



УДК 621.778.073

ОПЫТ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ТОНКОЙ ЛАТУНИРОВАННОЙ СТАЛЬНОЙ ПРОВОЛОКИ С УРОВНЕМ ПРОЧНОСТИ БОЛЕЕ 3800 Н/ММ²

*О.Ю. ХОДОСОВСКАЯ, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: gsp.icm@bmz.gomel.by
Ю.Л. БОБАРИКИН, Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого» г. Гомель, Беларусь. E-mail: bobarikin@tut.by*

На мировом рынке одной из актуальных тенденций является использование в шинах металлокорда с более высокой прочностью и меньшей массой. Достижение высокого уровня прочности тонкой проволоки с достаточной пластичностью не представляется возможным без использования катанки с высоким содержанием углерода и легирующих элементов. В статье описан опыт изготовления тонкой латунированной стальной проволоки диаметром 0,30 мм с уровнем прочности более 3800 Н/мм² в условиях предприятия. Опробовано изготовление тонкой латунированной стальной проволоки диаметром 0,30 мм из стали марок 90К, микролегированной хромом; 90К, микролегированной хромом и кремнием. Использование катанки из стали марки 90К с микролегированием не позволило обеспечить изготовление тонкой латунированной проволоки диаметром 0,30 мм с сохранением необходимых для свивки металлокорда пластических свойств. Отмечается существенное влияние деформационного старения при волочении проволоки на формирование ее прочностных и пластических свойств. Дальнейшая работа будет направлена на оптимизацию режимов и условий тонкого волочения.

Ключевые слова. Технология, волочение, микролегирование, тонкая проволока, прочность, пластичность.

EXPERIENCE IN THE PRODUCTION OF FINE BRASS-PLATED STEEL WIRE WITH A STRENGTH LEVEL ABOVE 3800 N/MM²

*O. Yu. KHODOSOVSKAYA, OJSC “BSW – Management Company of Holding “BMC”, Zhlobin, Gomel Region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: gsp.icm@bmz.gomel.by
Yu. L. BOBARIKIN, P. O. Sukhoi State Technical University of Gomel, Gomel, Belarus. E-mail: bobarikin@tut.by*

One of the current global trends in the tire industry is the use of higher-strength, lower-weight steel cord. Achieving a high level of strength in fine wire while maintaining sufficient ductility is not possible without using wire rod with high carbon and alloying element content. This article presents the experience of producing fine brass-plated steel wire with a diameter of 0.30 mm and a strength level above 3800 N/mm² under industrial conditions. The production trials involved 0.30 mm fine brass-plated steel wire made from two steel grades: 90K microalloyed with chromium, and 90K microalloyed with both chromium and silicon. The use of 90K steel wire rod microalloyed with chromium did not make it possible to produce fine brass-plated wire with a diameter of 0.30 mm that retained the ductility required for cord twisting. A significant influence of strain aging during wire drawing on the formation of strength and ductility characteristics was observed. Future work will focus on optimizing the modes and conditions of fine wire drawing.

Keywords. Technology, drawing, microalloying, fine wire, strength, ductility.

Тонкая латунированная стальная проволока используется для изготовления металлокорда, занимающего лидирующее положение среди армирующих материалов для брекера радиальных шин [1]. Наряду с ростом мирового производства и потребления металлокорда повышаются требования потребителей к уровню его прочности, возрастающего от 2800 Н/мм² для нормальной прочности (класс прочности NT) до 4500 Н/мм² для мегавысокой прочности (класс прочности MT). С увеличением уровня прочности металлокорда такие показатели, как модуль упругости, усталостная и статическая прочность, растут, что позволяет снизить резиносодержание, металлоемкость шины и ее массу в целом, увеличить ходимость шин, снизить расход топлива.

Проведенные ранее исследования и данные литературных источников [2–10] позволили определить основные пути повышения прочности тонкой латунированной проволоки и изготавливаемого из нее металлокорда, а также проблемы, препятствующие достижению поставленной цели.

Основные направления получения проволоки класса прочности МТ:

- повышение прочности исходной проволоки-заготовки для тонкого волочения (в том числе увеличение углеродного эквивалента в исходной катанке; применение микролегирования; повышение чистоты стали);
- увеличение суммарной деформации.

Среди факторов, сдерживающих повышение прочности тонкой проволоки и металлокорда, можно выделить:

- проблематичность обеспечения повышенной чистоты стали, полученной электродуговой плавкой с шихтой преимущественно из металломолома;
- возрастание уровня ликваций ввиду увеличения углеродного эквивалента в исходной катанке, что, в свою очередь, может стать причиной появления структурно-свободного цементита в процессе патентирования;
- снижение производительности по причине замедления процесса патентирования в связи с применением микролегирования переходными металлами;
- снижение прочности проволоки в результате взаимной диффузии меди и цинка при нагреве проволоки после нанесения медного и цинкового покрытия с целью получения сплава – латуни в термодиффузационной установке;
- увеличение упругости материала, что может отрицательно сказаться на прямолинейности и нераскручиваемости металлокорда;
- рост обрывности в процессе свивки в связи с увеличением суммарной деформации, необходимой для получения уравновешенного высокопрочного металлокорда;
- снижение скоростей волочения стальной латунированной проволоки и свивки металлокорда, что также окажет отрицательное влияние на производительность процесса;
- возрастание динамического деформационного старения, приводящего к потере пластичности поверхностных слоев проволоки.

Деформационное старение служит источником снижения пластических характеристик проволоки, неравномерности распределения ее механических свойств по толщине проволоки и является сдерживающим фактором повышения производительности волочильного оборудования. Природа деформационного старения связана с блокировкой дислокаций растворенными атомами (C, N, O), препятствующими их движению, что приводит к повышению предела текучести. Деформационное старение проволоки развивается при деформации в волоках (динамическое старение), а также в процессе хранения металла (статическое старение) [11]. Основываясь на данных работ [11,12], установлено, что число простых скручиваний до разрушения расслаивающейся и нерасслаивающейся проволоки может не отличаться, но при реверсивных скручиваниях расслаивающийся образец разрушается практически сразу после начала пластической деформации обратного знака [13]. Кроме того, обрывность при свивке металлокорда может быть связана с критическим уровнем обжатий при тонком волочении.

Ряд мировых производителей приступил к разработке шин с использованием металлокорда, изготовленного из стальной латунированной проволоки прочностью 4100 МПа, а в некоторых случаях – до 4800 МПа [14]. Поскольку практически все разработки в данном направлении можно отнести к секретам производства («ноу-хау»), приходится искать пути достижения повышения прочности выпускаемого металлокорда исходя из возможностей имеющегося в распоряжении оборудования.

Цель настоящей работы – определение возможности изготовления тонкой латунированной проволоки с уровнем прочности более 3800 Н/мм² при сохранении необходимых для свивки металлокорда пластических свойств.

Экспериментальная часть

Для изготовления образцов тонкой латунированной проволоки диаметром 0,30 мм использовали катанку из стали следующих марок: 90К с микролегированием хромом; 90К с микролегированием хромом и кремнием.

Процесс изготовления образцов проволоки заключался в производстве холоднотянутой заготовки с последующим проведением патентирования-латунирования и дальнейшем волочении проволоки.

На первом этапе работы использовали катанку из стали марки 90К с микролегированием хромом. Согласно результатам лабораторных исследований, катанка диаметром 5,5 мм, используемая для изготовления образцов тонкой проволоки, соответствовала всем установленным требованиям технической

документации, в том числе по параметрам: балл подусадочной ликвации – 2 (не более 2); размер неметаллических включений – 18 мкм (не более 25 мкм); отсутствие структурно-свободного цементита.

В табл. 1 приведены результаты лабораторных испытаний тонкой латунированной проволоки диаметром 0,30 мм.

Таблица 1

Марка стали	Диаметр, мм	Разрывное усилие, Н	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Отношение предела текучести к пределу прочности, %	Реверсивные скручивания, кол.
90K+Cr	0,301–0,303	278–279	3854–3872	2,78–2,84	91–92	64–71
Требования	0,300±0,005	–	3800±100	–	–	–

Полученные результаты показали, что значения физико-механических параметров соответствовали установленным требованиям.

При подборе оптимальных условий свивки изготовленной проволоки были изменены параметры настройки канатной машины и увеличен шаг свивки. В процессе свивки образца металлокорда конструкции 2×0,30 были зафиксированы полные обрывы по причине «расслоение». Установлено, что расслоению способствуют высокий уровень остаточных напряжений, связанных с неоднородностью деформации по сечению, а также деформационное старение [12].

На следующем этапе работы для снижения диаметра заготовки, уменьшения уровня обжатий и предотвращения получения брака при свивке использовали катанку из стали марки 90K, микролегированную хромом и кремнием. Результаты лабораторных исследований катанки показали соответствие установленным требованиям, в том числе по параметрам: балл подусадочной ликвации – 2 (не более 2); размер неметаллических включений – 8 мкм (не более 25 мкм); плотность включений в зоне С – 76 вкл./см² (не более 300 вкл./см²); отсутствие структурно-свободного цементита;

В табл. 2 приведены результаты лабораторных испытаний тонкой латунированной проволоки диаметром 0,30 мм.

Таблица 2

Марка стали	Диаметр, мм	Разрывное усилие, Н	Временное сопротивление разрыву, Н/мм ²	Относительное удлинение, %	Отношение предела текучести к пределу прочности, %	Реверсивные скручивания, кол.
90K+Cr+Si	0,300–0,301	270–272	3793–3819	2,66–2,80	92	6–18
Требования	0,300±0,005	–	3800 ± 100	–	–	–

Полученные результаты показали соответствие физико-механических параметров изготовленной проволоки установленным требованиям, однако необходимо отметить, что низкий уровень реверсивных скручиваний свидетельствует о малом запасе пластических свойств. Наработанная тонкая проволока была передана для изготовления образца металлокорда конструкции 2×0,30. В процессе свивки образца металлокорда были зафиксированы полные обрывы по причине «расслоение». Результаты лабораторных испытаний образца металлокорда конструкции 2×0,30 приведены в табл. 3.

Таблица 3

Марка стали	Диаметр, мм	Разрывное усилие, Н	Линейная плотность, г/м	Эластичность	Шаг свивки
90K+Cr+Si	0,60	515	1,10	100	14,2
Требования	0,57–0,63	Мин. 510	1,06–1,18	–	13,3–14,7

Исходя из результатов испытаний образца металлокорда, физико-механические параметры соответствовали установленным требованиям, но для параметра «разрывное усилие» были зафиксированы значения, близкие к нижнему пределу.

Анализ полученных результатов показал, что использование стали марки 90K с микролегированием хромом и кремнием не позволило обеспечить изготовление тонкой латунированной проволоки диаметром 0,30 мм с необходимым запасом пластических свойств для свивки металлокорда. На пластичность

проводки влияют те же факторы, что и на расслоение – деформационное старение [12], остаточные макро- и микронапряжения. Снизить интенсивность деформационного старения можно за счет уменьшения суммарного обжатия при волочении, т.е. добиться повышения прочности заготовки за счет использования стали с большим содержанием углерода. Однако необходимо учитывать, что увеличение углеродного эквивалента в исходной катанке способствует возрастанию уровня ликваций и, как следствие, может стать причиной появления структурно-свободного цементита.

Выводы

В ходе проведенной работы опробовано изготовление тонкой латунированной стальной проволоки диаметром 0,30 мм из стали марки 90К, микролегированной хромом, и стали марки 90К, микролегированной хромом и кремнием. Использование микролегированной стали марки 90К не позволило обеспечить изготовление тонкой латунированной проволоки диаметром 0,30 мм с необходимым для свивки металлокорда запасом пластических свойств. Отмечается существенное влияние деформационного старения при волочении на формирование ее прочностных и пластических свойств. Дальнейшая работа будет направлена на оптимизацию режимов и условий тонкого волочения.

ЛИТЕРАТУРА

- Бобарикин, Ю.Л.** Перспективные направления совершенствования метизного производства в Республике Беларусь. Стратегия и тактика развития производственно-хозяйственных систем: сб. науч. тр. / Ю. Л. Бобарикин, Ю. В. Мартъянов. – Гомель: ГГТУ им. П. О. Сухого. – 2023. – С. 138–140.
- Takahashi, T.** Development of Ultrahigh-Strength Steel Wire [Разработка ультравысокопрочной стальной проволоки] / T. Takahashi, I. Ochiai, H Satoh // Nippon Steel Technical Report. – 1992. – № 53. – Р. 101–106.
- Повышение прочности и разрывного усилия металлокорда путем изготовления его из высокоуглеродистой стали / Y. Yamada, I. Shimazu, Y. Oki [et al.] // Wire Journal International. – 1986. – Vol. 19. – № 4. – Р. 53–65.
- Гриднев, В. Н.** Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. А. Мешков. – Киев : Наукова думка, 1974. –231 с.
- Изготовление нерасслаивающейся высокопрочной проволоки / С. А. Терских, В. А. Голомазов, В. В. Стукалов [и др.] // ЭИ «Черметинформация». – 1974. – Сер. 9. – Вып. 6. – 15 с.
- Способ изготовления высокопрочной стальной проволоки: пат. 6035 Респ. Беларусь / А. С. Желтков, А. Н. Савенок, В. В. Ежов, В. В. Филиппов. – Опубл. 30.03.2004.
- Способ изготовления высокопрочной стальной проволоки с повышенной пластичностью при скручивании: пат. 6487 Респ. Беларусь / А. С. Желтков, В. В. Филиппов. – Опубл. 30.09.2004.
- Daition, V.** Микроструктура сильнодеформированной высокоуглеродистой проволоки / V. Daition, T. Hamada // Journal of Iron and Steel Institute of Japan. – 2000. – Vol. 86. – № 2. – С. 105–110.
- Игнатенко, О. И.** Эффективность использования сталей, микролегированных хромом, в метизном производстве в условиях РУП «БМЗ» / О. И. Игнатенко, Е. В. Шимановская // Литье и металлургия. – 2008. – № 3 (47). – С. 89–91.
- Бабич, В. К.** Деформационное старение холоднодеформированной проволоки / В. К. Бабич, В. А. Пирогов, В. П. Фетисов // ЭИ «Черметинформация». – 1977. – С. 9.
- Фетисов, В. П.** Структурные аспекты снижения пластичности высокопрочной проволоки при больших суммарных обжатиях / В. П. Фетисов // Литье и металлургия. – 2012. – № 4 (68). – С. 107–109.
- Kazuhiko, K.** Production Technology of Wire Rod for High Tensile Strength Steel Cord//Wire Rod Production Department, Kakogawa Works, Iron & Steel Business Kobelco technology review. – 2011. – № 30.
- Столяров, А. Ю.** Разработка конкурентоспособной технологии производства проволоки высокой прочности для армирования автомобильных шин: автореф. дис.... канд. техн. наук / А. Ю. Столяров. МГТУ им. Г. И. Носова. – Магнитогорск, 2013. – 16 с.
- Веденеев, А. В.** Новые направления в развитии металлокорда / А. В. Веденеев // Литье и металлургия. – 2004. – № 3 (31). – С. 162–165.

REFERENCES

- Bobarikin Ju.L., Mart'janov Ju.V.** Perspektivnye napravlenija sovershenstvovanija metiznogo proizvodstva v Respublike Belarus'. Strategija i taktika razvitiya proizvodstvenno-hozjajstvennyh sistem [Prospective directions of improvement of hardware production in the Republic of Belarus. Strategy and tactics of development of production and economic systems]. Gomel', GGTU im. P.O. Suhogo Publ., 2023, pp. 138–140.
- Takahashi T., Ochiai I., Satoh H.** Development of Ultrahigh-Strength Steel Wire. *Nippon Steel Technical Report*, 1992, no. 53, pp. 101–106.
- Yamada Y., Shimazu S., Oki Y., Mizutani K.** Wire rod for higher breaking strength steel cord. Increasing the strength and breaking force of metal cord by making it from high-carbon steel. *Wire Journal International*, 1986, vol. 19, no. 4, pp. 53–65.
- Gridnev V.N., Gavriljuk V.G., Meshkov Ju.A.** Prochnost'i plastichnost'holodnodelamintirovannoj stali [Strength and ductility of cold-formed steel]. Kiev, Naukova dumka Publ., 1974.
- Tersikh S.A., Golomazov V.A. et al.** Izgotovlenie nerasslaivajushhejsja vysokoprochnoj provoloki [Manufacturing of non-delaminating high-strength wire]. *Chermetinformacija = Chermetinformation*, 1974, ser. 9, vyp. 6, 1974, 15 p.

6. Zheltkov A.S., Savenok A.N., Ezhov V.V., Filippov V.V. *Sposob izgotovlenija vysokoprochnoj stal'noj provoloki* [Method for manufacturing high-strength steel wire]. Patent BY 6035, 30.03.2004.
7. Zheltkov A.S., Filippov V.V. *Sposob izgotovlenija vysokoprochnoj stal'noj provoloki s povyshenoj plastichnost'ju pri skruchivanii* [Method for manufacturing high-strength steel wire with increased ductility during twisting]. Patent BY 6487, 30.09.2004.
8. Daition V., Hamada T. *Mikrostruktura sil'nodeformirovannoj vysokouglerosistoj provoloki* [Microstructure of highly deformed high carbon wire]. *Journal of Iron and Steel Institute of Japan*, 2000, vol. 86, no. 2, pp. 105–110.
9. Ignatenko O.I., Shamanovskaja E.V. *Jeffektivnost' ispol'zovaniya stalej, mikrolegirovannyh hromom, v metiznom proizvodstve v uslovijah RUP «BMZ»* [Efficiency of using steels microalloyed with chromium in hardware production in the conditions of RUE "BMZ"]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2008, no. 3 (47), pp. 89–91.
10. Babich V.K., Pirogov V.A., Fetisov V.P. *Deformacionnoe starenie holodnodeformirovannoj provoloki* [Deformation aging of cold-formed wire]. *Chermetinformacija = Chermetinformation*, 1977, 9 p.
11. Fetisov V.P. *Strukturnye aspekty snizhenija plastichnosti vysokoprochnoj provoloki pri bol'shih summarnyh obzhatijah* [Structural aspects of the reduction of ductility of high-strength wire at large total compressions]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2012, no. 4 (68), pp. 107–109.
12. Kazuhiko K. Production Technology of Wire Rod for High Tensile Strength Steel Cord. *Wire Rod Production Department, Kakogawa Works, Iron & Steel Business Kobelco technology review*, 2011, no. 30.
13. Stoljarov A.Ju. *Razrabotka konkurentospособnoj tehnologii proizvodstva provoloki vysokoj prochnosti dlja armirovaniya avtomobil'nyh shin* [Development of a competitive technology for the production of high-strength wire for reinforcing automobile tires]. avtoref. dis... kand. tehn. nauk [Abstract of Cand. Sci. Diss.]. Magnitogorsk, MGTU im. G.I. Nosova Publ., 2013, 16 p.
14. Vedeneev A.V. *Noyye napravlenija v razvitiu metallokorda* [New directions in the development of metal cord]. *Lit'e i metallurgija = Foundry production and metallurgy*, 2004, no. 3 (31), pp. 162–165.