УДК 669.017:621.778.1.01

DOI:10.35211/1990-5297-2021-10-257-68-74

В. Ф. Даненко, Л. М. Гуревич, А. Ф. Трудов, Е. А. Шевырев, В. Е. Казакевич

ОЦЕНКА ЭФФЕКТИВНОСТИ ПРИМЕНЕНИЯ СОРБИТИЗИРОВАННОЙ КАТАНКИ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА МЕТИЗОВ

Волгоградский государственный технический университет

e-mail: omd@vstu.ru

Проведен сравнительный анализ технологии производства проволоки для металлокорда из патентованной в свинцовых ваннах и сорбитизированной с прокатного нагрева катанки. Установлено, что переработка сорбитизированной катанки позволяет исключить термическую обработку передельных заготовок диаметром 5,1 и 3,5 мм, что дает экономию газа, электроэнергии, металла. Расход металла при изготовлении металлокорда по измененной технологии уменьшился в 1,5 раза.

Ключевые слова: сорбитизированная катанка, проволока, патентирование, микроструктура, волочение, технологичность, металлокорд.

© Даненко В. Ф., Гуревич Л. М., Трудов А. Ф., Шевырев Е. А., Казакевич В. Е., 2021.

V. F. Danenko, L. M. Gurevich, A. F. Trudov, E. A. Shevyrev, V. E. Kazakevich

EVALUATION OF THE EFFECTIVENESS OF THE USE OF SORBITIZED WIRE ROD FOR THE PRODUCTION OF HARDWARE

Volgograd State Technical University

A comparative analysis of the production technology of wire for metal cord from wire rod patented in lead baths and sorbitized from rolling heating is carried out. It is established that the processing of sorbitized wire rod makes it possible to exclude the heat treatment of front blanks with a diameter of 5.1 and 3.5 mm, which saves gas, electricity, and metal. The consumption of metal in the manufacture of metal cord using the modified technology has decreased by 1.5 times.

Keywords: sorbitized wire rod, wire, patenting, microstructure, drawing, manufacturability, metal cord.

Построение оптимальной технологии производства проволоки во многом связано с повышением технологичности катанки, под которой следует понимать способность металла к значительной пластической деформации при волочении без разрушения. При соблюдении требований НТД по дефектам катанки процесс волочения проволоки сопровождается двумя факторами, значительно влияющими на ее свойства: увеличением отношения поперечного размера неметаллических включений в стали к диаметру проволоки (физическая неоднородность) и увеличением отношения поверхности проволоки к ее объему (масштабный фактор) [1–4]. Физическая неоднородность может быть оценена коэффициентом $K_\phi = (S_\phi / S_m) \times 100 \%$, где S_ϕ и S_m – площади сечения включений и проволоки, соответственно. Установлено, что увеличение обрывности при волочении и снижение прочности проволоки наблюдается уже при $K_\phi \geq 2 - 5\%$ [2]. Сравнительная характеристика обрывности катанки отечественных и зарубежных поставщиков при переработке в проволоку приведена в работе [5]. Имеющиеся данные указывают на важную роль технологичности катанки при переработке в повышении производительности труда, качества и снижении себестоимости продукции.

Для обеспечения высоких качеств катанки необходимы максимально возможные: однородность металла по химическому составу, структуре, механическим и физическим свойствам и геометрическим размерам; чистота металла (отсутствие неметаллических включений и вредных примесей); отсутствие пороков (нарушений сплошности металла, трещин, раковин и др.) [6, 7]. Также необходимо, чтобы слой окарины был минимальным, равномерно распределенным по поверхности стали и легко удаляемым. С качеством катанки связаны формирующиеся свойства проволоки и такие важнейшие технико-экономические показатели ее

производства, как эффективность фондоотдачи, производительность труда, расход металла, вспомогательных материалов, топлива и электроэнергии.

Оптимальная структура катанки для волочения и последующего применения определяется следующими тремя характеристиками [6]: структура катанки должна состоять из зерен перлита и феррита и не содержать мартенсита или троостита; зерна феррита должны быть мелкими и равномерно распределенными по сечению; перлит, как основной элемент структуры, должен быть тонкопластинчатым.

Испытанным методом подготовки структуры стали к волочению является патентирование, которому могут подвергаться как катанка, так и передельная заготовка. Сущность метода заключается в нагреве заготовки выше температуры A_{c3} для образования аустенита и последующем охлаждении в свинцовых или соляных ваннах с изотермическим распадом переохлажденного аустенита [8].

Достижимая при патентировании толщина пластинок цементита и феррита 0,1–0,2 мкм (путь пробега дислокаций) обеспечивает необходимые пластические свойства сталей и высокую прочность проволоки, протянутой из патентированной заготовки. Интенсивное деформационное упрочнение патентированной перлитной стали обусловлено, в основном, уменьшением межпластинчатого расстояния в перлите, а также измельчением ячеистой структуры феррита; увеличением межфазовой поверхности раздела; пластической деформацией и снижением вероятности разрушения тонких цементитных пластин в окружении вязких пластин феррита [6, 9]. Значительную роль в повышении свойств играет характерное для структуры типа сорбит благоприятное взаимодействие микрообластей в процессе деформации, приводящее к уменьшению уровня неоднородности деформации [10].

Недостатком классического патентирования с экономической точки зрения является низкая производительность установок, не превышающая 1,8 – 3 т/ч. Это на порядок ниже величины производительности непрерывных проволочных станов, на которых при диаметре катанки 5,5 мм на одну нитку приходится более 30 т/ч.

Стремление улучшить технико-экономические показатели работы проволочных станов

привело к созданию новой технологии и оборудования для производства катанки - специализированным станам блочной конструкции с ускоренным двухстадийным регулируемым охлаждением катанки с температуры конца прокатки [7]. Оборудование для ускоренного охлаждения (сорбитизации) устанавливается в линию непрерывного проволочного стана за последней чистовой клетью (рис. 1).

Рис. 1. Схема ускоренного охлаждения катанки в потоке проволочных станов:
1 – последняя чистовая рабочая клеть проволочного стана; 2 – системы водяного охлаждения;
3 – преобразователь витков; 4 – транспортеры; 5 – виткосборник

Общим для способов регулируемого двухстадийного охлаждения катанки является то, что на первой стадии на выходе из чистовой рабочей клетки проволочного стана катанка подвергается предварительному водяному охлаждению до температуры поверхностных слоев катанки несколько ниже точки мартенситного превращения, что приводит к формированию мартенситной структуры в тонком слое.

После прекращения подачи воды на второй стадии осуществляется своеобразный «самоотпуск» раскладываемых веером витков до температур вблизи точки перлитного превращения за счет сохранившегося тепла в более глубоких слоях катанки. Это приводит к формированию в поверхностном слое зернистых структур распада мартенсита с большей деформационной способностью. Одновременно происходит охлаждение витков потоками воздуха. С увеличением скорости потока воздуха снижается температура начала превращения аустенита в более глуболежащих слоях и сокращается длительность превращения. При скорости потока 60 м/с превращение аустенита начинается в области температур, обычно используемых при патентировании углеродистых сталей в свинцовых ваннах [7].

Положительные моменты сорбитизации катанки путем ускоренного охлаждения [6]:

- уменьшение склонности стали к старению после волочения;

- формирование благоприятных условий окалинообразования, что уменьшает потери металла и сокращает длительность травления;

- выравнивание свойств по длине бунта, повышение предела прочности для сталей всех марок;

- получение равномерной мелкозернистой, преимущественно сорбитной, структуры, что дает возможность волочения с повышенными суммарными обжатиями.

С целью исследования технологичности сорбитизированной катанки для производства метизов, на Волгоградском сталепроволочно-канатном заводе (ныне филиал «Волгоградский» АО «Северсталь канаты») на протяжении длительного времени велись наблюдения за качеством поступающей катанки от различных поставщиков. Из представленных в табл. 1 результатов анализов следует, что как в России, так и в странах СНГ отсутствуют предприятия, поставляющие катанку в соответствии с требованиями НТД. При этом качество катанки конкретного поставщика во многом зависит от плавки. Основными дефектами катанки являются дефекты поверхности. Нормированные требования к состоянию поверхности катанки включают в себя недопустимость дефектов прокатки, таких как риски, рябизна, трещины, закаты и др. Однако полное отсутствие дефектов при прокатке невозможно, что, соответственно, отражается на качестве готовой проволоки.

Таблица 1

Основные дефекты поставляемой катанки

Завод-поставщик	Стандарт	Дефекты катанки	
		Фактические	Требования НТД
Западно-Сибирский металлургический комбинат (ЗСМК)	ТУ 14-15-231-90 “Катанка стальная канатная”	Закаты с вкатанной окалиной 0,21–0,42 мм	Не допускается
		Обезуглероживание – 0,36-0,42 мм	Не более 0,15мм
		Микроструктура – пластинчатый перлит балла 1–6, грубая ферритная сетка, участки свободного феррита, пластинчатый перлит балла 1–10 %	Пластинчатый перлит 1 балла -30 %
ЗСМК	ТУ 14—5317-95 “Катанка стальная канатная и конструкционная”	Трещины, закаты, кольцевой подкат 1,5-2,0 мм	Не допускается
		Микроструктура – пластинчатый перлит балла 1 – 10-15%	Пластинчатый перлит 1 балла -30 %
Белорецкий металлургический комбинат (БМК)	ГОСТ 14959-79 “Сталь рессорно-пружинная углеродистая и легированная”	Закаты 0,06-0,15 мм, раскатанный пузырь	Не допускается
		Макроструктура – усадочная раковина	Не допускается
		Микроструктура – пластинчатый перлит балла 1-6, обрывки ферритной сетки и участки свободного феррита, пластинчатый перлит балла 1–5 – 10 %	Не нормируется
Металлургический завод «Красный октябрь»	ГОСТ 14959-79 “Сталь рессорно-пружинная углеродистая и легированная”	Геометрия – квадрат и ус	Не допускается
		Закаты до 0,21 мм	Не допускается
		Обезуглероживание до 0,24 мм	Не более 0,15 мм
		Микроструктура – пластинчатый перлит балла 1–5 - 10%	Не нормируется
Макеевский металлургический завод (МакМК)	ГОСТ 14959-79 “Сталь рессорно-пружинная углеродистая и легированная”	Закаты до 0,15 мм	Не допускается
		Обезуглероживание до 0,18 мм	Не более 0,15 мм
		Микроструктура – пластинчатый перлит балла 1 – 25%	Не нормируется
Магнитогорский металлургический комбинат (ММК)	Г ГОСТ 14959-79 “Сталь рессорно-пружинная углеродистая и легированная”	Геометрия – ус и овал	Не допускается
Молдавский металлургический завод (ММЗ)	ТУ У 14-4-470-2000 “Катанка сорбизированная для металлокорда”	Закаты, трещины, закаленные пузыри и загрязнения	Не допускается
		Микроструктура – пластинчатый перлит балла 1 – 30-40%	Не менее 50%
		Макроструктура–шлаковые включения	Не допуск.
Комбинат «Северсталь»	ТУ 14-1-5317-95 “Катанка стальная канатная и конструкционная”	Макроструктура – шлаковые включения, усадочная раковина	Не допускается
		Обезуглероживание до 0,3 мм	Не более 0,15 мм

Из данных, представленных на рис. 2, следует, что в целом процесс волочения поставляемой катанки трех поставщиков идет устойчиво (безобрывно) до степеней деформации 90 % и более с соблюдением требований НТД к проволоке.

Высокая технологичность катанки реализуется при микроструктуре, состоящей из пластинчатого перлита степени дисперсности 1–4 балла, при этом доля пластинчатого перлита

балла 1 составляла не менее 40–50 %. При наличии дефектов катанки (низкая доля пластинчатого перлита балла 1 - до 10 %, закаты с вкатанной окалиной и др.) ее технологичность значительно снижается. Переработка разных плавок ЗСМК показала, что волочение идет устойчиво лишь до суммарных деформаций ≤ 60 %. При более высоких степенях деформации отмечены обрывы, что связывается с несоответствием катанки требованиям ТУ 14-1-5317-95 (см. табл. 1).

Рис. 2. Сравнительная характеристика максимальной степени деформации катанки различных поставщиков (без предварительной термической обработки).

1 – «Северсталь»; 2 – ММЗ; 3 – Белорецкий металлургический комбинат; 4 – МакМК; 5 – ММК; 6 – ЗСМК

Дефекты катанки ММК в виде овала и уса ограничивают возможную степень деформации до 80 %. Наличие дефектов катанки приводит к снижению выхода годного, отклонениям от требований НТД по временному сопротивлению разрыву, числу скручиваний [8]. Для повышения технологичности катанки указанных выше поставщиков необходима предварительная термическая обработка – патентирование. Структуры сорбитизированной (ПАО «Северсталь») и патентированной катанки с содержанием углерода 0,70 % приведены на рис. 3.

Фазовые составляющие после патентирования характеризуются высокой дисперсностью цементита и равномерным распределением мелких цементитных включений внутри зерен феррита (рис. 3, б). Феррит в структуре после патентирования в виде мелких равноосных зерен или тонких прослоек по границам скрытопластинчатого перлита. Величина слоя полной или частичной обезуглероженности (рис. 3, з) для патентированной катанки составляет до 0,12 мм, что соответствует установленным ТУ 14-1-5317-95 значениям 0,15 мм. Ферритно-перлитная зона частичного обезуглероживания достаточно протяженная, что свидетельствует о плавном снижении содержания углерода по мере приближения к поверхности. Для сорбитизированной катанки характерны значительно больший размер зерна скрытопластинчатого перлита и появление аномальных перлитных зерен с увеличенным расстоянием между легко обнаруживаемыми при оптической микроскопии с увеличением $\times 500$ цементитными пластинами (рис. 3, а). Толщина зоны частичного или полного обезуглероживания у сорбитизированной катанки составляет 0,07–0,10 мм и имеет четкую границу с исходной структурой. В микрострuctуре зоны частичного обезуглероживания наблюдается ферритная сетка по границам перлитных зерен.

Рис. 3. Структура сорбитизированной (а, в) и патентированной (б, г) катанки: а, б – сердцевина; в, г – поверхность с обезуглероженным слоем

Для изучения возможности построения оптимального технологического процесса катанку ММЗ, соответствующую техническим условиям ТУ У 14-4-470-2000 «Катанка сорбитизированная для металлокорда», перерабатывали в металлокорд (трос, свитый из стальной латунированной проволоки) по следующим технологическим вариантам:

1) Серийное производство

5,5* – (5,1) – [3,5] – [1,2] – латунирование – 0,27 мм;

2) Измененная технология

5,5** – 2,0 – [1,2] – латунирование – 0,27 мм.

где: * – удаление окалины в окалиноломателе с калибровкой на Ø 5,1 мм; ** – травление окалины; в круглых скобках – подготовка поверхности к волочению; в квадратных – патентирование передельных заготовок.

Суммарное обжатие при волочении катанки из высокоуглеродистой стали Ø5,5 мм с содержанием углерода 0,7 % (сталь 70) в передельную заготовку Ø1,2 мм составило 95,2 %, а латунированной заготовки Ø1,2 мм в кордовую проволоку Ø0,27 мм – 95 %. Следует отметить согласованность принятого значения суммарной деформации и определенного по критерию разрушения Кокрофта-Латама при волочении проволоки из стали 80 (содержание углерода 0,79 %) Ø1,75 мм под металлокорд из катанки Ø5,5 мм без операции промежуточного патентирования [11].

Наблюдение за устойчивостью процесса волочения проводили на всех переделах. Контролировали расход волок, количество обрывов и выработку. Поверхность рабочего канала волок, снятых с волочильных станов, исследовали под микроскопом. На проволоке Ø1,2 мм определяли временное сопротивление разрыву, относительное удлинение, массу латунного покрытия, содержание меди в латунном покрытии, фазовый состав покрытия. На проволоке Ø0,27 мм определяли временное сопротивление разрыву и проводили испытание на разрыв с узлом по ГОСТ 10446-80 (ИСО 6892-84).

Из проволоки, полученной по каждому варианту, на канатных машинах свивали металлокорд 9Л15/27А по ГОСТ 14311-85. При свивке контролировали прямолинейность, оста-

точное кручение, количество обрывов, а также исследовали причины обрывов под микроскопом. Пооперационный расход металла определяли на всех участках волочения и в канатном отделении путем взвешивания отходов. Отходы при травлении определяли в лабораторных условиях.

При волочении катанки на проволоку Ø1,2 мм наблюдались единичные обрывы. Металлографические исследования образцов с мест обрывов показали наличие микротрещин от неметаллических включений.

Результатами испытаний латунированной заготовки Ø1,2 мм и проволоки Ø0,27 мм установлено, что механические свойства для обоих вариантов схем практически одинаковы и удовлетворяют требованиям НТД. Так, для заготовки Ø1,2 мм, полученной по измененной технологии, $\sigma_b = 1167-1245$ МПа, $\delta = 6,5-10$ %; по серийной технологии $\sigma_b = 1196-1225$ МПа, $\delta = 6-10$ %. Согласно нормативной документации, $\sigma_b = 1147-1245$ МПа, δ – не нормируется. Микроструктура – сорбит, пластинчатый перлит, участки свободного феррита, обрывки ферритной сетки – одинакова для обоих вариантов.

Проволоку Ø0,27 мм перерабатывали в металлокорд 9Л15/27 Ø0,83 мм в соответствии с существующей технологией. Установлено, что количество обрывов в среднем на канат по вариантам 1 и 2 составляет 0,25 и 0,185 соответственно. Металлографический анализ показал, что причинами обрыва проволоки в готовом металлокорде являются дефекты в катанке (неметаллические включения – 16,6 %, раскаты загрязнения – 16,6 %), нарушения при производстве проволоки (некачественная сварка – 16,6 %, неравномерная деформация по сечению проволоки – 50,2 %).

Сравнительные данные механических испытаний металлокорда по разрывному усилию, относительному удлинению, выносливости показали, что металлокорд из проволоки, изготовленной по измененной технологии, не отличается от металлокорда из проволоки, изготовленной по принятой на заводе технологии. Пооперационный расход металла при производстве металлокорда для различных вариантов технологических схем представлен в табл. 2.

Таблица 2

Распределение отходов при производстве металлокорда

Технологические операции	Расход металла для различных вариантов, кг/т	
	1	2
Удаление окалины с катанки с калибровкой на Ø5,1 мм	5,16	–
Травление катанки Ø5,5 мм	–	3,28
Подготовка поверхности к волочению катанки Ø5,1 мм	3,0	–
Волочение проволоки Ø5,1 – 3,5 мм	5,95	—
Волочение проволоки Ø5,5 – 1,2 мм		
вязка	–	1,48
обсечка	–	4,5
Патентирование проволоки Ø3,5 мм	8,0	–
Волочение проволоки Ø3,5 – 1,2 мм	10,19	–
Патентирование проволоки Ø1,2 мм	5,0	–
Латунирование проволоки Ø1,2 мм	12,0	12,0
Волочение проволоки Ø1,2 – 0,27 мм	36,2	38,0
Свивка металлокорда	94,0	55,6
Итого	179,5	119,86

Таким образом, переработка сорбитизированной катанки позволяет изменить технологию производства проволоки для металлокорда за счет повышения суммарного обжатия при волочении до 95–96 %. При этом исключается термическая обработка двух передельных заготовок Ø5,1 и 3,5 мм, что дает экономию газа, электроэнергии, металла (потери металла при патентировании могут составить до 10 кг/т). Расход металла при изготовлении металлокорда по измененной технологии уменьшился в 1,5 раза. Отметим, что при переработке катанки Молдавского металлургического завода под канатную проволоку с суммарными обжатиями 84–90 % по сокращенной технологии (исключающей термическую обработку одного передела) выход годного составил примерно 95 %, расходный коэффициент уменьшился в 2,6 раза. Эти данные говорят о реальной возможности сокращения переделов при производстве основных видов проволоки при переработке сорбитизированной катанки.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Даненко, В. Ф. Роль масштабного фактора в формировании деформированного состояния деформационной зоны при волочении стальной проволоки / В. Ф. Даненко, Л. М. Гуревич, Р. Е. Новиков // Черные металлы (Chernye Metally). - 2019 - № 2 (1046). - С. 48-55.
2. Кулеша, В. А. Изготовление высококачественных метизов / В. А. Кулеша [и др.] // Коллективная монография. - Белорецк, 1999. - 328 с.

3. Даненко, В. Ф. О влиянии масштабного фактора на напряженно-деформированное состояние деформационной зоны при волочении проволоки в монолитных волоках / В. Ф. Даненко, Л. М. Гуревич // Известия ВолгГТУ : научный журнал № 10 (205) / ВолгГТУ. - Волгоград, 2017. - (Серия «Проблемы материаловедения, сварки и прочности в машиностроении»). - С. 105–111.

4. Белалов, Х. Н. Формирование свойств канатной проволоки / Х. Н. Белалов // Стальные канаты : сб. науч. тр. / Международная ассоциация исследователей стальных канатов. - Одесса, 2001. - С. 105–116.

5. Демьянова, Л. И. Исследование качества катанки различных поставщиков при переработке под металлокорд / Л. И. Демьянова // Метизная промышленность 21 века: проблемы и перспективы: Сб. докл. 1-го науч.-практ. семинара, г. Харцызск, 18-20 сентября 2001 г. Укр. акад. метизной пром-сти. - Харцызск, 2001. С. 75-82.

6. Шахпазов, Х. С. Производство метизов / Х. С. Шахпазов [и др.]. - М: Металлургия, 1977. - 392 с.

7. Харитонов, В. А. Производство пружинной проволоки / В. А. Харитонов, Д. Э. Галлямов - Магнитогорск: Изд-во Магнитогорск. гос. техн. ун-та им. Г.И. Носова, 2013. - 151 с.

8. Гриднев, В. Н. Прочность и пластичность холоднодеформированной стали / В. Н. Гриднев, В. Г. Гаврилюк, Ю. Я. Мешков. - Киев: Наукова думка, 1974. - 232 с.

9. Никифоров Б. А. Производство высокопрочной арматурной проволоки: учеб. пособие / Б. А. Никифоров, В. А. Харитонов, Е. М. Киреев. - Свердловск: УПИ им. С.М. Кирова, 1982. - 96 с.

10. Кукса, Л. В. Микродеформации и механические свойства поликристаллических сплавов при статических, динамических и высокотемпературных испытаниях / Л. В. Кукса // Физика металлов и материаловедение. - 1997. - Т. 84. - № . - С. 96–105.

11. Харитонов, В. А. Разработка конкурентоспособной технологии производства проволоки для металлокорда / В. А. Харитонов, А. Ю. Столяров // Металлург.- 2013.- №4.- С.77-81.