



УДК 669.  
DOI: 10.21122/1683-6065-2018-92-3-67-70

Поступила 15.08.2018  
Received 15.08.2018

## ОБЗОР МЕТОДОВ ИСПЫТАНИЙ ДЛЯ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ И ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРОВОЛОКИ

М. А. КУХАРЕНКО, В. А. МОХОРЕВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная, 37. E-mail: nml.czl@bmz.gomel.by

*Приведены различные методы определения прочностных и пластических свойств проволоки для оценки качественных характеристик продукции, произведенной в условиях сталепроволочных цехов ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК».*

*Рассмотрены методы определения склонности тонкой проволоки к расслоению путем реверсивных скручиваний («шведские» скручивания) и односторонних скручиваний, фиксирующих изменение длины образца с помощью приставки с индикатором часового типа. Описаны порядок проведения и результаты исследовательских работ по определению влияния величины отношения условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву на пластические свойства проволоки, вида диаграммы растяжения на хрупкость проволоки.*

**Ключевые слова.** Проволока, деформация, растяжение, временное сопротивление, расслоение, усталостная выносливость, предел текучести, относительное удлинение.

**Для цитирования.** Кухаренко М. А. Обзор методов испытаний для определения прочностных и пластических свойств проволоки / М. А. Кухаренко, В. А. Мохорева // Литие и металлургия. 2018. Т. 92. № 3. С. 67–70. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-92-3-67-70.

## OVERVIEW OF TEST METHODS TO DETERMINE STRENGTH AND PLASTIC PROPERTIES OF THE WIRE

М. А. KUKHARENKO, V. A. MOKHOREVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: nml.czl@bmz.gomel.by

*The article presents various methods for determining the strength and plastic properties of the wire to assess the quality characteristics of the products produced in the steel shops of JSC «BMW – the Management Company of the Holding «BMC».*

*The methods of determining the propensity of a thin wire to laminations by reversing the twisting («Swedish» twist) and unilateral twisting, fixing the length change of the sample with a prefix with the dial indicator are considered. The article describes the procedure and results of research to determine the effect of the ratio of the conditional yield strength to the time resistance of the rupture on the plastic properties of the wire, the type of tensile diagram of the wire fragility.*

**Keywords.** Wire, deformation, extension, time resistance, laminations, fatigue resistance, yield limit, elongation.

**For citation.** Kukharenko M. A., Mokhoreva V. A. Overview of test methods to determine strength and plastic properties of the wire. Foundry production and metallurgy, 2018, vol. 92, no. 3, pp. 67–70. DOI: 10.21122/1683-6065-2018-92-3-67-70.

Проволока – это один из основных видов продукции метизного производства ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». На предприятии производится большой ассортимент проволоки диаметром от 0,15 мм и выше, которая является не только проволокой для изготовления металлокорда на ОАО «БМЗ», но и готовой продукцией для многих потребителей.

Высокое качество изделий, изготовленных из проволоки, обеспечивающих надежность и долговечность срока службы различных устройств и механизмов, связано с механическими свойствами проволоки.

В зависимости от условий изготовления проволоки многие характеристики изменяются незначительно, например, изменение плотности не превышает 1–2%, другие же (пределы прочности, текучести и упругости) могут изменяться в несколько раз.

Многочисленное высокоскоростное волочение, сопровождаемое воздействием температуры в очагах деформации, оказывает влияние на прирост прочности и снижение пластичности холоднодеформиро-

ванной проволоки. Широкое промышленное производство проволоки с повышенной прочностью сдерживается снижением пластичности металла, проявляющимся в виде расслоения при испытаниях на скручивание или в росте обрывности при микроволочении и свивке металлокорда.

Постоянно возрастающие требования потребителей метизной продукции способствуют совершенствованию методов оценки качества изготавливаемой продукции.

Большинство используемых методов испытаний разработано в прошлом веке и с течением времени происходит лишь усовершенствование оборудования для их проведения (Вербицкая А. Г., Киринос В. И. Определение механических свойств материалов).

В данной работе рассмотрены основные методы определения механических свойств проволоки.

### **Классификация механических испытаний**

Механические испытания различают по способу нагружения и характеру его изменения во времени.

Используют два способа нагружения образца: путем его деформации с заданной скоростью и изменением сил сопротивления образца этой деформации; подачей постоянной нагрузки на образец с изменением возникающей при этом деформации.

По характеру изменения во времени действующей нагрузки различают механические испытания: статические (на растяжение, сжатие, твердость, изгиб, кручение); динамические (ударная вязкость, твердость); усталостные (при многократном циклическом приложении нагрузки).

*Испытание на перегиб.* Служит для определения способности металла в холодном состоянии выдерживать повторные изгибы. При испытании применяются образцы проволоки диаметром от 0,2 до 7 мм.

Проба на перегиб имеет важное значение для оценки способности к деформации проволоки, так как при испытании на разрыв невозможно определить это свойство.

Сущность метода состоит в многократном перегибе образца на  $90^\circ$  от исходного положения в одну и другую сторону, закрепленного с одного конца в зажимах прибора, через цилиндрический валик заданного радиуса.

*Испытание на выносливость.* Выносливость – это свойство металла сопротивляться усталости. Она возрастает по мере снижения напряжения, которое показывает, какое число переменной нагрузки  $N$  выдержит материал до разрушения. Анализ показывает, что чем меньше напряжение, тем больше число нагружений выдержит металл до разрушения.

Наиболее распространенным испытанием на усталостную выносливость является метод Хантера-Шенка – изгиб с вращением, при котором наружная часть образца подвергается циклическому растяжению – сжатию. Величина максимальных изгибающих напряжений задается путем выбора длины образца и расстояния между захватами\*.

Вторым методом испытаний является определение малоциклового выносливости. Сущность его заключается в определении циклов проволоки, изогнутой через подвижный деформирующий ролик заданного диаметра и скользящей по его поверхности при заданной нагрузке\*\*.

*Испытание на скручивание.* Проводится для оценки способности проволоки к пластической деформации. Характеристикой пластичности является число скручиваний образца до его разрушения или до определенного количества скручиваний. Также при этом испытании выявляются неоднородность металла и наличие поверхностных и частично внутренних его деформаций, о чем судят по виду излома и поверхности скручивания образца. Излом может быть гладкий, перпендикулярный оси образца, ступенчатый, косой, с расслоением, надрывом и т. д. Расслоение при скручивании является характерным видом хрупкого разрушения высокопрочной проволоки в виде винтовой трещины или расщепленного излома, возникающего уже при небольших деформациях кручением.

Определение склонности тонкой проволоки к расслоению построено на основе следующих принципов:

- путем пластической деформации кручением сначала в одну, а затем в другую сторону до разрушения образца («шведские» скручивания), полученное на счетчике значение является числом реверсивных скручиваний;

- путем одностороннего скручивания – у расслаивающейся проволоки при скручивании происходит резкое сокращение длины образца, а у не расслаивающейся проволоки происходит незначительное сокращение до определенного количества скручиваний, а затем наблюдается удлинение образца до разрушения. Данный метод позволяет оценить, насколько близка проволока к переходу в хрупкое состояние,

\* МВИ 840-ЦЗЛ-134. Определение усталостных свойств проволоки или металлокорда при изгибе с вращением.

\*\* МВИ 840-ИЦРВП-528. Проволока стальная латунированная. Методика определения малоциклового выносливости.

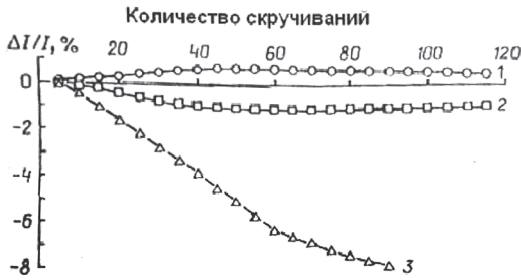


Рис. 1. Диаграммы относительного изменения длины образца при скручивании

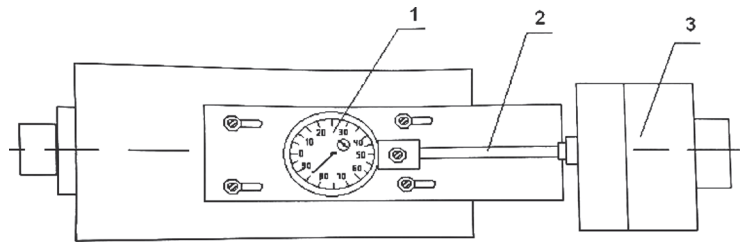


Рис. 2. Приставка с индикатором часового типа: 1 – индикатор; 2 – фиксирующее устройство; 3 – неподвижный захват

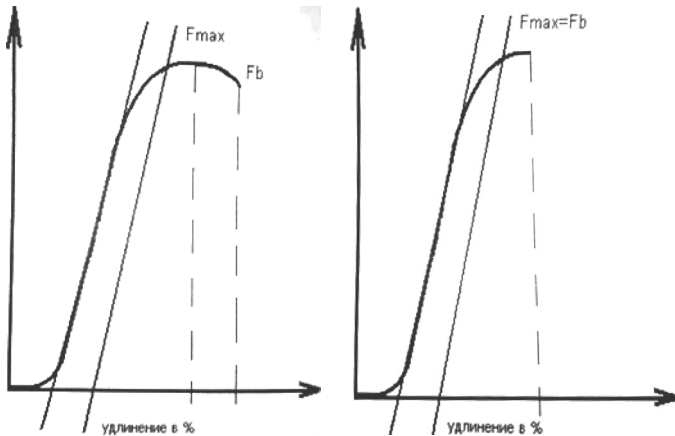


Рис. 3. Проволока с пластическими свойствами (сужение), соответствующими требованиям:  $F_{\max}$  – максимальное усилие;  $F_b$  – усилие при разрыве

Рис. 4. Проволока с хрупким разрушением (конус-лунка). Обозначения те же, что на рис. 3

поскольку укорочение длины образца растет по мере развития склонности проволоки к образованию микротрещин\* (рис. 1).

Это можно определить на машине для скручивания с помощью приставки с индикатором часового типа, фиксирующим продольное перемещение не вращающегося захвата (рис. 2).

*Испытание на растяжение.* Испытание на одноосное растяжение позволяет по результатам одного испытания определить сразу несколько важных механических характеристик материала, являющихся критерием его качества.

Прочностные свойства – это характеристики сопротивления материала образца деформации или разрушения (предел пропорциональности, предел упругости, предел текучести, временное сопротивление).

Пластические свойства – это сужение и удлинение.

Испытания высокоуглеродистой проволоки на растяжение с помощью датчика деформации дают возможность получить ряд механических характеристик, позволяющих оценить не только прочность испытываемой проволоки, но и пластические свойства.

Как известно, при испытаниях на растяжение образец заданной формы, закрепленный в захватах испытательной машины, подвергается плавному нагружению растягивающей нагрузкой. Испытательная машина деформирует образец и измеряет силу сопротивления металла созданной деформации. Зависимость между деформацией и сопротивлением образца очень удобно представлять графически в виде диаграммы (рис. 3, 4).

Для определения влияния различных факторов на пластические свойства проволоки в лаборатории физико-механических испытаний производства металлокорда № 2 ЦЗЛ проводятся исследовательские работы.

Проводили исследование влияния величины отношения условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву ( $\sigma_{\text{тек}}/\sigma_b$ ) на пластические свойства проволоки.

В технологической документации по производству металлокорда указываются требования только по величине временного сопротивления разрыву ( $\sigma_b$ ).

Для выяснения причин обрывности при свивке металлокорда 3+9×0,22 в лабораторию были доставлены образцы проволоки диаметром 0,22 мм по 8 шт. с двух канатных машин. На первой канатной машине наблюдалась повышенная обрывность, а на второй обрывов не фиксировали.

При испытании проволоки на растяжение с канатной машины, на которой наблюдалась повышенная обрывность, получены следующие результаты:

- на пяти образцах – временное сопротивление ( $\sigma_b$ ) составило 2825–2888 Н/мм<sup>2</sup> (при требуемых 2750–3050 Н/мм<sup>2</sup>), условный предел текучести ( $\sigma_{\text{тек}}$ ) – 2472–2611 Н/мм<sup>2</sup>, отношение условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву ( $(\sigma_{\text{тек}}/\sigma_b) \cdot 100\%$ ) – 86–90%;

\* МВИ 840-43-213. Определение склонности проволоки к расслоению при скручивании методами реверсивных скручиваний и изменения длины при обычном скручивании.

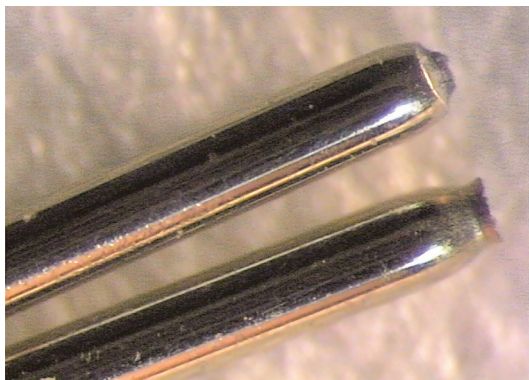


Рис. 5. Разрушение вида «сужение»

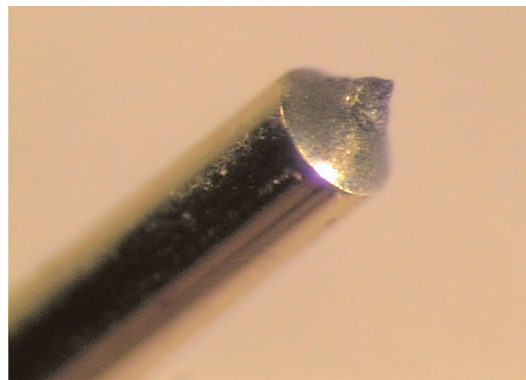


Рис. 6. Хрупкое разрушение вида осевая трещина «конус»

• на остальных трех образцах – временное сопротивление ( $\sigma_B$ ) составило 2991–3002 Н/мм<sup>2</sup>, условный предел текучести – 2896–2903 Н/мм<sup>2</sup>, отношение условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву ( $(\sigma_{тек}/\sigma_B) \cdot 100\%$ ) – 96–97%.

Результаты испытаний восьми образцов проволоки со второй канатной машины были идентичны результатам испытаний пяти образцов с первой канатной машины.

Величина отношения условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву ( $\sigma_{тек}/\sigma_B$ ) на уровне 96–97% свидетельствует о низкой пластичности проволоки, которая явилась причиной повышенной обрывности на первой канатной машине.

Для подтверждения влияния величины отношения ( $\sigma_{тек}/\sigma_B$ ) на пластические свойства проволоки проводили исследование вида диаграммы растяжения на хрупкость проволоки. Проволоку диаметром 0,38 мм специально охрупчивали путем старения при температуре 150 °С в течение 1 ч.

Результаты испытаний приведены в таблице.

Таблица

Параметры	Требования НД	До старения (рис. 3)	После старения (рис. 4)
Временное сопротивление разрыву $\sigma_B$ , Н/мм <sup>2</sup>	2450–2750	2580–2620	2756–2796
Отношение условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву $\sigma_{тек}/\sigma_B$ , %	–	86–90	94–97
Отношение относительного полного удлинения при разрыве к относительному удлинению при максимальной нагрузке $A_f/A_{gt}$ , %	–	1,08	1,0

Результаты исследований подтверждают прямую зависимость влияния хрупкости проволоки на вид диаграммы растяжения.

### Выводы

На ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» используются различные методы определения прочностных и пластических свойств проволоки для оценки качества и проведения, в дальнейшем для анализа влияния разных факторов на прочность и пластичность при ее изготовлении.

Прочностные свойства можно определить по диаграмме растяжения, а пластические свойства проволоки можно оценить не только при испытаниях на перегиб и скручивания, а также при растяжении с использованием датчика деформации. Получение при испытаниях результатов отношения условного предела текучести к временному сопротивлению разрыву  $(\sigma_{тек}/\sigma_B) \cdot 100\% \geq 93\%$ , а отношение относительного полного удлинения при разрыве к относительному удлинению при максимальной нагрузке  $A_f/A_{gt} = 1,0$  однозначно свидетельствуют о том, что данная проволока может иметь проблемы при переработке. Проволока, склонная к расслоению и имеющая результаты испытаний реверсивных скручиваний ниже 15–20, также будет разрушаться при переработке.

Правильное и точное выполнение испытаний, проведение исследовательских работ по определению влияния разных факторов на уровень пластических свойств проволоки помогают определять и постоянно повышать качество произведенной продукции.