



It is shown that at twisting of wire of diameter 1,83 mm, produced by direct wire drawing of thermomechanically processed rolled wire of diameter 5,5 mm of steel 90, metal stratification is completely eliminated at decrease of carbon, manganese and an additional alloying of chrome.

В. А. ЛУЦЕНКО, В. Г. ЧЕРНИЧЕНКО, О. В. ЛУЦЕНКО,
Институт черной металлургии им. З. И. Некрасова НАН Украины,
И. Н. РАДЬКОВА, ОАО «БМЗ» – управляющая компания холдинга «БМК»

УДК 621.785:669.14.018.295

ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ ОБРАБОТАННАЯ КАТАНКА ДЛЯ ВЫСОКОПРОЧНОЙ БОРТОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Термомеханическая обработка (ТМО) стального проката располагает огромным потенциалом повышения качества продукции и сокращения затрат, обеспечивая экономический эффект в металлообрабатывающих отраслях за счет более полного удовлетворения требований к механическим свойствам готовой продукции. Так, вместо бортовой проволоки нормальной (НТ) прочности целесообразно с сохранением эксплуатационных характеристик использовать высокопрочную проволоку (НТ). Прочность перлитных сталей зависит не только от измельчения зерна, но и в значительной степени от содержания углерода. Для кордовой катанки повышение прочностных свойств достигается за счет уменьшения межпластиночного расстояния, путем снижения температуры начала превращения, а также увеличения содержания углерода и добавки хрома [1]. Однако следует учитывать, что повышение содержания углерода может привести к образованию цементитной сетки, а добавка хрома – к увеличению времени распада аустенита. Аустенитообразующие элементы, такие, как марганец, снижают температуру эвтектидного распада аустенита.

Известно, что растворение легирующих элементов в Fe_α происходит в результате замещения атомов железа атомами этих элементов. Поскольку стали являются многокомпонентными системами, легирующие элементы могут находиться в карбидной фазе, в виде раствора в цементите или в виде соединений с углеродом – специальных карбидов. Карбиды в сталях образуются только металлами, расположенными в периодической системе элементов левее железа.

На рис. 1 показано влияние хрома на повышение температуры перлитного превращения в стали [2]. При этом необходимо учитывать, что перлит-

ное превращение протекает также при значительном переохлаждении, так что в первую очередь образуется бедный хромом карбид железа, который при дальнейшей выдержке при температуре превращения или последующем нагревании обогащается хромом и переходит в карбид хрома.

Для определения наиболее рациональных режимов ТМО ранее была изучена кинетика распада аустенита высокоуглеродистой стали различного химического состава в определенном скоростном интервале, наиболее приближенном к технологическим возможностям Стельмор-процесса [3].

Целью настоящего исследования было изучение влияния химического состава термомеханически обработанной высокоуглеродистой катанки на свойства высокопрочной бортовой проволоки диаметром 1,83 мм из стали 90.

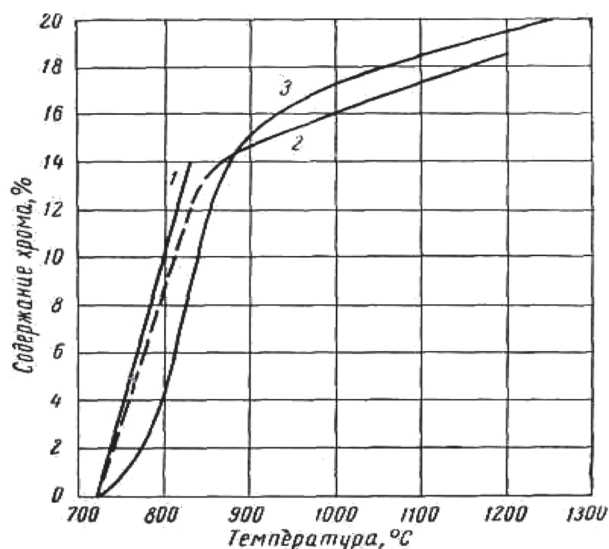


Рис. 1. Влияние содержания хрома на температуру перлитного превращения (линии 1–3 – представления различных авторов) [2]

Материалом для исследования служили высокоуглеродистая катанка диаметром 5,5 мм и проволока диаметром 1,83 мм из стали 90 с повышенным содержанием хрома (состав 1) и пониженным содержанием углерода, марганца и повышенным содержанием хрома (состав 2) производства БМЗ.

В потоке высокоскоростного проволочного станка 150 БМЗ в процессе ТМО высокоуглеродистую катанку диаметром 5,5 мм после чистового блока подвергали контролируемому охлаждению, включающему охлаждение водой до температур выше A_{c3} с последующим интенсивным воздушным охлаждением, при этом начальная скорость транспортирования витков ($V_{тр.}$) зависит от скорости прокатки ($V_{пр.}$) и должна соответствовать $V_{тр.} = 12 \cdot 10^{-3} V_{пр.}$. Основу микроструктуры катанки различного состава, подвергнутой ТМО, составляет сорбитообразный перлит более 90%, структурно свободный цементит и промежуточные структуры отсутствуют. Предел прочности катанки состава 1 – 1220–1290 Н/мм², состава 2 – 1210–1250 Н/мм².

Результаты исследований качественных характеристик высокопрочной бортовой проволоки диаметром 1,83 мм, произведенной без промежуточной термообработки из термомеханически обработанной катанки диаметром 5,5 мм из стали 90 различного состава, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Результаты испытаний на кручение бортовой бронзированной проволоки диаметром 1,83 мм из стали 90

Сталь	Количество скручиваний на образцах				Разрывное усилие, Н		
	без расслоений		с расслоением				
	мин.	макс.	мин.	макс.	мин.	макс.	сред.
Состав 1	26	42	5	36	5587	5997	5875
Состав 2	31	45	–	–	5572	5834	5713
Требования НТД					5540	6060	5800

Из таблицы не видно четкой взаимосвязи, характеризующей расслоение металла только при низком числе скручиваний проволоки. Так, расслоение образцов проволоки при числе скручиваний 36 (выше нормативного) присутствует при переработке катанки состава 1. Снижение количества марганца и углерода (состав 2) при изготовлении проволоки диаметром 1,83 мм обеспечило отсутствие расслоений.

Следует учитывать, что уменьшение количества марганца, как и углерода, может привести к снижению прочностных свойств, поэтому для сохранения

требуемых характеристик готовой проволоки необходимо дополнительное легирование хромом.

В табл. 2 приведены [4] изменения стандартной гиббсовой энергии карбидов, образуемых хромом и марганцем. Из таблицы видно, что $\Delta G_{Cr_7C_3}^0 < \Delta G_{Cr_3C_2}^0 < \Delta G_{Cr_4C}^0 < \Delta G_{Mn_3C}^0 < \Delta G_{Fe_3C}^0$, поэтому сродство хрома к углероду значительно сильнее, чем марганца, что обуславливает образование в стали более устойчивых карбидов хрома.

Таблица 2. Изменение стандартной гиббсовой энергии (ΔG^0) карбидов хрома, марганца и железа

Температура, °С	ΔG^0 , кДж/моль				
	Cr_7C_3	Cr_3C_2	Cr_4C	Mn_3C	Fe_3C
700	-201,804	-95,0404	-75,1531	-15,0725	3,1401
900	-207,247	-98,1805	-75,9904	-14,2351	0,83736
1200	-214,783	-101,949	-78,0838	-13,3978	-2,72142

Таким образом, при легировании стали хромом происходит формирование легированного цементита, а снижение содержания марганца приводит к уменьшению дислокационной насыщенности ферритной матрицы перлита, обеспечивая устойчивость металла к расслоению после скручивания.

Поэтому уровень свойств высокоуглеродистой катанки из стали 90 для высокопрочной бортовой проволоки диаметром 1,83 мм, изготовленной прямым волочением, обеспечивается комплексно: путем легирования хромом, уменьшением содержания углерода и марганца и с использованием ТМО.

Выводы

На основании сопоставления изменения стандартной гиббсовой энергии карбидов, образуемых хромом и марганцем при температурах 700–1200 °С, показано, что в высокоуглеродистых сталях более устойчивыми являются карбиды хрома из-за большего сродства хрома к углероду, чем марганца. Поэтому при легировании стали хромом происходит формирование легированного цементита, а снижение содержания марганца и углерода приводит к уменьшению дислокационной насыщенности ферритной матрицы перлита, обеспечивая устойчивость металла к расслоению после скручивания.

Установлено, что при скручивании проволоки диаметром 1,83 мм, произведенной прямым волочением из термомеханически обработанной катанки диаметром 5,5 мм из стали 90, расслоение металла полностью устраняется при снижении содержания углерода, марганца при дополнительном легировании хромом.

Литература

1. T o s h i m i Т. Microstructure control and strengthening of steel cord // Ferrum. 2006. Vol. 11. N 12. P. 791–797.
2. Г у д р е м о н Э. Специальные стали / Пер. с нем. Изд. 2-е сокр. и перераб. Т. II. М.: Металлургия, 1966. С. 519.
3. Влияние термомеханической обработки и легирования на формирование свойств в высокоуглеродистой катанке-проволоке / В. А. Луценко, В. А. Маточкин, Ю. Л. Худолей и др. // Сталь. 2010. № 9. С.76–78.
4. У и к с К. Е., Б л о к Ф. Е. Термодинамические свойства 65 элементов, их оксидов, карбидов и нитридов. М.: Металлургия, 1965.