

О.В.Луценко, В.Г.Черниченко, В.А.Луценко

ВЛИЯНИЕ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКИ ОБРАБОТАННОЙ КАТАНКИ НА СВОЙСТВА ВЫСОКОПРОЧНОЙ БОРТОВОЙ ПРОВОЛОКИ

Целью работы является усовершенствование химического состава термомеханически обработанной высокоуглеродистой катанки для обеспечения формирования необходимых качественных характеристик в высокопрочной бортовой проволоке. Показано, что при скручивании проволоки диаметром 1,83мм, произведенной прямым волочением из термомеханически обработанной катанки диаметром 5,5 мм стали 90, расслоение металла полностью устраняется при снижении максимального допустимого содержания углерода (на 0,02%) и марганца (на 0,25%) и дополнительном введении в сталь хрома в количестве около 0,23% .

высокоуглеродистая сталь, катанка, проволока, термомеханическая обработка, карбиды, свойства, расслоение металла

При производстве катанки для бортовой проволоки и металлокорда различной прочности, помимо особых требований к стали по химическому составу, чистоте металла по примесям и включениям, предъявляются особые требования к характеру микроструктуры и свойствам.

Состояние вопроса. 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). Традиционно проволоку группы НТ производят по схеме: катанка диаметром 5,5 мм (сталь 70) после окалиноломания и калибровки на диаметр 5,2 мм подвергается патентированию с последующим волочением на диаметр 2,0 мм. Современная технология изготовления проволоки группы НТ - катанка диаметром 5,5 мм (сталь 80) после кислотного травления подвергается волочению на диаметр 1,60 или 1,55 мм.

Прочность перлитных сталей зависит не только от измельчения зерна, но и, в значительной степени, от содержания углерода. Для кордовой стали обычно применяют упрочнение за счет уменьшения межпластиночного расстояния путем повышения 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 эвтектоидного 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 перлитное 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.

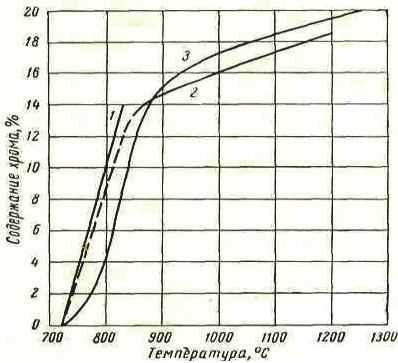


Рис.1. Влияние содержания хрома на температуру перлитного превращения (линии 1-3 представления различных авторов) [2]

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 Стелмор-процесса [3,4].

Исследованиями тонкой кристаллической структуры α -фазы (феррита) в проволоке диаметром 1,60 мм стали 80 показано, что устранение расслоения связано с повышением дисперсности перлита и образованием более совершенной субструктуры феррита в перлите [5].

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

Материал и методика проведения исследований. Материалом для исследования служила высокоуглеродистая катанка диаметром 5,5 мм и проволока диам. 1,83 мм из стали 90 различного химического состава.

В потоке высокоскоростного проволочного стана в процессе ТМО высокоуглеродистую катанку диаметром 5,5 мм после чистового блока подвергали регулируемому ускоренному охлаждению, включающему охлаждение водой до температур, выше A_{c3} , с последующим воздушным охлаждением со скоростью, не менее $15,0^{\circ}C/c$, при этом скорость транспортирования витков ($V_{тр.}$) зависит от скорости прокатки ($V_{пр.}$) и должна соответствовать $V_{тр.} = 12 \cdot 10^{-3} \cdot V_{пр.}$. Переработку катанки на проволоку производили, используя схемы: прямого волочения (ПВ) на станах типа

2500/2+1600/2+2250/9 по маршруту [5,50]-4,98-4,35-3,82-3,37-3,30]-2,94-2,62-2,57-2,32-2,11-2,07-1,88-1,82 на скорости $9,0 \pm 1,0$ м/с; и реверсного волочения (ГВ+СВ) включающего грубое (стан 6/550) с $5,50 \rightarrow 3,20$ мм и последующее среднее (стан 9/350) волочение с $3,20 \rightarrow 1,83$ мм.

Изложение основных материалов исследования. Результаты исследований влияния химического состава на качественные характеристики высокопрочной бортовой проволоки диаметром 1,83 мм, произведенной без промежуточной термообработки из термомеханически обработанной катанки диаметром 5,5 мм стали 90, представлены в табл. 1.

Таблица 1. Содержание основных химических элементов и результаты испытаний на кручение бортовой проволоки диаметром 1,83 мм из стали 90 (При участии Радьковой И.Н. и Ледневой А.А.)

Состав стали	Схема переработки	Содержание элементов, %			Количество скручиваний на образцах				Разрывное усилие, Н		
		C	Mn	Cr	без расслоя		с расслоением		Мин	макс	сред
					мин	макс	мин	макс			
1	ПВ	0,905	0,4255	0,0212	30	42	17		5688	5817	5755
2	В+СВ	0,902	0,4006	0,2573	36	38	12		5868	6001	5975
3	В+СВ	0,901	0,3143	0,1532	7	45	10	26	5546	5878	5738
4	В+СВ	0,896	0,3858	0,2378	26	42	5	36	5587	5997	5875
5	В+СВ	0,898	0,3024	0,2191	26	42	9	28	5552	5906	5760
6	ПВ	0,880	0,2868	0,2347	31	44	9	9	5542	6016	5695
7	ПВ	0,890	0,2900	0,2300	31	45	-	-	5572	5834	5713
Требования НТД*		0,88-0,92	0,40-0,55	$\geq 0,05$	≤ 15		расслоение не допускается		5540	6060	5800

* - Спецификация №311CH Goodyear Tire & Rubber Company

Из табл.1 для анализируемых сталей не следует четкой взаимосвязи, характеризующей расслоение металла при низком числе скручиваний проволоки. Однако качество проволоки зависит от схемы переработки. Из табл.1 видно, что расслоение образцов проволоки при скручивании (рис.2.а) присутствует на всех исследуемых составах, переработанных по схеме ГВ+СВ. Снижение марганца и углерода (состав 7) при изготовлении проволоки диаметром 1,83 мм по схеме ПВ обеспечило наилучшие результаты – отсутствие расслоений (рис.2.б). Образцы проволоки состава 6 (при малом содержании марганца, углерода и изготовленной по схеме ПВ), расслаивались из-за наличия недеформируемых включений размером 25 мкм.

Таким образом, анализируя полученные результаты, можно сделать вывод, что изготовление проволоки по схеме ПВ и снижение в стали содержания марганца исключает расслоение при скручивании. Однако снижение количества марганца, как и углерода, может привести к снижению прочностных свойств, поэтому для сохранения требуемых характеристик готовой проволоки необходимо легирование хромом.

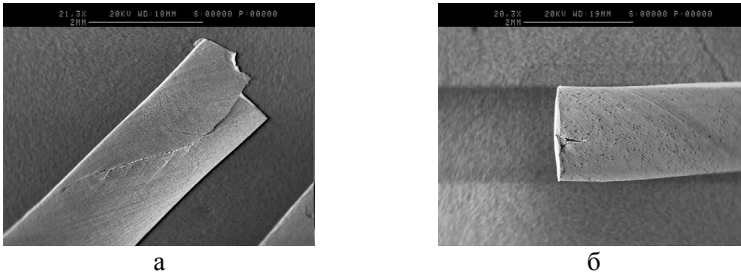


Рис.2. Характер разрушения высокопрочной проволоки после испытаний на скручивание с расслоением (а) и без расслоения (б) металла (При участии Серегиной Е.С.)

В табл. 2 приведены данные [6] изменения стандартной гиббсовой энергии карбидов, образуемых хромом и марганцем, из которой следует, 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 средство хрома к углероду значительно сильнее, чем средство марганца, что обуславливает образование в стали более устойчивых карбидов хрома.

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

Температура, $^{\circ}C$	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

Из выше изложенного следует, что 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, что подтверждается ранее проведенными нами исследованиями [5]. Поэтому следует учитывать, что уровень свойств высокоуглеродистой катанки стали 90 для высокопрочной бортовой проволоки диаметром 1,83 мм, изготовленной прямым волочением, обеспечивается комплексно: путем легирования хромом, уменьшением содержания углерода и марганца с использованием ТМО.

Заключение. Изучено влияние легирования высокоуглеродистой стали хромом при регламентированном содержании углерода и марганца, используемой при производстве катанки для высокопрочной бортовой проволоки.

На основании сопоставления изменения стандартной гиббсовой энергии карбидов, образуемых хромом и марганцем при температурах 700-1200 $^{\circ}C$, 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 1,83мм, произведенной прямым волочением из термомеханически обработанной катанки диаметром 5,5 мм стали 90, расслоение металла полностью устраняется при снижении максимального допустимого содержания углерода (на 0,02%) и марганца (на 0,25%) и дополнительном введении в сталь хрома в количестве ~ 0,23% .

1. *Toshimi T.* Microstructure control and strengthening of steel cord // *Ferrum*. - 2006. 11. №12. P.791-797.
2. Э. Гудремон. Специальные стали. Пер. с нем. Изд. 2-е сокр. и перераб. Т.П, М.: Металлургия, 1966. –С.519.
3. *Исследование кинетики фазовых превращений в высокоуглеродистой стали, легированной хромом/* О.В.Луценко, М.Ф.Евсюков, В.А.Луценко// *Металлофизика и новейшие технологии*. -2008. Том 30, С.721-725.
4. *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.
5. *Влияние термомеханической обработки на структуру и свойства высокоуглеродистой катанки /* О.В.Луценко, А.М.Нестеренко, В.Г.Черниченко и др.// *Обработка материалов давлением*. – 2010.-№4 (25).-С 182-186.
6. *Уикс К.Е., Блок Ф.Е.* Термодинамические свойства 65 элементов, их оксидов, карбидов и нитридов. М. Металлургия. – 1965. – 240с.

*Статья рекомендована к печати
канд.техн.наук А.И.Бабаченко*

О.В.Луценко, В.Г.Черніченко В.А.Луценко

Вплив хімічного складу термомеханічно обробленої катанки на властивості високоміцного бортового дроту

Метою роботи є вдосконалення хімічного складу термомеханічно обробленої високовуглецевої катанки для забезпечення формування необхідних якісних характеристик у високоміцному бортовому дроті. Показано, що при скручуванні дроту діаметром 1,83 мм, виготовленого прямим волочінням з термомеханічно обробленої катанки діаметром 5,5 мм сталі 90, розшарування металу повністю усувається при зниженні максимально дозведеного вмісту вуглецю (на 0,02%) та марганцю (на 0,25%) і додатковому введенні у сталь хрому у кількості близько 0,23%.