

Алимов В. И.,
Пушкина О. В.

СВОЙСТВА ПРОЧНОЙ ВЯЗАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ ПОСЛЕ ДОРЕКРИСТАЛЛИЗАЦИОННОГО ОТЖИГА

Установлены параметры деформационно-термической обработки стальной проволоки, содержащей 0,6 % углерода, обеспечивающие предел прочности 1270–1520 Н/мм², разрывное усилие с узлом более 9,5 кН и относительное удлинение более 5 %. Обоснована разновидность термической обработки холоднодеформированной стали, обеспечивающая повышение пластичности в несколько раз при незначительной потере прочности, классифицируемая как неполный дорекристаллизационный отжиг.

Ключевые слова: деформационно-термическая обработка, холоднодеформированная сталь, неполный дорекристаллизационный отжиг.

1. Введение

Управление процессами, происходящими при нагреве предварительно холоднодеформированной стальной проволоки, обеспечивает спектр свойств, предъявляемых к проволоке различного целевого назначения. В одних случаях необходимо сохранить свойства, приобретенные при холодном волочении (канатная проволока), в других — одновременно повысить упругость (текучесть) и пластичность (струнобетонная проволока), в третьих — разупрочнить и существенно повысить пластичность (игольная проволока) и др.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Такие, часто противоречивые свойства проволоки, достигаются применением отжигов, которые со строго научной точки зрения, базирующейся на сущности фазово-структурных превращений, подразделяются на дорекристаллизационный упрочняющий (ДРОУ) и смягчающий (ДРОС), неполный рекристаллизационный (НРО), полный рекристаллизационный (ПРО) и текстурирующий (ТРО); в основе этого классификационного деления лежат фазово-структурные превращения, происходящие при нагревах в предварительно холоднодеформированной стали и иных сплавах [1–10]. Упрочнение или смягчение при ДРОУ и ДРОС обусловлено степенью развития стадий возврата (отдыха и полигонизации) при нагреве предварительно холоднодеформированного сплава. В многофазных сплавах в отдельных фазах эти процессы протекают неодинаково по степени развития в зависимости от параметров теплового воздействия и, таким образом, нестандартное изменение свойств при определенном сочетании состава сплава, степени его предшествующей деформации и параметров отжига может быть выделено как самостоятельная разновидность термообработки, а именно неполный дорекристаллизационный отжиг (НДРО).

Целью работы является обоснование разновидности неполного дорекристаллизационного отжига как самостоятельного вида термической обработки на примере получения специфической прочной вязальной проволоки.

3. Результаты исследований

В качестве вязальной проволоки (преимущественно для работы пресс-подборщиков) по ТУ-14-178-320-92 требуется проволока диаметром 3,8 мм с пределом прочности (σ_B) 1270–1520 Н/мм², разрывным усилием с узлом ($P_{узл}$) не менее 9,5 кН и относительным удлинением (δ_{100}) не менее 5 %. Обеспечить такую прочность (σ_B , $P_{узл}$) при этих параметрах можно только холодной пластической деформацией, а пластичность (δ_{100}) — одной из разновидностей до- или рекристаллизационного отжигов. В то же время для промышленного производства такой проволоки, естественно, целесообразно использовать типовое оборудование массового сталепроволочного производства. Следует обратить внимание и на тот факт, что производственная практика свидетельствует о том, что подобная задача решается при использовании углеродистых сталей с содержанием углерода в интервале 0,55–0,75 % (масс.), причем в качестве изделий может быть не только проволока, но и детали ответственного машиностроения.

На первом этапе исследований использовали сталь со средним содержанием 0,6 % углерода, полный химический анализ которой приведен в табл. 1.

Катанку диаметром 6,5 мм из этой стали производства Макеевского металлургического комбината после аустенитизации при 910–930 °С с удельным временем нагрева 35 с/мм сечения выдерживали для патентирования в селитровой ванне при 440–450 °С в течение 100 с, а затем после подготовки поверхности с использованием очистки низкотемпературной плазмой (патент РФ № 91246) волочили на проволоку диаметром 3,8 мм с суммарным обжатием 65,8 %.

Таблица 1

Химический состав стали для прочной вязальной проволоки, % масс.

C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
0,61	0,57	0,26	0,025	0,060	0,041	0,025	0,034

Далее холоднотянутую проволоку подвергали кратковременному отжигу путем форсированного нагрева в течение 50 с до 445 °С, что достигалось использованием

печи с воздушной атмосферой, нагретой до 850 °С для имитации теплового режима производственных печей, используемых на сталепроволочных заводах для термообработки проволочной заготовки.

На втором этапе исследований оценивали возможность вариации химсостава стали для подобной проволоки и использования промышленных патентировочных ванн с расплавами солей. Полный химический состав сталей приведен в табл. 2.

Таблица 2

Химический состав сталей для прочной вязальной проволоки, % масс., для второго этапа исследований

Сталь	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu
A	0,52	0,55	0,27	0,023	0,051	0,035	0,019	0,028
Б	0,62	0,62	0,25	0,024	0,043	0,033	0,022	0,029
В	0,69	0,59	0,28	0,021	0,037	0,040	0,023	0,031

Сталь А (табл. 3) соответствует сталям 45 «селект», 50, 55 «селект», сталь Б — сталям 55 «селект», 60, 65 «селект», сталь В — сталям 65 «селект», 70, 75 «селект».

Таблица 3

Механические свойства заготовки и проволоки первого этапа исследований

Обработка	Диаметр, мм	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	$P_{уэл}$, кН	δ_{100} , %	Расчетная длина для определения δ
Патентирование	6,5	1025	—	10,5	5d (d — диаметр катанки, мм)
Волочение ДРО в воздушной среде с форсированным нагревом	3,8	1480	10,5	3,3	100 мм
	3,8	1345	10,2	6,0	100 мм

После волочения проволоки диаметром 3,8 мм по такой же технологии, как и на первом этапе исследований, ее кратковременно отжигали в расплаве легкоплавких металлов при температуре 400–420 °С; удельное время нагрева составляло 12–15 с/мм сечения.

Результаты определения механических свойств катанки, холоднотянутой и отожженной проволоки на первом этапе приведены в табл. 3.

Как видно из табл. 3, такие свойства катанки диаметром 6,5 мм исследуемого химсостава могут быть получены только при сорбитной структуре, что подтверждает высокое качество патентированной катанки.

При последующем холодном волочении на проволоке диаметром 3,8 мм достигаются требуемые прочностные свойства ($\sigma_{в}$, $P_{уэл}$), однако относительное удлинение (пластичность) получается при этом заметно ниже требуемых значений.

Последующий отжиг в воздушной среде с форсированным нагревом при незначительном снижении прочности (не более чем на 5–10 %) приводит к существенному повышению пластичности, так что по всем свойствам проволока удовлетворяет предъявляемым требованиям. Такой характер изменения свойств может быть связан с неполным протеканием процессов, свойственных до-

рекристаллизационному отжигу, когда процессы возврата и полигонизации в деформированных ферритных прослойках сорбитной структуры опережают такие же процессы в деформированных цементитных прослойках.

Результаты определения механических свойств холоднотянутой и отожженной проволоки на втором этапе приведены в табл. 4.

Таблица 4

Механические свойства проволоки второго этапа исследований

Сталь	Волоченная заготовка			Заготовка после НДРО		
	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	δ_{100} , %	$P_{уэл}$, кН	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	δ_{100} , %	$P_{уэл}$, кН
A	1420	2,5	9,6	1350	8,0	9,5
Б	1490	2,3	10,2	1470	7,5	10,3
В	1510	2,1	10,5	1475	6,5	10,4

Как видно из табл. 4, необходимая прочность достигается волочением для всех изученных сталей, однако пластичность, хотя и несколько повышается со снижением содержания углерода (от стали В к стали А), остается значительно ниже требуемой. Последующий кратковременный отжиг при 400–420 °С для всех сталей обеспечивает требуемые свойства, хотя для стали А разрывное усилие с узлом является минимальным. Обращает внимание существенное возрастание пластичности (относительное удлинение возрастает в 3–3,5 раза) при снижении прочности на 3–5 %. Видно также, что по комплексу свойств предпочтительна сталь Б и поэтому она и является базовой для производства подобной проволоки.

Сравнительно небольшое повышение температуры отжига (до 470–480 °С) приводит к заметному снижению прочности (табл. 5), что, вероятно, связано с начальными стадиями разупрочнения цементитных пластин и их деления вдоль субграниц, сформированных при пластической деформации. Тем не менее, при этом режиме отжига еще достигаются требуемые свойства, хотя и с минимальным запасом прочности (по $\sigma_{в}$, $P_{уэл}$).

Динамику изменения свойств прочной вязальной проволоки можно видеть на рис. 1, характеризующем стратегию подхода к назначению технологии производства подобной проволоки. Завершающий отжиг, формирующий тонкую структуру, ответственную за совокупный комплекс механических свойств, может быть классифицирован как неполный дорекристаллизационный, дополняющий классическое деление разновидностей отжига предварительно холоднотемпературной стали [1].

Таблица 5

Механические свойства проволоки из стали Б в зависимости от температуры отжига

Температура НДРО, °С	Волоченная заготовка			Проволока после НДРО		
	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	δ_{100} , %	$P_{уэл}$, кН	$\sigma_{в}$, Н/мм ²	δ_{100} , %	$P_{уэл}$, кН
400 — 420	1490	2,3	10,2	1470	7,5	10,3
470 — 480	1480	2,5	10,0	1300	8,0	9,8

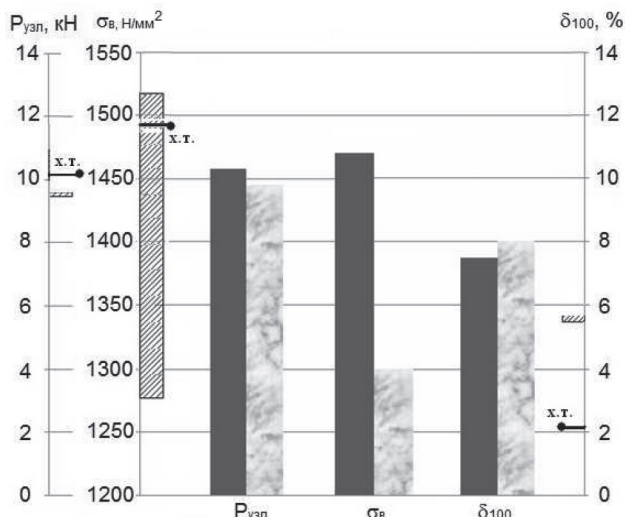


Рис. 1. Свойства прочной вязальной проволоки диаметром 3,8 мм из стали В: ■ — отжиг при 400—420 °С; ▨ — отжиг при 470—480 °С; □ — х. т. — холоднотянутое состояние; ▨ — требования технических условий

4. Выводы

1. Установлены параметры деформационно-термической обработки проволоки из стали с базовым содержанием 0,6 % углерода, обеспечивающие уровень механических свойств прочной вязальной проволоки, укладываемой в требования: $\sigma_v = 1270\text{--}1520$ Н/мм², P_{uzl} не менее 9,5 кН, δ_{100} не менее 5 %.

2. Целесообразно и обосновано отжиг холоднодеформированной стальной проволоки, обеспечивающий незначительное снижение прочности (до 5–10 %) при существенном повышении пластичности (в 2–3 раза), классифицировать как неполный дорекристаллизационный с введением этого понятия, базирующегося на сущности фазово-структурных превращений, в теорию и технологию термической обработки.

Литература

- Новиков, И. И. Теория термической обработки [Текст] / И. И. Новиков. — М.: Металлургия, 1986. — 479 с.
- Горелик, С. С. Рекристаллизация металлов и сплавов [Текст] / С. С. Горелик. — М.: Металлургия, 1978. — 568 с.
- Nijhof, G. H. Einformung von Zementit in kaltverformtem Stahl mit lamellarem Perlit — Mechanismus und Kinetik [Text] / G. H. Nijhof // HTM Härtereitechn. Mitt. — 1981. — Vol. 5(36). — P. 242–247.
- Qin, R. S. Electropulse-induced cementite nanoparticle formation in deformed pearlitic steels [Text] / R. S. Qin, E. I. Samuel, A. Bhowmik // J Mater Sci. — 2011. — № 46. — P. 2838–2842.
- Алимов, В. И. Фазовые и структурные превращения при деформационно-термической обработке стальной проволоки [Текст] / В. И. Алимов, О. В. Пушкина. — Донецк: Донбасс, 2012. — 242 с.
- Олейникова (Пушкина), О. В. О рекристаллизации холоднодеформированной стали эвтектоидного состава при субкритических отжигах [Текст] : сб. научн. тр. / О. В. Олейникова (Пушкина), И. В. Пономарева // XII Международная научно-техническая Уральская школа-семинар. — Екатеринбург: УрФУ, 2011. — С. 8–10.
- Алимов, В. И. К вопросу повышения технологической пластичности холоднодеформируемой стали перекристал-

лизационным отжигом [Текст] : сб. науч. пр. / В. И. Алимов, О. В. Олейникова (Пушкина) // Ресурсозберігаючі технології виробництва та обробки тиском матеріалів у машинобудуванні. — Луганськ, 2011. — С. 66–71.

- Максаков, А. И. Плазма в процессах производства проволоки [Текст] / А. И. Максаков, В. И. Алимов, Б. П. Алымов и др. // Металл и литье Украины. — 2001. — № 7–9. — С. 61–64.
- Патент на кор. модель Укр. № 64068, МПК С21Д1/26 (2006.01). Спосіб термообробки дрібнорозмерного інструменту з холоднодеформованного дроту / Алімов В. І., Максаков А. І., Олейнікова (Пушкина) О. В. — № u201104677; заявл. 15.04.2011; опубл. 25.10.2011, бюл. № 20.
- Патент на кор. модель Укр. № 69766, МПК С21Д1/26 (2006.01). Спосіб термообробки сталевго холоднодеформованого дроту / Алімов В. І., Олейнікова О. В., Алімова С. В. і др. — № u201113101; заявл. 07.11.2011; опубл. 26.03.2012, бюл. № 6.

ВЛАСТИВОСТІ МІЦНОГО В'ЯЗАЛЬНОГО ДРОТУ ПІСЛЯ ДОРЕКРИСТАЛІЗАЦІЙНОГО ВІДПАЛУ

Встановлено параметри деформаційно-термічної обробки сталевго дроту, що містить 0,6 % вуглецю, що забезпечують межу міцності 1270–1520 Н/мм², розривне зусилля з вузлом більше 9,5 кН і відносне подовження більше 5 %. Обґрунтовано різновид термічної обробки холоднодеформованої сталі, що забезпечує підвищення пластичності в кілька разів при незначній втраті міцності, який класифікується як неповний дорекристалізаційний відпал.

Ключові слова: деформаційно-термічна обробка, холоднодеформована сталь, неповний дорекристалізаційний відпал.

Алимов Валерий Иванович, доктор технических наук, профессор, кафедра физического материаловедения, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина, e-mail: alim41@mail.ru.

Пушкина Оксана Викторовна, аспирант, инженер 1 кат., кафедра физического материаловедения, ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет», Украина, e-mail: ksanaol@mail.ru.

Алимов Валерий Иванович, доктор технічних наук, професор, кафедра фізичного матеріалознавства, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна.

Пушкина Оксана Вікторівна, аспірант, інженер 1 кат., кафедра фізичного матеріалознавства, ДВНЗ «Донецький національний технічний університет», Україна.

Alimov Valerii, Donetsk National Technical University, Ukraine, e-mail: alim41@mail.ru.

Pushkina Oksana, Donetsk National Technical University, Ukraine, e-mail: ksanaol@mail.ru