



The ways of production of cold-drawn wire with increased plasticity by means of additional radial deformations are examined.

А. В. ДЕМИДОВ, РУП «БМЗ»

УДК 669

СПОСОБЫ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ХОЛОДНО-ТЯНУТОЙ ПРОВОЛОКИ С ПОВЫШЕННОЙ ПЛАСТИЧНОСТЬЮ ПУТЕМ ДОПОЛНИТЕЛЬНЫХ РАДИАЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ

Известно, что сталь под действием только внешних растягивающих усилий обладает невысокой способностью к холодной пластической деформации: стальная проволока при растяжении разрушается уже при небольших деформациях. В процессе растяжения создаются благоприятные условия для роста трещин в направлении, перпендикулярном действию растягивающих напряжений.

Пластичность холоднотянутой стали подчиняется правилу Губкина — чем больше в напряженном состоянии доля растягивающих напряжений, тем пластичность металла в процессе деформации меньше. Под действием сжимающих напряжений, наоборот. Сжимающие напряжения в большей мере способствуют проявлению пластичности, чем растягивающие [1]. При волочении проволока в волоке испытывает сжимающие напряжения в рабочем конусе и растягивающие в цилиндрической части [2].

В сравнении с другими процессами ОМД процесс волочения характеризуется относительно низкой пластичностью из-за наличия растягивающего напряжения (в сравнении, например, с прокаткой). Действие на проволоку сжимающих напряжений в радиальном направлении обеспечивается рабочим каналом волоки. Радиальные напряжения в свою очередь вызывают силы трения и связанные с ними дополнительные деформации сдвига, причем тем больше, чем выше сжимающие напряжения, действующие на проволоку. Неоднородность деформации по сечению проволоки может привести в поверхностных слоях проволоки к перенаклепу и появлению по этой причине очагов разрушения, а в центре — к появлению осевых разрывов из-за избыточных растягивающих напряжений. Следовательно, необходимость обеспечения высокого уровня радиальных сжимающих напряжений при максимально однородной деформации проволоки

по сечению является противоречием напряженно-деформированного состояния проволоки при волочении.

Снизить силу трения можно увеличением величины противонапряжения проволоки на входе в волоку. По условию волочения это приводит к снижению сжимающих радиальных напряжений, что отрицательно влияет на пластичность проволоки.

Влияние величин единичных обжатий

С увеличением степени холодной деформации проволоки монотонно снижаются показатели, характеризующие способность проволоки к пластической деформации (относительное удлинение $\sigma_{0,2}$), — процесс, связанный с наклепом и деформационным старением проволоки. Для компенсации этого используются приемы, предусматривающие постепенное увеличение доли сжимающих, радиальных напряжений и снижение растягивающих. Наиболее распространенный способ — снижение величин единичных обжатий по маршруту волочения. При этом уменьшается требуемое усилие волочения (продольное растягивающее напряжение) и увеличивается сжимающее радиальное:

$$\downarrow \mu_{\text{ед}} \rightarrow \downarrow \sigma_{\text{вол}} \rightarrow \downarrow \sigma_1 \rightarrow \uparrow \sigma_r.$$

Однако существенное снижение единичных вытяжек требует увеличения дробности деформации, при этом понижается напряжение волочения и повышаются радиальные напряжения, а с ними и силы трения. Вследствие этого неравномерность деформации, свойственная процессу волочения, суммарно увеличивается [3]. Поэтому этот способ имеет ограниченное применение.

Влияние дополнительных протяжек с малыми обжатиями

Ряд способов изготовления холоднотянутой проволоки с повышенной пластичностью включа-

ет в себя волочение с дополнительными деформациями проволоки с малыми степенями преимущественно радиальными напряжениями, например, путем протяжки на промежуточных этапах волочения через волокна с одним и тем же фактическим размером [4] или путем чередования единичных обжатий от 9 до 17% с единичными обжатиями от 3 до 8% [5]. Используется также способ, включающий дополнительную обработку проволоки после волочения путем протягивания через волоку, обеспечивающую величину обжатия величиной 1–3% [6]. При этом для улучшения однородности деформации по сечению, улучшения захвата смазки, облегчения настройки прямолинейности проволоки и снижения в ней уровня

остаточных напряжений используют волокна с малой конусностью. Так, согласно Максвеллу–Вистрайху [7], при величине обжатия около 5% оптимальный двойной рабочий угол должен составлять около 2°.

Недостатки перечисленных способов выявляются при анализе зависимости усилия волочения от величины единичного обжатия проволоки с $\sigma_B=2190 \text{ Н/мм}^2$, пример которого приведен на рис. 1. При этом использовали волокна со следующими параметрами: угол рабочего конуса стандартной проволоки $2\alpha=10^\circ$, волокна с малой конусностью $2\alpha=1^\circ 20'$, относительная длина цилиндрической части $l/d=50\%$, скорость разрывной машины 150 мм/мин.

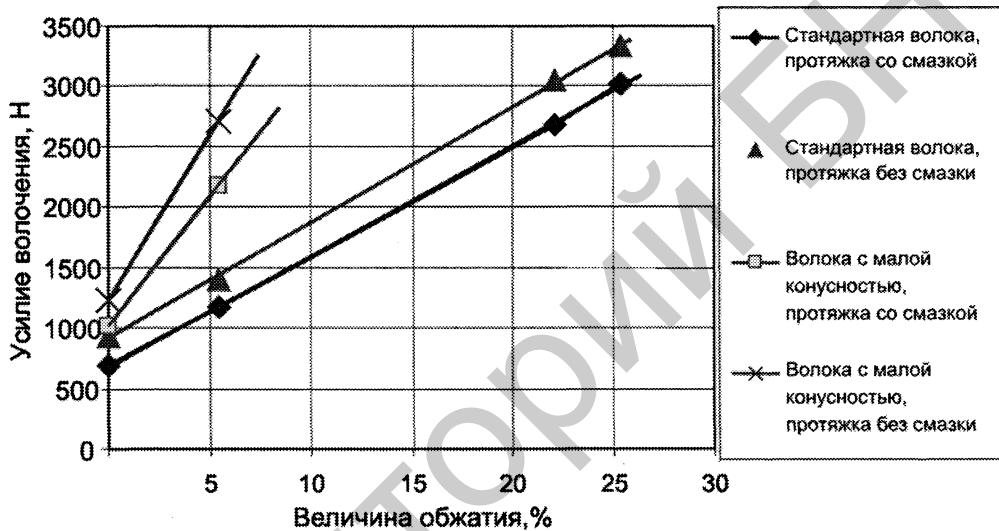


Рис. 1. Зависимость усилия протяжки проволоки через волоку диаметром 1,83 мм от величины единичного обжатия

Как видно из рисунка, при протяжке через волоку даже с незначительной величиной остаточной деформации усилие протяжки составило около 685–1224 Н в зависимости от геометрии проволоки и наличия смазки.

Кроме того, при малых обжатиях за проход существенно возрастает износ волок в цилиндрическом пояске и выходной части проволоки. Это связано со стремлением проволоки к упругому восстановлению под действием радиальных сжимающих напряжений, что вызывает силу трения между проволокой и волокой. Пример зависимости диаметра проволоки после протяжки через одну и ту же волоку от величины единичного обжатия приведен на рис. 2.

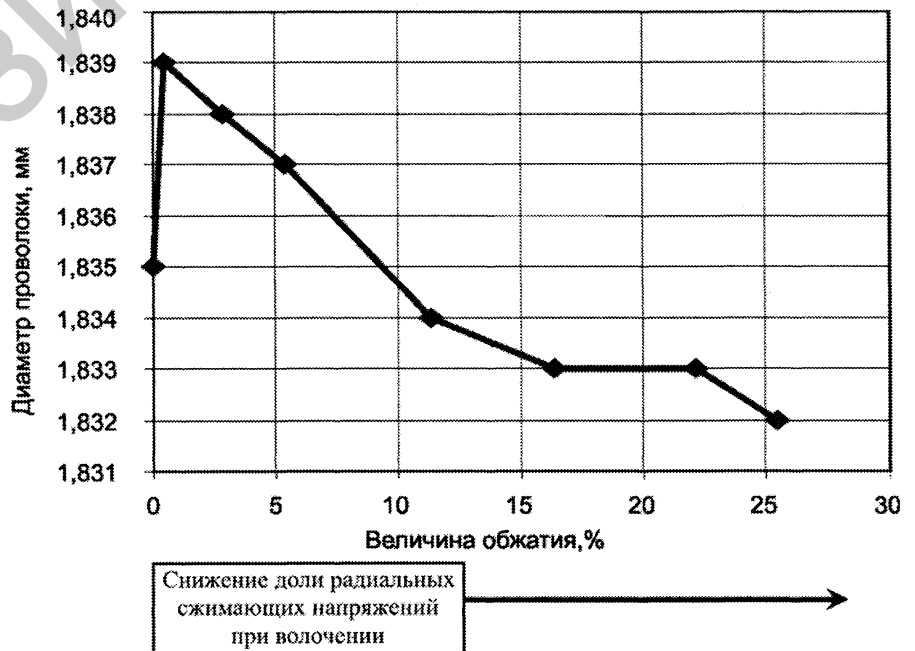


Рис. 2. Зависимость диаметра проволоки на выходе из волоку диаметром 1,83 мм от величины единичного обжатия

Максимальный диаметр проволоки (рис. 2) соответствует максимальной доле сжимающих

напряжений в проволоке при протяжке и одновременно совпадает с наиболее интенсивным износом волокна в выходной части. Эти факторы, повышающие неоднородность деформации проволоки по сечению, затрудняют применение малых обжатий для повышения пластичности холоднотянутой проволоки.

Влияние дополнительных обработок проволоки после волочения

Воздействовать на проволоку дополнительными сжимающими напряжениями можно другими методами, отличными от волочения. Например, для изделий сложного профиля широкое распространение получила дробеструйная обработка, при которой энергия частиц, соударяющихся с поверхностью изделия, способствует перераспределению остаточных напряжений. Преимущество этого способа перед волочением с малыми обжатиями – отсутствие избыточных деформаций сдвига, недостаток – сложность реализации в условиях серийного производства холоднотянутой проволоки.

При изготовлении круглого профиля большее распространение получили механические устройства для снятия остаточных напряжений типа рихтовки, преимущество которых состоит в замене трения скольжения в волоке на трение качения. В таких устройствах на проволоку, как правило, действуют внешнее растягивающее напряжение,

напряжения изгиба (сжатие–растяжение) и радиальное сжимающее напряжение в зоне контакта проволоки с роликами рихтовки. Исследовательским центром метизного производства РУП «БМЗ» изучалось влияние отдельных деформаций при обработке высокопрочной холоднотянутой проволоки на показатели пластичности.

К высокопрочной проволоке для бортовых колец шин диаметром 1,83 мм с временным сопротивлением разрыву 2180–2200 Н/мм², производимой на РУП «БМЗ», предъявляются повышенные требования к нерасслаиваемости и числу скручиваний после искусственного старения. Для повышения пластичности провели подбор оптимальных параметров ее дополнительной обработки после волочения. При этом проволоку протягивали через два рихтовальных устройства с шагом роликов 26 и 45 мм и диаметром 22 мм. Большой шаг рихтовки обеспечивал максимальные изгибающие напряжения в сравнении с радиальными. Для дополнительной деформации проволоки преимущественно радиальными сжимающими напряжениями проволока была зажата в обкаточном устройстве между двумя роликами, расположенными с противоположных сторон от проволоки. В эксперименте настраивали и измеряли усилие вытяжки проволоки из устройств, которое составляло около 30–40 Н. Результаты приведены в таблице.

Изменение показателей пластических свойств проволоки диаметром 1,83 НТ после дополнительных деформаций

Образец	Среднее число скручиваний после искусственного старения	Доля расслоений после скручиваний, %	$\sigma_{0,2}/\sigma_B$, %	Изменение основных напряжений проволоки при деформации
Исходная проволока	24,1	50	79,9	–
Обработка в обкаточном устройстве	37,4	0	78,8	<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: small;">Увеличение радиальных напряжений</div> <div style="margin: 0 10px;">↑</div> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); font-size: small;">Увеличение изгибающих напряжений</div> </div>
Обработка в рихтовальном устройстве с величиной шага между роликами	26 мм	35,1	79,3	
	45 мм	24,6	37,5	

Как следует из таблицы, увеличение плеча изгиба холоднотянутой проволоки в рихтовальном устройстве привело к заметному снижению числа скручиваний. Дальнейшие эксперименты показали, что склонность к расслоению проволоки диаметром 1,83 НТ после обработки в рихтовальном устройстве с шагом 58 мм, как правило, выше, чем у исходной, что является следствием отрицательного влияния изгиба на пластичность проволоки. Было установлено, что меньший шаг роликов рихтовки предпочтительней для дополнительной деформации проволоки с пониженным соотношением $\sigma_{0,2}/\sigma_B$. Данная закономерность зависит от вида предварительной деформации материала и была выявлена на волоченой с большими суммарными обжатиями и затем отпущенной проволоке со свойствами, близкими к расслоению при скручивании.

Наибольший эффект повышения пластичности по числу скручиваний проволоки до и после искусственного старения достигается при обкатке за счет радиальных сжимающих напряжений.

В литературе имеются сведения о том, что волочение с обжатием на последнем проходе в пределах 0,8–1,5% дает примерно такие же результаты, как и обкатка. Такое обжатие, как и при обкатке, создавая небольшие пластические деформации только в поверхностном слое, помогает переходу в этих слоях упругих продольных и окружных деформаций растяжения в деформации сжатия [3]. Однако необходимое усилие вытяжки при обкатке проволоки диаметром 1,83 мм составило порядка 30–40 Н по сравнению с 685–1224 Н при волочении. Это делает процесс повышения пластичности с применением устройства обкатки экономически

выгодным при одинаковых результатах с протяжкой через волокна с малыми обжатиями.

Так, для стана грубого волочения в сравнении с чистой волокой диаметром 1,83 мм при величине обжатия проволоки около 3%, скорости намотки волочения 10 м/с экономия электроэнергии на одной протяжке составляет порядка 6–12 кВт/ч. Относительно высокие в сравнении с обкаткой растягивающие напряжения при протяжке проволоки через калибрующую волоку снижают радиальные сжимающие и, следовательно, эффективность дополнительной обработки. Излишняя энергия, необходимая для протяжки проволоки через калибрующую волоку, затрачивается на нагрев поверхностных слоев, увеличение неоднородности деформации проволоки по сечению и наклеп. Способ дополнительной обработки проволоки обкаткой лишен перечисленных недостатков.

В настоящее время на Белорусском металлургическом заводе проводятся НИОКР по внедрению обкатки для дополнительной обработки при волочении заготовки высокопрочной проволоки для бортовых колец шин.

Выводы

1. Пластические свойства стали при волочении в большей степени проявляются с увеличением радиальных сжимающих напряжений между проволокой и волокой в рабочем конусе. С этой

целью используют дополнительные деформации проволоки, например, протяжкой с малыми величинами обжатий, что, как правило, приводит к суммарному увеличению неоднородности деформации проволоки по сечению.

2. Наибольшее снижение показателя $\sigma_{0,2}/\sigma_B$ достигается обработкой холоднотянутой и отпущенной проволоки в рихтовальном устройстве с пониженным отношением шага роликов к диаметру обрабатываемой проволоки.

3. Снизить склонность к расслоению холоднотянутой проволоки без излишнего наклепа можно за счет воздействия дополнительных сжимающих напряжений при обкатке вращающимися роликами. Этот способ может использоваться как на промежуточных протяжках проволоки, так и на конечном диаметре (до и после отпуска).

Литература

1. Золотаревский В.С. Механические испытания и свойства металлов. М.: Металлургия, 1974.
2. Битков В.В. Технология и машины для производства проволоки. Екатеринбург: УрО РАН, 2004.
3. Перлин И.Л. Теория волочения. М.: Металлургия, 1956.
4. Мешков Ю.Я., Меттус Г.С. // Сталь. 1987. №3. С. 72–73.
5. Пат. ВУ 5436.
6. Пат. ВУ 6035.
7. Максвелл Т. Техническое обслуживание, конструкция, измерение и смазка волочильных фильер // Wire Journal International. 19 June 2001. С. 72–77.