



УДК 669.74

Поступила 03.10.2016

СТРУКТУРНЫЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ СНИЖЕНИЯ РАЗУПРОЧНЕНИЯ ПРОВОЛОКИ ПРИ СВИВКЕ ВЫСОКОПРОЧНОГО МЕТАЛЛОКОРДА

STRUCTURAL AND TECHNOLOGICAL ASPECTS OF DECREASE IN WIRE ANNEALING AT A TWIST OF A HIGH-STRENGTH METAL CORD

В. П. ФЕТИСОВ, г. Орел, Российская Федерация, ул. Советская, 15. E-mail: olga1560@yandex.ru

V. P. FETISOV, Orel city, Russia, 15, Sovetskaya str. E-mail: olga1560@yandex.ru

Деформация волочением с повышенной долей сжимающих напряжений и применение дополнительной деформации с малыми степенями в линии волочильного стана позволяют минимизировать разупрочнение холоднодеформированной проволоки при свивке высокопрочного металлокорда.

Deformation by drawing with the raised share of the squeezing tension and application of additional deformation with small degrees in the line of a drawing camp allow to minimize a wire annealing of a cold-deformed wire during a twist of a high-strength metal cord.

Ключевые слова. *Сверхбольшие суммарные обжатия, уменьшение распада цементита при пластической деформации, неравновесное структурное состояние, дополнительная деформация с малыми степенями, повышение доли сжимающих напряжений при волочении.*

Keywords. *Superbig total draftings, reduction of disintegration of a cement carbide at plastic deformation, a nonequilibrium structural state, additional deformation with small degrees, increase in a share of the squeezing tension during drawing.*

При свивке металлокорда на высокопроизводительных машинах двойного кручения формирование упругопластического состояния витого изделия происходит в два этапа. На первом этапе проволока при свивке испытывает совокупность многократных упругопластических деформаций кручения, знакопеременного изгиба и растяжения, на втором этапе при намотке на тарные катушки металлокорд подвергается дополнительному воздействию растягивающих и изгибающих напряжений [1]. При этом указанные факторы нагружения вызывают разупрочнение высокопрочной проволоки [2], в результате повышается обрывность в процессе свивки [3] и снижаются служебные характеристики металлокорда. Поэтому актуальными являются исследования физической природы разупрочнения холоднодеформированной проволоки при ее дополнительной деформации с малыми степенями и обеспечения при волочении высокопрочного состояния, устойчивого к изменению свойств в процессе свивки металлокорда.

Пластическая деформация цементита в высокоуглеродистой стали в области сверхбольших (>90–95%) суммарных обжатий сопровождается распадом карбидной фазы, потерей пластинчатого строения перлита и повышением концентрации атомов углерода в ферритной матрице. Образовавшаяся в участках холоднодеформированной стали с нарушенным пластинчатым строением перлита субструктура со смешанными дислокационно-карбидными границами и с повышенной плотностью дислокаций внутри ячеек в феррите [4] характеризуется высокой метастабильностью вследствие неравномерного распределения дислокаций, а рост концентрации углерода в феррите обеспечивает дополнительную блокировку дислокаций по механизму деформационного старения. Результатом указанных структурных преобразований и снижения подвижности дислокаций является резкое снижение числа переменных скручиваний (m_n) и возрастание укорочения проволоки при деформации кручением ($-\Delta l$), которые надежно контролируют общее неравновесное структурное состояние холоднодеформированной стали, степень блокировки дислокаций атомами углерода и неравномерность свойств по сечению проволоки [5–7].

Одним из основных направлений получения равновесного структурного состояния высокопрочной проволоки является минимизация распада цементита при пластической деформации, которую можно осуществить путем [6–7]:

- увеличения прочности патентованной заготовки, в том числе за счет повышения содержания углерода в стали, и уменьшения суммарного обжата при волочении до уровня, обеспечивающего сохранение пластинчатого строения перлита в холоднодеформированной стали;
- устранения в структуре патентованной заготовки участков верхнего бейнита;
- повышения дисперсности перлита в патентованной заготовке и обеспечения при волочении прироста прочности в основном за счет субструктурного упрочнения при уменьшении межпластиночного расстояния в перлите;
- устранения в структуре патентованной заготовки колоний перлита с аномальной толщиной карбидной фазы за счет снижения ликвации углерода, марганца и серы в стали;
- чередования на последних переходах в маршруте волочения нормальных (не более 15,75%) и пониженных единичных обжатов: 5–7% на промежуточных переходах и 3–5% и менее на чистовом переходе (евразийский патент № 002443).

Проверка разработанной технологии волочения выполнена при деформации патентованной и латунированной заготовки диаметром 1,48 мм из особочистой стали 85 по следующему маршруту волочения [7]:

1,49 → 1,394 → 1,286 → 1,182 → 1,086 → 1,00 → 0,919 → 0,845 → 0,777 → 0,714 → 0,657 → 0,605 → 0,557 → 0,512 → 0,471 → 0,433 → 0,398 → 0,366 → 0,337 → 0,310 → 0,285 → 0,262 → 0,242 → 0,223/0,217 → 0,201/0,196 → 0,181/0,178 мм.

При этом дополнительная деформация волочением составила 5,2% после 23-го перехода, 4,95% после 24-го перехода и 3,3% после чистового перехода. Полученные свойства ультравысокопрочной латунированной проволоки диаметром 0,18 мм (числитель) по сравнению с традиционным способом волочения (знаменатель) характеризовались следующими значениями: временное сопротивление разрыву $\sigma_b = 4083/4095$ Н/мм², относительное удлинение на базе 200 мм $\delta = 1,2/0,75\%$, $m_n = 88/14$. Рост переменных скручиваний в 6,3 раза свидетельствует о существенной стабилизации высокопрочного состояния холоднодеформированной проволоки.

Другой способ повышения равновесности структурного состояния высокопрочной проволоки – применение дополнительной деформации с малыми степенями готовой проволоки в линии волочильного стана, обеспечивающей [5–7] разблокировку дислокаций от атомов углерода и частичную аннигиляцию дислокаций; наведение в дополнительных плоскостях скольжения новых незакрепленных дислокаций; перераспределение прочности по сечению проволоки.

Результатом применения дополнительной деформации является стабилизация прочностных свойств с небольшим разупрочнением, возрастание m_n и снижение $-\Delta l$.

В работе [6] на примере канатной проволоки диаметром 2,2 мм при свивке на машине одинарного кручения экскаваторных канатов конструкции $6 \times 36(1 + 7 + 7/7 + 14) + 7 \times 7(1 + 6)$ и латунированной проволоки диаметром 0,34 мм при свивке на машине двойного кручения металлокорда конструкции $3 \times 0,365/9 \times 0,34 + 0,15$ НТ СС показано, что проволока после дополнительной деформации в линии волочильного стана (знакопеременным изгибом с растяжением в многороликовом правильном устройстве в первом случае и волочением с обжатием 2,0% – во втором случае) становится более устойчивой к изменению свойств в процессе последующей свивки. Так, временное сопротивление разрыву латунированной проволоки после ее дополнительной деформации волочением и после свивки практически не отличается от прочности проволоки без применения дополнительной деформации (3028 Н/мм² против 3057 Н/мм²), а пластические характеристики возрастают на 9,0% для числа скручиваний и на 25% для относительного удлинения.

Для реализации указанного подхода стабилизации свойств холоднодеформированной стали заслуживает внимания применение в линии волочильного стана дополнительного упругого деформирования (ДУД) латунированной проволоки для металлокорда в двухроликовых калибрах и волоке (табл. 1), а также при волочении с повышенной долей сжимающих напряжений в схеме деформации за счет волок без цилиндрической части (табл. 2). Причем для волок без цилиндрической части может быть использовано нормальное единичное обжатие и не требуется увеличения кратности волочильного стана. Данные, приведенные в таблицах, свидетельствуют [7], что для ДУД проволоки в двухроликовых калибрах число

переменных скручиваний возрастает на 11% при уменьшении временного сопротивления разрыву на 1,7%, а снижение доли растягивающих напряжений в схеме деформации волочением сопровождается ростом относительного удлинения проволоки на 9,0% при ее разупрочнении всего на 0,3%. При этом показатель $Y\sigma_B$, контролирующий усталостную долговечность холоднодеформированной проволоки [5], возрастает в 2,1 раза.

Т а б л и ц а 1. Влияние ДУД (знаменатель) на свойства латунированной проволоки из высокочистой стали 80, предварительно деформированной волочением (числитель)

Параметры	ДУД в волоке	ДУД в двухроликовых калибрах
Диаметр проволоки, мм	0,34	0,30
Суммарная степень предварительной деформации, ln μ	3,40	3,56
σ_B , Н/мм ²	<u>3235</u> 3151	<u>3174</u> 3121
$Y\sigma_B = (\sigma_B - \sigma_{02}) / \sigma_{02}$	<u>0,84</u> 1,05	–
Число скручиваний	<u>110</u> 120	–
Число переменных скручиваний	–	<u>75</u> 83
Усталостная долговечность при изгибающем напряжении 1300 Н/мм ² , циклы	<u>20550</u> 25500	–

Т а б л и ц а 2. Влияние вида волочильного инструмента (числитель – типовая волока, знаменатель – волока без цилиндрической части) на свойства латунированной проволоки из стали 80

Свойства патентированной заготовки		Свойства проволоки после предчистового перехода		Свойства проволоки диаметром 0,30 мм после чистового перехода		
диаметр, мм	σ_B , Н/мм ²	диаметр, мм	σ_B , Н/мм ²	σ_B , Н/мм ²	$Y\sigma_B = (\sigma_B - \sigma_{02}) / \sigma_{02}$	δ , %
1,7	1263	0,319	2888	<u>2991</u> 2982	<u>0,056</u> 0,12	<u>1,74</u> 1,90

Таким образом, показана принципиальная возможность формирования при волочении со сверхбольшими суммарными обжатиями высокопрочного состояния, устойчивого к изменению свойств холоднодеформированной проволоки в процессе свивки металлокорда.

Литература

1. Фетисов В. П., Бирюков Б. А. Влияние технологии свивки методом двойного кручения на формирование остаточных кручений и прямолинейности металлокорда // Литье и металлургия. 2012. № 4. С. 45–47.
2. Фетисов В. П. Природа изменения свойств холоднодеформированной проволоки в процессе свивки высокопрочного металлокорда // Металлургия и литейное производство. 1997. № 1. С. 8–10.
3. Бирюков Б. А., Феоктистов Ю. В., Веденеев А. В. Снижение обрывности высокопрочной проволоки при свивке из нее металлокорда на машинах двойного кручения // Литье и металлургия. 2012. № 4. С. 29–34.
4. Кардонский В. М., Курдюмов Г. В., Перкас М. Д. Тонкая структура холоднодеформированной высокоуглеродистой стали // ФММ. 1963. Т. 15. Вып. 2. С. 244–253.
5. Фетисов В. П. Деформационное старение стали при волочении проволоки. Минск: Белорганкипромиздат, 1996. 120 с.
6. Фетисов В. П. Деформационное упрочнение углеродистой стали. М.: Мир, 2005. 200 с.
7. Фетисов В. П. Пластичность высокопрочной проволоки. М.: Интермет Инжиниринг, 2011. 128 с.

References

1. Fetisov V. P., Birjukov B. A. Vlijanie tehnologii svivki metodom dvojnogo kruchenija na formirovanie ostatocnyh kruchenij i prjamolinejnosti metallokorda [Influence of technology lay in a double torsion on the formation of residual torsion and straightness of steel cord]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and Metallurgy*, 2012, no. 4, pp. 45–47.
2. Fetisov V. P. Priroda izmenenija svojstv holodnodeformirovannoj provoloki v processe svivki vysokoprochnogo metallokorda [The nature of changes in the properties of cold-wire in the process of high-strength steel cord stranding]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and Metallurgy*, 1997, no. 1, pp. 8–10.
3. Birjukov B. A., Feoktistov Ju. V., Vedeneev A. V. Snizhenie obryvnosti vysokoprochnoj provoloki pri svivke iz nee metallokorda na mashinah dvojnogo kruchenija [Reducing the high wire breakage during coiling of steel cord on her double twisting machines]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and Metallurgy*, 2012, no. 4, pp. 29–34.

4. Kardonskij V. M., Kurdjumov G. V., Perkas M. D. Tonkaja struktura holodnodeformirovannoj vysokouglerodistoj stali [The fine structure of cold high-carbon steel]. *FMM*, 1963. Т. 15. Вып. 2, pp. 244–253.
5. Fetisov V. P. *Deformacionnoe starenie stali pri volochenii provoloki* [Strain aging steel with wire drawing]. Minsk, Belorgstankinpromizdat Publ., 1996, 120 p.
6. Fetisov V. P. *Deformacionnoe uprochnenie uglerodistoj stali* [Strain hardening of carbon steel]. Moscow, Mir Publ, 2005, 200 p.
7. Fetisov V. P. *Plastichnost' vysokoprochnoj provoloki* [The ductility of high strength wire] Moscow, Internet Inzhiniring Publ., 2011, 128 p.

Письмо Ассоциации литейщиков Польши и выставки в г. Познани в адрес Ассоциации литейщиков и металлургов РБ от 21.10.2016 г.

Сообщаем, что в связи с проведением 73-го Мирового Конгресса литейщиков в г. Кракове 23–27 сентября 2018 года организационный комитет Конгресса принял решение провести выставку «Творческое литье». Эта выставка будет важным элементом Конгресса.

Со-координатором выставки является Познаньская международная ярмарка. Цель выставки – ознакомить участников и гостей Конгресса с последними достижениями в современной науке, технологиях и производстве литья («высококласное литье» сегодняшнего и завтрашнего дня, которое существует только на самых современных и инновационных производствах).

Сроки выставки: с 23 по 26 сентября 2018 г.

Выставка делится на четыре раздела:

1. Исследования ведущих НИИ, теоретические и прикладные предложения.
2. Производство инновационных и уникальных литейных изделий с улучшенными характеристиками. Новые технологические решения.
3. Производство новых инновационных материалов для литейной промышленности.
4. Производство машин и оборудования высшего технического уровня для литья.

Официальный язык выставки – английский, но, учитывая посетителей из разных стран, организаторы считают возможным презентации на других языках – китайском, японском, русском и др.

Уважаемые коллеги, просим Вас распространить информацию о выставке «Творческое литье» среди фирм, НИИ и других учреждений литейной промышленности и принять участие в выставке. Мы будем рады получить от Вас список участников по эл. почте info@73wfc.com или по адресу: Польская ассоциация литейщиков – Polish Foundrymen's Association – STOR, 73 Zakopianska Street, 30–418 Krakov, Poland.

*Президент Ассоциации литейщиков Польши,
Председатель оргкомитета 73 Всемирного Конгресса литейщиков,
Председатель выставки «Творческое литье»,
Председатель Познаньской Международной ярмарки*