

## **РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ДЕФОРМАЦИОННО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ В ПОТОКЕ СОВРЕМЕННОГО ПРОВОЛОЧНОГО СТАНА**

ЕГОРОВ А.Н. (МакМК), ИВАЩЕНКО В.М. (ДонГТУ)

*Приводятся результаты деформационно-термической обработки катанки из углеродистых сталей в потоке прокатки на современном высокоскоростном стане. Катанка по микроструктуре, механическим свойствам и их стабильности удовлетворяет требованиям мировых стандартов.*

Последнее время, во всем мире, металлопрокату предъявляются все более жесткие требования. Развития рыночных отношений в сфере производства и реализации металлопродукции характеризуется опережающим ростом требований к улучшению качества при снижении себестоимости.

Одним из традиционных способов улучшения комплекса свойств металлопроката является термическая обработка. Однако она несет значительные материальные и энергетические затраты, что ведет к увеличению себестоимости конечного продукта.

Многочисленными исследованиями установлено, что наиболее рациональна деформационно-термическая обработка в потоке стана, так как при этом упрощается технология, не требуются промежуточные операции, используется тепло деформационного нагрева и, что еще важно, достигаются намного лучшие свойства металла по сравнению с полученными после термической обработки с отдельного нагрева. Последнее обстоятельство служит подтверждением тому, что пластическая деформация, проведенная по регламентированным режимам, — мощный фактор воздействия на структуру металла и в сочетании с фазовыми превращениями при термической обработке приводит к созданию оптимального его строения. В ряде случаев при этом может быть реализован эффект термомеханической обработки и получен уникальный комплекс свойств, характеризующийся одновременным повышением сопротивления пластической деформации и хрупкому разрушению [1, 2].

Новый мелкосортно-проволочный стан 150 МакМК по своим техническим характеристикам и возможностям является уникальным. Максимальная скорость прокатки — 120 м/с. Стан снабжен участком предварительного охлаждения перед чистовым блоком клетей, линиями для регулируемого двухстадийного охлаждения проката, имеется две клетки для осуществления низкотемпературной контролируемой прокатки, оснащен автоматизированными системами управления прокаткой и слежения за раскатом, а также локальными системами автоматического регулирования и управления технологическими агрегатами и механизмами.

При обычной высокотемпературной прокатке в аустенитной области на современных станах снижаются нагрузки в чистовом блоке клетей, однако, после рекристаллизации получают крупные зерна аустенита, фиксируемые на участке водяного охлаждения. После структурных превращений зерна феррита и перлита также крупные, перлит имеет увеличенное межпластиночное расстояние и толщину цементитных пластин.

В результате деформационно-термической обработки высоко- и среднеуглеродистых сталей уменьшается размер действительного зерна, межпластиночное расстояние и толщина цементитных пластин, которые разрушаются при холодном во-

лочении. Феррит равномерно распределен по сечению катанки и располагается по границам перлитных зерен.

При исследованиях, проведенных на катанке из высоко и среднеуглеродистых марках стали, температуру металла перед чистовым блоком клетей снижали с 1000°C до 800°C. Воздушное охлаждение витков катанки проводили по двум режимам: замедленному — под крышками теплоизолирующего тоннеля, при выключенных вентиляторах принудительного воздушного охлаждения и ускоренному — крышки теплоизолирующего тоннеля открыты, все вентиляторы включены.

Так, при замедленном охлаждении, во всех случаях микроструктура катанки состояла из перлита и небольшого количества феррита в виде разорванной сетки по границам бывших аустенитных зерен. Структура катанки равномерна по всему сечению (рисунок 1). Количество сорбитообразного перлита составляло 20–30%, остальное — скрытопластинчатый перлит и небольшое количество мелко- и среднепластинчатого. Межпластиночное расстояние, определенное методом случайных секущих, достигло 0,2 мкм.

С уменьшением температуры подката перед чистовым блоком клетей уменьшается на 6–7% количество структурно-свободного феррита, количество сорбитообразного перлита в структуре несколько увеличивается. Размер перлитных зерен уменьшается до 8–9 номера. Это приводит к увеличению прочностных характеристик при сохранении пластичности катанки.

В таблице 1 приведены механические свойства катанки из стали 70, прокатанной по различным режимам с дальнейшим замедленным охлаждением под крышками теплоизолирующего участка.

**Таблица 1** — Влияние температуры металла перед чистовым блоком клетей на механические свойства катанки диаметром 6,5 мм из стали 70

Температура металла перед чистовым блоком клетей, °С	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>		Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>		Относительное удлинение $\delta$ , %		Относительное сужение $\psi$ , %		Показатель пластичности
	$\bar{X}$	$S$	$\bar{X}$	$S$	$\bar{X}$	$S$	$\bar{X}$	$S$	
1000	877	41	743	47	15,8	1,1	36,1	3,1	0,153
950	901	35	764	31	15,8	1,3	32,4	1,7	0,152
900	900	25	754	25	14,6	1,3	31,4	3,6	0,162
850	926	31	762	33	14,7	1,1	34,4	3,1	0,175
800	948	30	774	32	14,6	1,1	33,2	3,1	0,183

Примечание.  $\bar{X}$  — среднеарифметическое значение,  $S$  — среднеквадратичное отклонение.

Понижение температуры металла перед чистовым блоком клетей с 1000°C до 800°C в связи с измельчением зерна приводит к увеличению временного сопротивления разрыву и предела текучести соответственно на 70 и 30 Н/мм<sup>2</sup>. Сравнение  $\sigma_b$  и  $\sigma_t$ , при 1000°C и 800°C, с помощью критерия Стьюдента показало, что различие прочностных характеристик статистически значимо. Различие среднеарифметических величин  $\delta$  и  $\psi$  несущественно. Обезуглероженность поверхности катанки, средняя по пяти измерениям в одном сечении, была равна 1,1–1,2%. Количество окалины находилось в пределах 4–5 кг/т.

Исследования, выполненные МакМК совместно с ИЧМ г. Днепропетровска и метизными заводами показали что, несмотря на широкое использование показателей  $\delta$  и  $\psi$  в нормативно-технической документации для оценки пластичности катанки они недостаточно объективно оценивают способность катанки к холодному волоче-



а



б



в



г

**Рисунок 1** — Микроструктура катанки диаметром 6,5 мм из стали 70: а — поверхность; б — середина, температура металла перед блоком 1000°C; в — поверхность; г — середина, температура металла перед блоком 800°C

нию. Целесообразно применять другие критерии, например,  $\left( \frac{\sigma_B - \sigma_T}{\sigma_B} \right)$ . Чем больше это соотношение, тем выше пластические свойства катанки и способность ее деформироваться без разрушения в холодном состоянии. Как видно из таблицы 1, при по-

нижении температуры подката указанное выше соотношение возрастает, что соответствует изменению структурных параметров в катанке. Суммарное обжатие при волочении до разрушения составило 96,9%.

При прокатке по всем опытным режимам с замедленным воздушным охлаждением механические свойства катанки из стали 70 удовлетворяли требованиям ГОСТ 1459-79 для рессорно-пружинной проволоки.

По ДСТУ 3683-98 на канатную катанку из стали 70 предусмотрены следующие требования по механическим свойствам:  $\sigma_b=980-1130$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\delta=9\%$ ;  $\psi=30\%$ . Из таблицы 1 видно, что данная катанка не соответствует требованиям по  $\sigma_b$ . При переработке такой катанки в проволоку для канатов это несоответствие компенсируется применением патентирования проволоки диаметром 2,4 мм.

При исследовании катанки из стали 70 температура металла перед чистовым блоком клетей составляла 1000°C, затем, раскат подстуживали форсуночным устройством до 800°C за чистовым блоком и ускоренно охлаждали на участке воздушного охлаждения интенсивным потоком воздуха, подаваемого вентиляторами.

Среднеарифметические значения механических свойств составили  $\sigma_b=1015$  Н/мм<sup>2</sup>;  $\delta=14\%$ ;  $\psi=41\%$ . Количество феррита (в виде разорванной сетки по границам зерен) находилось в пределах 1-3%, размер действительного зерна — в пределах 8-10 номера, межпластиночное расстояние — 0,17 мкм, количество окислы — 2-4 кг/т.

Таким образом, применение интенсивного охлаждения повышает прочностные характеристики и относительное сужение катанки. Количество феррита снизилось до 1-3%, уменьшилось межпластиночное расстояние и размер перлитных зерен. По всем параметрам такая катанка из стали 70 удовлетворяла требованиям ДСТУ 3683-98.

В низкоуглеродистых сталях образование  $\alpha$ -фазы обычно начинается на границах аустенитных зерен, поэтому измельчение зерен аустенита, достигаемое деформационно-термической обработкой, имеет при этом решающее значение. Вследствие увеличения границ зерен увеличивается скорость образования зародышей на богатых дефектами границах зерен аустенита, и на выходе из чистового блока получается мелкая структура зерен аустенита, фиксируемая быстрым охлаждением на первой стадии водяного охлаждения. В готовой катанке измельчение ферритных зерен повышает ее пластические и прочностные свойства.

Исследования также проводили на катанке диаметром 6,5 мм из стали 1, температуру металла перед чистовым блоком клетей снижали с 1000°C до 870°C с последующим замедленным охлаждением под крышками термоизолирующего тоннеля участка воздушного охлаждения.

Как показали исследования, при интенсивном воздушном охлаждении катанки из низкоуглеродистой стали выделяющийся феррит перенасыщен углеродом. Это снижает пластичность катанки при волочении. Поэтому при производстве низкоуглеродистой катанки применяется замедленное охлаждение, при котором углерод полностью выделяется в виде цементитных пластин в процессе образования перлитных участков.

Установлено, что у катанки, прокатанной в чистовом блоке клетей при температурах 860-880°C и последующим замедленным воздушным охлаждением, формируется мелкозернистая полиэдрическая структура феррита с небольшим количеством сорбитообразного и тонкопластинчатого перлита. Величина ферритных зерен в среднем составляла 9-10 номеров, т.е. размером 13-14 мкм. Перлит выде-

лялся в виде мелких компактных зерен, равномерно распределенных по границам ферритных зерен и сечению катанки. Наблюдались отдельные компактные зерна структурно-свободного цементита размером 1А балла. Полосчатость в расположении перлита и структурно свободного цементита отсутствовала, за исключением участков, расположенных непосредственно около строчек сульфидных включений. Такая структура обеспечивает высокий комплекс механических свойств готовой катанки (таблица 2).

По ГОСТ 30136-95 для низкоуглеродистой катанки из стали 1, предназначенной для перетяжки в проволоку, временное сопротивление разрыву не должно быть больше 470 Н/мм<sup>2</sup> и относительное сужение не должно быть меньше 66%. Статистические расчеты показали, что вероятность получения такой катанки составляет 100%, т.е. катанка полностью соответствует требованиям стандарта. Показатель пластичности катанки  $\left(\frac{\sigma_B - \sigma_T}{\sigma_B}\right)$  в 1,4-1,7 раза больше, чем у катанки из стали 70, что свидетельствует о высокой ее способности к холодному волочению.

**Таблица 2** — Механические свойства катанки диаметром 6,5 мм из стали 1, прокатанной при различных температурах подката перед чистовым блоком клетей

Температура металла перед чистовым блоком клетей, °С	Временное сопротивление разрыву, Н/мм <sup>2</sup>		Предел текучести, Н/мм <sup>2</sup>		Относительное удлинение δ, %		Относительное сужение ψ, %		Показатель пластичности
	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	$\bar{X}$	S	
1000	372	7,0	271	7,0	42,0	2,0	72,0	2,5	0,261
950	358	9,6	265	5,6	42,9	1,6	72,4	0,8	0,243
870	380	7,6	280	6,5	43,5	1,7	71,8	3,1	0,288

Исследования, проведенные на Харцызском сталепроволочно-канатном заводе показали, что катанка, прокатанная при данном режиме, имеет суммарную деформацию при волочении до разрушения 98%, т.е. протягивается с диаметра 6,5 до 0,98 мм.

Внедрение технологии деформационно-термической обработки на проволочном высокоскоростном стане 150 МакМК, предусматривающей проведение регламентированной прокатки в чистовом блоке клетей при температурах 860-880°С для низкоуглеродистых и 800-820°С для средне- и высоколегированных сталей в сочетании с регулируемым двухстадийным охлаждением, позволит получать катанку (проволоку) по микроструктуре, механическим свойствам и их стабильности по длине мотков и в партии металла удовлетворяющей мировому уровню. Вместе с тем это позволит исключить необходимость проведения энергоемких видов термической обработки на метизных заводах.

### Список литературы

1. Бернштейн М.Л., Ефименко С.П. Термическая и термомеханическая обработка проката конструкционных сталей // Сталь, 1985. — № 1. — С. 67-72.
2. Горбань А.А., Колосков В.Н., Евтеев Е.А. и др. Новая технология двухстадийного охлаждения проката на стане 150 после реконструкции // Сталь, 1997. — № 10. — С. 48-50.

© Егоров А.Н., Иващенко В.М., 1999.