам контроля $P_{дс}$.

В работе [4] применительно к перлитной стали предлагается при назначении суммарного обжатия волочения передельной заготовки учитывать накопление необратимой повреждаемости в виде не заживающихся при последующем патентировании микротрещин, негативное влияние которых проявляется в росте обрывности при микроволочении и свивке, а также в снижении усталостной долговечности латунированной проволоки и металлокорда [1]. Поэтому для оценки деформируемости перлитной стали необходимо показатель $P_{дс}$ дополнить контролем накопления необратимой повреждаемости холоднодеформируемой проволоки.

В табл. 3 представлены результаты контроля методом гидростатического взвешивания прироста удельного объема холоднодеформируемой стали при волочении катанки для металлокорда диаметром 5,5 мм из высококчистой стали 70 [1]. До суммарного обжатия 87,2% происходит монотонный прирост удельного объема, а при дальнейшей деформации отмечается резкое возрастание из-за возникающих дефектов структуры и требуются дополнительные технологические приемы для его уменьшения, в том числе чередование процесса волочения с деформацией (без уменьшения диаметра проволоки) знакопеременным изгибом с растяжением (ЗПИР). Эффективность применения дополнительной деформации ЗПИР на последних переходах в маршруте волочения отражена в результатах экспериментов, приведенных в табл. 3.

Таблица 3. Влияние суммарного обжатия на прирост удельного объема холоднодеформированной стали в процессе традиционного волочения (числитель) и при чередующихся процессах деформации волочением и знакопеременным изгибом с растяжением (знаменатель) катанки диаметром 5,5 мм из высококчистой стали 70

Диаметр проволоки, мм	Суммарная степень деформации, %	Прирост удельного объема, %
4,60	30,0	$\frac{0,12}{-}$
3,20	66,5	$\frac{0,24}{-}$
1,97	87,2	$\frac{0,40}{0,30}$
1,60	91,5	$\frac{1,20}{0,50}$
1,30	94,4	$\frac{1,30}{0,60}$

Пластическая деформация перлитной стали характеризуется повышенной неоднородностью распределения дислокаций и возникновением в локальных объемах напряжений, превышающих предел прочности материала, релаксация которых сопровождается образованием и развитием микротрещин. Наблюдаемое при ЗПИР деформационное (атермическое) разупрочнение [5] обеспечивает релаксацию локальных пиковых напряжений еще до образования микротрещин, что приводит к снижению прироста удельного объема холоднодеформированной стали (табл. 3).

Практическая реализация приведенного технологического приема снижения накопления необратимой повреждаемости обеспечивается при применении на последних переходах волочильных блоков стана петлевого типа для волочения и дополнительной деформации ЗПИР по евразийскому патенту № 006670.

Выводы

1. Необходимыми условиями повышения деформируемости катанки из углеродистой стали являются:

- увеличение размера зерна феррита, снижение прочностных свойств и рост интенсивности деформационного упрочнения для низкоуглеродистой стали;
- повышение дисперсности структурных составляющих и рост пластических свойств для перлитной стали.

2. Для предварительной оценки деформируемости предложен, определяемый при стандартных механических испытаниях, показатель деформационной способности $P_{дс} = Y\sigma_{в} + Y\psi$, учитывающий склонность металла к упрочнению и общий уровень пластических свойств.

3. Назначение суммарного обжатия до промежуточной термической обработки осуществляется с учетом показателя $P_{дс}$ и после контроля стабильности процесса многократного волочения низкоуглеродистой катанки методом эстафеты и определения прироста удельного объема холоднодеформируемой стали в процессе волочения катанки для металлокорда.

4. Одним из эффективных способов снижения накопления необратимой повреждаемости холоднодеформированной перлитной стали является чередование процесса волочения с дополнительной деформацией знакопеременным изгибом с растяжением.

ЛИТЕРАТУРА

1. **Фетисов, В. П.** Деформационное упрочнение углеродистой стали / В. П. Фетисов. М.: Мир, 2005. 200 с.
2. **Moroz P., Donald F., James J.** The role of optical and electron microscopy in evaluating lead patented high-carbon steel rods // Wire. 1974, № 1. P.5 1–59.
3. **Фетисов, В. П.** Оценка пластичности при деформации углеродистой стали / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2019. № 3. С. 85–88.
4. **Гриднев, В. Н.** Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. Я. Мешков. Киев: Наукова думка, 1974, 231 с.
5. **Фетисов, В. П.** Деформационное старение стали при волочении проволоки / В. П. Фетисов. Минск: Белоргстанкинпромиздат, 1996. 120 с.

REFERENCES

1. **Fetisov V.P.** *Deformacionnoe uprochnenie uglerodistoj stali* [Carbon steel strain hardening]. Moscow, Mir Publ., 2005, 200 p.
2. **Moroz P., Donald F., James J.** The role of optical and electron microscopy in evaluating lead patented high-carbon steel rods. Wire, 1974, vol 1. P. 51–59.
3. **Fetisov V.P.** Ocenka plastichnosti pri deformacii uglerodistoy stali. Evaluation of plasticity during deformation of carbon steel// *Lit'e i metallurgiya = Foundry production and metallurgy*. 2019, no. 3, pp. 85–88.
4. **Gridnev V.N., Gavriljk V.G., Meshkov Ju. Ja.** *Prochnost' i plastichnost' holodnodeformirovannoj stali* [Strength and ductility of cold-rolled steel]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974, 231 p.
5. **Fetisov V.P.** *Deformacionnoe starenie stali pri volochenii provoloki* [Deformational aging of steel during wire drawing]. Minsk, Belorgstankinpromizdat Publ., 1996, 120 p.