



УДК 621.771.42:621.78  
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-45-47

Поступила 09.04.2019  
Received 09.04.2019

## ЭФФЕКТИВНОСТЬ ВОЛОЧЕНИЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ ПРОВОЛОКИ С ПОВЫШЕННОЙ ДОЛЕЙ СЖИМАЮЩИХ НАПРЯЖЕНИЙ В СХЕМЕ ДЕФОРМАЦИИ

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

*Волочение в области сверхбольших суммарных обжатий с превалирующим воздействием сжимающих напряжений обеспечивает релаксацию локальных пиковых напряжений и повышение запаса пластичности ультравысокопрочной латунированной проволоки для металлокорда.*

**Ключевые слова.** Соотношение при волочении сжимающих и растягивающих напряжений, релаксация локальных пиковых напряжений, повышение пластичности холоднодеформированной стали.

**Для цитирования.** Фетисов, В. П. Эффективность волочения высокопрочной проволоки с повышенной долей сжимающих напряжений в схеме деформации / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. 2019. № 2. С. 45–47. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-45-47.

## THE EFFICIENCY OF DRAWING HIGH-STRENGTH WIRE WITH A HIGH PROPORTION OF COMPRESSIVE STRESSES IN THE DEFORMATION SCHEME

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

*Drawing region ultralarge total of reductions with the prevailing influence of compressive stress provides relaxation local peak stresses and increase of the stock of plasticity ultraviolence brass plated wire for steel cord.*

**Keywords.** The ratio of drawing compressive and tensile stresses, relaxation of local peak stresses, increasing the plasticity of cold-deformed steel.

**For citation.** Fetisov V. P. The efficiency of drawing high-strength wire with a high proportion of compressive stresses in the deformation scheme. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 2, pp. 45–47. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-2-45-47.

Для разработки перспективных технологических процессов волочения проволоки важно знать влияние соотношения сжимающих и растягивающих напряжений в схеме объемного напряженного состояния на формирование свойств холоднодеформированной стали.

В работе [1] для отношения радиальных (сжимающих) и долевого (растягивающих) напряжений получено следующее выражение:

$$\sigma_r/\sigma_e = 1,65(\ln \mu)^2 + 8,65 \ln \mu + 2,43. \quad (1)$$

Расчеты по (1) показывают, что  $\sigma_r = \sigma_e$  при истинной степени деформации  $\ln \mu = 0,171$  ( $q = 15,75\%$ ). Соответственно при единичном обжатии  $q > 15,75\%$  сжимающие напряжения становятся меньше растягивающих, а при  $q < 15,75\%$  в схеме деформации волочением превалируют сжимающие напряжения, причем их величина возрастает с уменьшением степени единичной деформации.

Для исследования влияния экстремальных значений сжимающих напряжений при одинаковом единичном обжатии эксперименты проводили при деформировании волочением и проталкиванием (вдавливании). Полученные результаты свидетельствуют (табл. 1) о том, что деформация в условиях всестороннего сжатия приводит к увеличению в 3,5–4,0 раза показателя степени относительного прироста прочности  $Y\sigma_b$ , являющегося надежным критерием усталостной долговечности [1], и в 1,3–2,5 раза равномерного удлинения, наиболее полно отражающего пластические свойства холоднодеформируемой стали. В случае предварительно деформированной волочением проволоки из стали 80 переход от двух-

к трехосным сжимающим напряжениям усиливает при малых степенях деформации эффект атермического разупрочнения и смещает его начало в сторону меньших суммарных обжатий [1].

Таблица 1. Влияние деформации волочением (числитель) и проталкиванием (знаменатель) на изменение свойств катанки Ст 0м с  $\sigma_B = 348,9 \text{ Н/мм}^2$

Диаметр проволоки $d$ , мм	Единичная степень деформации		$\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	$Y_{\sigma_B} = \frac{\sigma_B - \sigma_{02}}{\sigma_{02}}$	Равномерное удлинение на базе $10d$ , %
	$\ln \mu$	$q$ , %			
6,2	0,07	6,0	<u>386,1</u>	<u>0,023</u>	<u>4,1</u>
			416,5	0,081	5,2
6,0	0,13	12,0	<u>424,3</u>	<u>0,019</u>	<u>1,66</u>
			436,1	0,070	4,18
5,8	0,20	18,0	<u>460,6</u>	<u>0,012</u>	<u>1,33</u>
			495,9	0,048	2,65

В процессе многократного волочения наблюдается прирост удельного объема холоднодеформированной стали (табл. 2) [1], причем в большей степени с увеличением суммарного обжатия и диаметра исходной заготовки. Детальное исследование этого явления выполнено в работе [2]. Показано, что фактическое увеличение удельного объема существенно превышает значения, которые могут быть вызваны повышением плотности дислокаций и вакансий, и обусловлено неоднородным распределением дислокаций, создающих области локального перенапряжения с последующим возникновением в холоднодеформированной стали многочисленных микродефектов в виде пор и микротрещин. Поэтому технология волочения в области сверхбольших суммарных обжатий должна еще до образования и развития микротрещин обеспечивать постоянную релаксацию локальных пиковых напряжений.

Таблица 2. Прирост удельного объема холоднодеформированной стали в процессе традиционного волочения (числитель) и при чередующихся процессах деформации волочением и знакопеременным изгибом с растяжением катанки диаметром 5,5 мм из высококачистой стали 70

Диаметр проволоки, мм	Суммарная степень деформации, %	Прирост удельного объема холоднодеформированной проволоки, %
4,60	30,0	<u>0,12</u>
		–
3,20	66,5	<u>0,24</u>
		–
1,97	87,2	<u>0,40</u>
		0,30
1,60	91,5	<u>1,20</u>
		0,50
1,30	94,4	<u>1,30</u>
		0,60

Один из способов обеспечения релаксации напряжений представлен в экспериментальных данных табл.2. Но эффективность дополнительного деформирования знакопеременным изгибом с растяжением резко снижается при микроволочении проволоки. В работе [3] показано, что релаксация локальных пиковых напряжений достигается за счет применения теплого волочения на последних переходах многократного волочения. В этом случае снижение сопротивления пластической деформации и задействование дополнительных плоскостей скольжения смещают момент полного охрупчивания холоднодеформированной стали в область повышенных суммарных обжатий.

Разработанный нами способ (Евразийский патент 002443) снижения необратимой повреждаемости в ультравысокопрочной проволоке базируется на реализации эффекта атермического разупрочнения при чередовании на последних переходах многократного волочения нормальных (не более 15,75%) и пониженных единичных обжатий, реализующих пластическую деформацию в условиях преобладающего

воздействия сжимающих напряжений. Проведенные исследования (табл. 3) позволили в зависимости от предварительного суммарного обжатия проволоки установить диапазон оптимальных степеней малых деформаций, обеспечивающих повышение пластичности холоднодеформированной стали. Так, для 5,2% после 23-го перехода, 4,95% после 24-го перехода и 3,3% после чистового 25-го перехода при волочении ультравысокопрочной латунированной проволоки диаметром 0,18 мм с суммарным обжатием 98,6% из особочистой стали 90 достигнуто увеличение числа переменных скручиваний в 6,3 раза (с 14 до 88) и относительного удлинения на базе 200 мм в 1,6 раза (с 0,75 до 1,2%) при незначительном разупрочнении (4083 против 4095 Н/мм<sup>2</sup>).

Таблица 3. Влияние дополнительной деформации по переходам в маршруте волочения латунированной проволоки диаметром 0,18 мм из особочистой стали 90 на изменение  $\sigma_b$ , Н/мм<sup>2</sup> (верхнее значение),  $\delta_{200}$ , % (среднее значение) и числа переменных скручиваний (нижнее значение)

Диаметр проволоки по переходам в маршруте волочения, мм	Степень предварительной суммарной деформации $\ln \mu$	Без дополнительной деформации	Степень дополнительной деформации волочением, %				
			1,0–1,1	3,0	4,7–6,2	7,5–8,2	9,4
0,206	3,90	3858	3844	–	3731	3745	3794
		0,59	0,64		1,23	1,35	1,31
		10,8	18,0		101,6	83,7	38,0
0,190	4,06	3940	3925	–	3847	3862	–
		0,65	0,92		0,97	0,95	
		11,5	62,6		38,2	89,5	
0,178	4,19	4106	4090	4040	4058	4086	–
		0,73	0,97	1,09	1,01	0,97	
		13,1	40,4	63,8	51,8	44,0	

Вместе с тем, существенное снижение единичного обжатия сопровождается повышенным износом волок. Одним из известных технологических приемов уменьшения их износа является волочение с противонапряжением, которое можно реализовать при размещении в сборном волочильном инструменте двух волок для нормального и малого обжатий. При этом отпадает необходимость в увеличении кратности волочильных станов. Кроме того, при волочении высокопрочной проволоки основной причиной замены волок является не превышение допуска на диаметр, а образование на поверхности проволоки различных дефектов, в том числе поперечных микротрещин [1], вызывающих повышенную обрывность при свивке металлокорда на машинах двойного кручения.

Таким образом, варьирование в области сверхбольших суммарных обжатий соотношением сжимающих и растягивающих напряжений является эффективным способом повышения пластичности холоднодеформированной стали и может быть использовано при волочении ультравысокопрочной латунированной проволоки для металлокорда.

### 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. Гаврилук, Ю. Я. Мешков. Киев: Наукова думка, 1974. 231 с.
3. Потемкин К. Д. Пути повышения прочностных свойств проволоки / К. Д. Потемкин // Стальные канаты. Киев: Техника, 1966. Вып. 3. С. 402–407.

### REFERENCES

1. Fetisov V. P. *Deformacionnoe uprochnenie uglerodistoj stali* [Carbon steel strain hardening]. Moscow, Mir Publ., 2005, 200 p.
2. Gridnev V. N., Gavriljuk 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. Potemkin K. D. *Puti povysheniya prochnostnyh svojstv provoloki* [Ways to improve the strength properties of the wire]. *Stal'nye kanaty = Steel ropes*, Kiev, Tehnika Publ., 1966, Vyp. 3, pp. 402–407.