



It is shown that as a result of introduction in flow of the mill 150 of RUP «BMZ» of new configuration of finishing train of block construction with system of interblock control of semi-finished rolled products temperature the qualitative characteristics output production have been improved.

В. А. ЛУЦЕНКО, ИЧМ НАН Украины,
П. А. БОБКОВ, О. М. КИРИЛЕНКО, В. И. ГРИЦАЕНКО, РУП «БМЗ»,
О. В. ЛУЦЕНКО, ИЧМ НАН Украины

УДК 669.

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОМЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПОТОКЕ ВЫСОКОСКОРОСТНОГО ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА НА КАЧЕСТВЕННЫЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ КАТАНКИ

На существующих высокоскоростных проволочных станах вследствие разогрева за счет выделения тепла пластической деформации температура раската повышается в процессе прокатки, в результате температура конца прокатки находится в пределах 1000–1100 °С, т. е. температура конца прокатки, являясь одним из важнейших параметров, определяющих качество катанки, не участвует в формировании механических свойств и структуры в готовом прокате. Поэтому требуется регулирование температурного режима прокатки и управление температурой конца прокатки осуществлять в широких пределах – от 750 до 1100 °С. В этом случае появляется возможность осуществления термомеханической обработки с контролируемой прокаткой и охлаждением, что позволит улучшить качественные характеристики катанки и повысить технологичность ее на последующем метизном переделе.

В конце 2006 г. на РУП «БМЗ» была проведена модернизация хвостовой части стана 150. Схема модернизированной хвостовой части проволочного стана приведена на рис. 1.

После модернизации новое оборудование позволяет при производстве проката использовать

схему комбинированной термомеханической обработки (КТМО) с контролируемой прокаткой и контролируемым охлаждением, включающей линию предварительного охлаждения подката перед блоком с секцией водяного охлаждения раската (до температур 900–950 °С); десятиклетевой чистовой блок (скорость прокатки до 100 м/с), линию водяного контролируемого охлаждения (до среднemasовых температур 850–950 °С); четырехклетевой редуционно-калибрующий блок (РКБ) фирмы «Морган» (скорость прокатки до 110 м/с), после которого катанка транспортируется через линию окончательного водяного контролируемого охлаждения, профилемер и виткоукладчик на роликовый транспортер, где осуществляется регулируемое охлаждение воздухом (от 1 до 20 °С/с) с целью получения необходимых свойств в готовой продукции.

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 содержа-

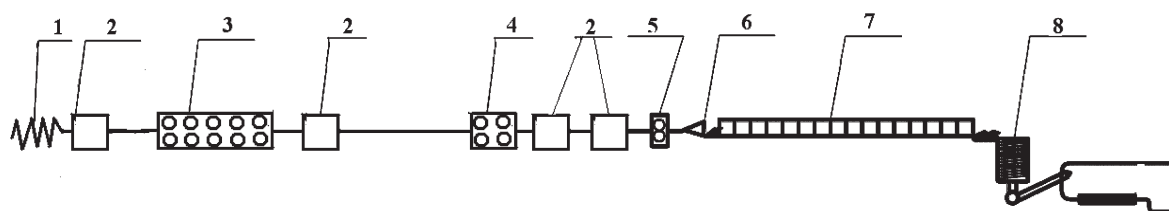


Рис. 1. Схема хвостовой части проволочного стана 150 РУП «БМЗ» для высокоскоростной комбинированной термомеханической обработки: 1 – горячая прокатка; 2 – секции регулируемого охлаждения раската; 3 – десятиклетевой чистовой блок; 4 – редуционно-калибрующий блок, 5 – трайбаппарат; 6 – виткообразователь; 7 – рольганг для воздушного охлаждения катанки; 8 – виткосборник

Таблица 1. Режимы КТМО катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 80

Сталь	Номер режима КТМО	Скорость прокатки ($V_{пр}$), м/с	Температура подката и катанки, ± 15 °С			Вентиляторы	
			перед чистовым блоком	перед РКБ	на виткоукладчике	номер	% включения
80Б	1	90	950	–	850	1–8	70
80Б	2	105	944	918	850		
80Б	3		950	920	930		
80БВ			945	917	930		

ния 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.

Цель работы – исследовать влияние режимов термомеханической обработки на структуру и свойства высокоуглеродистой катанки различного химического состава. При выполнении работы в качестве исследуемого материала использовали катанку диаметром 5,5 мм из высокоуглеродистой стали с химическим составом, соответствующим [2] и легированной хромом с пониженным содержанием марганца, для производства бортовой проволоки и металлокорда различной прочности.

С учетом ранее изученной кинетики распада аустенита высокоуглеродистой стали [3] в потоке высокоскоростного проволочного стана при скорости 105 м/с произведена катанка диаметром 5,5 мм из стали, легированной хромом и с пониженным содержанием марганца (80БВ), которую по режиму 3 (табл. 1) подвергали КТМО с контролируемой прокаткой и охлаждением. Охлаждение воздухом производили со скоростью не менее 15 °С/с, при этом скорость транспортирования витков ($V_{тр}$) зависит от скорости прокатки ($V_{пр}$) и должна соответствовать $V_{тр} = 12 \cdot 10^{-3} V_{пр}$. Катанку с нормативным [2] химическим составом из стали 80Б обрабатывали по режимам 1, 2 и 3.

Средние значения химического состава, механических свойств, глубины обезуглероженного слоя и параметры микроструктуры катанки стали марки 80, подвергнутой различным режимам КТМО, а также требования различных нормативных документов, предъявляемые к ней, приведены в табл. 2.

Из таблицы видно, что предъявляемые на РУП «БМЗ» требования к высокоуглеродистой катанке по [2] соответствуют зарубежным аналогам и более жесткие в сравнении с требованиями [4], которые используются СЗАО «Молдавский металлургический завод» для рынка СНГ и дальнего зарубежья.

Анализ механических свойств показал, что катанка диаметром 5,5 мм из высокоуглеродистой стали, подвергнутой КТМО, соответствует требованиям [2] при любой схеме обработки. Однако высокоскоростная КТМО высокоуглеродистой ка-

танки при использовании РКБ с контролируемой прокаткой и охлаждением обеспечивает при общем уменьшении разброса свойств снижение среднего значения предела прочности на 15–20 Н/мм².

Известно [5], что если металл подвергать последеформационным выдержкам при температурах немного ниже температуры конца горячей деформации, то в нем могут протекать процессы метадинамической рекристаллизации, статической полигонизации или статической (повторной) рекристаллизации, при которых избыточная плотность дислокаций будет ликвидирована в результате миграции большеугловых границ. Микроструктурный анализ выявил, что в катанке 80Б, изготовленной с использованием РКБ (режим 2) и без него (режим 1), величина действительного зерна увеличивается до № 6–10, а количество перлита 1-го балла снижается до 80%, что и приводит к снижению прочностных свойств (табл. 2).

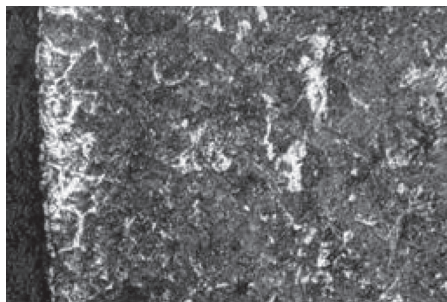
В катанке, дополнительно легированной хромом 80БВ, предел прочности снизился и составил в среднем 1123 Н/мм², что обусловлено пониженным содержанием в стали марганца. Это приближает выполнение цели требований нормативной документации [2] по пределу прочности $\sigma_B = 1125$ Н/мм².

Основу микроструктуры сталей 80Б и 80БВ, подвергнутых КТМО по режиму 3, составляет сорбитообразный перлит более 90%, структурно свободный цементит, и промежуточные структуры отсутствуют (рис. 2). Среднее межпластиночное расстояние перлита составляло для стали 80Б – 0,16 мкм, для стали 80БВ – 0,12 мкм при толщине цементитных пластин 0,012 и 0,008 мкм соответственно. Величина действительного зерна уменьшается с № 7–10 (80Б) до № 8–10 (80БВ). При легировании стали хромом происходит формирование легированного цементита и повышение дисперсности перлита, снижение содержания марганца и углерода приводит к уменьшению дислокационной насыщенности ферритной матрицы перлита, обеспечивая устойчивость металла (бортовой проволоки) к расслоению после скручивания, что подтверждается ранее проведенными исследованиями [6].

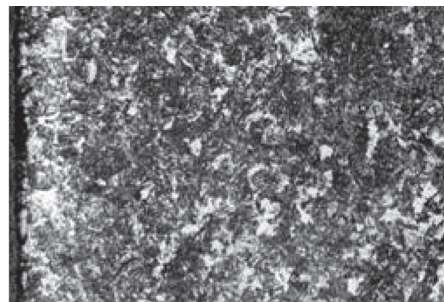
При прочих равных условиях основным фактором, влияющим на формирование поверхностных структур, является режим КТМО, при этом

Таблица 2. Химический состав, механические свойства и микроструктура катанки диаметром 5,5мм из стали марки 80, обработанной по различным режимам КТМО, и требования НД, предъявляемые к ней

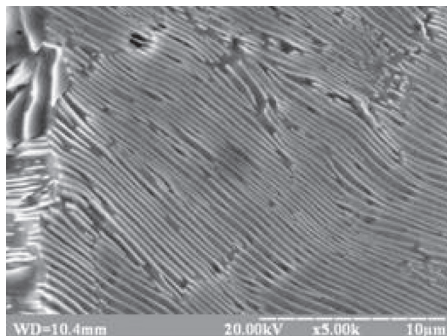
Средние значения параметров					Требования НД			
					РУП «БМЗ»	СЗАО «ММЗ»	зарубежные фирмы, потребляющие катанку	
параметр	без РКБ 80Б (режим 1)	с использованием РКБ			ЗТУ 840-03-2006	ТУ У 14-4-470-2000	Good Year I. M 180 E 17.12.04	Pirelli N.02B.002 N 18. V.001 N 02. B.002 Michelin FM 00005
		80Б (режим 2)	80Б (режим 3)	80БВ (режим 3)				
C	0,808	0,828	0,81	0,807	0,80–0,85	0,80–0,84	0,82±0,02	0,80–0,84
Mn	0,64	0,50	0,53	0,317	0,45–0,70	0,40–0,60	0,5±0,055	0,44–0,56
Si	0,25	0,202	0,20	0,22	≤0,30	0,15–0,25		≤0,30
P	0,01	0,005	0,005	0,004	≤0,016	≤0,015		≤0,015
S	0,01	0,009	0,01	0,013	≤0,016	≤0,010		≤0,015
Cr	0,05	0,029	0,034	0,218	≤0,10	≤0,10		≤0,05
Ni	0,05	0,021	0,023	0,04	≤0,12	≤0,13		≤0,05
Cu	0,03	0,032	0,035	0,08	≤0,12	≤0,20		≤0,05
Al	0,002	0,001	0,001	0,001	≤0,005	≤0,005		≤0,005
N ₂	0,0042	0,004	0,004	0,004	≤0,005	–		≤0,006
Временное сопротивление (цель), Н/мм ²	1160	1140	1145	1123	1090–1210 (1125)	≤1250	1100–1200 (1150)	1050–1190 (1120)
Относительное удлинение, %	14,2	14,4	14,8	15,1	≥10	≥8	–	–
Относительное сужение, %	32,98	34,2	37,5	40,2	≥30	≥27	32–48 (40)	≥38
Количество перлита 1-го балла, %	85	80	90	90		не менее 50		
Размер действительного зерна	№ 7–11	№ 6–10	№ 7–10	№ 8–10	не норм.	не норм.	не норм.	≥6
Перлит	50	30	10		1–2 балл	1 балл ≥50%		1 балл ≥80%
Мартенсит	не допускается	не допускается			не допускается	не допускается	–	не допускается
Цементит	не замкнутый	не замкнутый			не замкнутый		–	до типа Б
Глубина обезуглероженного слоя, max, мм (%)	0,10	0,10	0,07	0,07	0,10	max (2)		max 2,5%



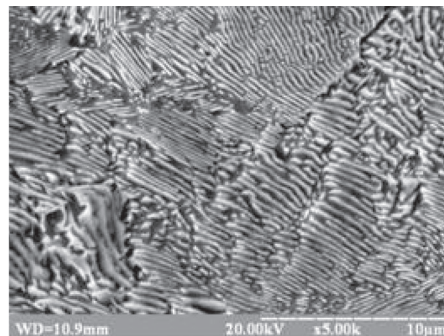
а



б



в



з

Рис. 2. Микроструктура поверхности (а, б – х500) и центра (в, з) катанки диаметром 5,5 мм из сталей 80Б (а, в) и 80БВ (б, з), подвергнутых КТМО по режиму 3

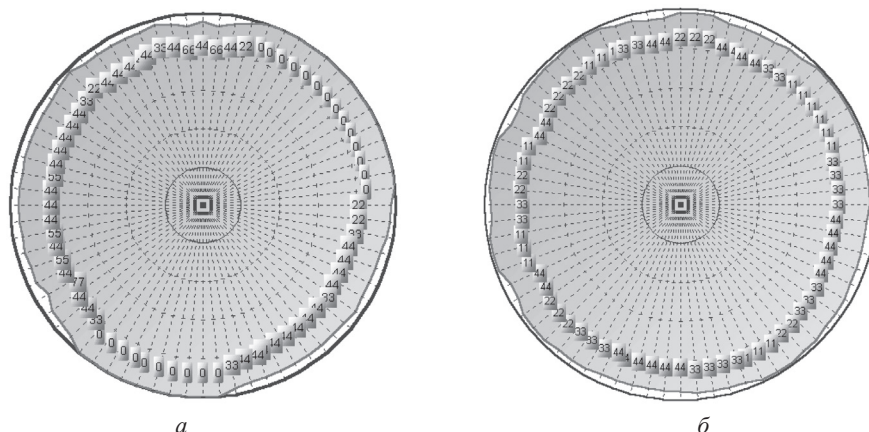


Рис. 3. Распределение глубины обезуглероженного слоя (цифры у соответствующих экспериментальных точек показывают глубину локального обезуглероживания, мм $\times 10^3$) по периметру углеродистой катанки диаметром 5,5 мм стали 80Б, подвергнутой КТМО по режимам 1 (а) и 3 (б)

глубина распространения структур, формально определяющих частичное обезуглероживание катанки, зависит от температуры самоотпуска [7] и в основном формируется по периметру катанки неравномерно (рис. 3, а).

Распределение видимого обезуглероженного слоя по периметру катанки, изготовленной с использованием РКБ, равномерно (рис. 3, б) и его глубина уменьшается с повышением температуры на виткоукладчике (самоотпуска) при среднестатистическом значении от 0,10 мм (850 °С) до 0,07 мм (930 °С).

В структуре раската после КТМО при температурах выше A_1 наиболее полно проходят процессы повторной рекристаллизации [8], при которой рост аустенитного зерна обуславливает снижение диффузии углерода и уменьшение видимого обезуглероженного слоя, при этом контролируемое охлаждение обеспечивает равномерное распределение его в поверхности катанки по периметру. В поверхностных слоях катанки происходит образование эвтектоида с тонкими пластинами и мелкими глобулями цементита (см. рис. 2, а, б). Катанка с такой структурой проявляет структурную наследственность, что при скоростном воло-

чении практически исключает образование закалочных структур на ее поверхности.

Выводы

1. В результате внедрения в потоке проволочного стана 150 РУП «БМЗ» новой компоновки чистой группы клетей блочной конструкции с системой межблочного контроля температуры подката повысились качественные характеристики выпускаемой продукции.

2. Использование в хвостовой части прокатной линии редуционно-калибрующего блока при производстве высокоуглеродистой катанки, подвергнутой КТМО с контролируемой прокаткой и охлаждением, позволило снизить разброс механических свойств, уменьшить глубину обезуглероженного слоя с равномерным распределением его в поверхности катанки по периметру.

3. При легировании стали хромом происходит повышение дисперсности перлита, а снижение содержания марганца приводит к уменьшению дислокационной насыщенности ферритной матрицы перлита, обеспечивая устойчивость металла к расслоению после скручивания, что является одним из достоинств такой катанки, соответствующей лучшим зарубежным аналогам.

Литература

1. T o s h i m i Т. Microstructure control and strengthening of steel cord // Ferrum. 2006. Vol. 11. № 12. P. 791–797.
2. ЗТУ 840-03-2006 «Катанка стальная сорбитизированная для металлокорда, бортовой проволоки и проволоки для рукавов высокого давления». РУП «БМЗ». Изменение 5. 2007.
3. Исследование кинетики фазовых превращений в высокоуглеродистой стали, легированной хромом / О. В. Луценко, М. Ф. Евсюков, В. А. Луценко // Металлофизика и новейшие технологии. 2008. Т. 30. С. 721–725.
4. ТУ У 14-4-470-2000 «Катанка сорбитизированная для металлокорда» Изменение 2. 2003.
5. Б е р н ш т е й н М. Л., З а й м о в с к и й В. А., К а п у т к и н а Л. М. Термомеханическая обработка стали. М.: Металлургия, 1983.
6. 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.
7. Глубина обезуглероженного слоя на углеродистой катанке различных заводов-изготовителей / В. В. Парусов, В. А. Луценко, А. Б. Сычков и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. Дн-ск. 2003. № 5. С. 61–64.
8. Особенности термомеханической обработки катанки в потоке стана 150 / В. А. Луценко, В. В. Парусов, Н. В. Андрианов и др. // Сталь. 2004. № 10. С. 68–70.