

## Освоение технологии термомеханической контролируемой прокатки на стане 1700

Разработана технология термомеханической контролируемой прокатки горячекатаной рулонной стали. Произведена опытная партия. В промышленных условиях доказана возможность производства проката категорий выше S355 на существующем оборудовании. Намечены перспективы дальнейшего развития данной технологии на стане 1700 без коренного изменения состава оборудования.

**Ключевые слова:** термомеханическая контролируемая прокатка, горячекатаные рулоны, микролегирование, ускоренное охлаждение.

Процесс термомеханической контролируемой прокатки «ТМСП» получил развитие из процесса «контролируемой прокатки». Методом ТМСП производят мелкозернистую сталь, путем сочетания химического состава и совокупности способов контроля процессов изготовления, начиная от нагрева сляба, до охлаждения после прокатки в определенных для каждого химического состава диапазонах температур, обеспечивая, таким образом, необходимый комплекс свойств.

Технология получения проката способом «ТМСП» обладает определенными преимуществами по сравнению с технологией классической «контролируемой прокатки» и конечно же, технологией термической обработки, в том числе:

- лучшей свариваемостью, за счет обеспечения комплекса свойств, при более низком углеродном эквиваленте;
- высокой прочностью в сочетании с высокой пластичностью;
- энергосбережением за счет более низких температур нагрева металла под прокатку, более высоких температур чистовой прокатки и применением ускоренного охлаждения.

Прокат по технологии термомеханической контролируемой прокатки на непрерывном широкополосном стане 1700 горячей прокатки «ММК им. Ильича» ранее не производился.

Комплекс оборудования стана 1700 состоит из: трех методических нагревательных печей толкательного типа, черновой группы, состоящей из чернового окалиноломателя дуо, 5 клетей кварто, четыре из которых универсальные, чистовой группы из пяти клетей кварто, 14-ти секционных установок ускорен-

ного охлаждения. Между черновой и чистовой группой клетей установлены теплосохраниющие экраны. Стан оборудован тремя моталками. Оборудование оснащено автоматизированными системами управления технологическим процессом (АСУ ТП). Основной производимый станом сортament ограничен производством продукции с временным сопротивлением разрыву не более 590 МПа.

Схема расположения основного оборудования стана приведена на рис. 1.

Комплекс имеющегося оборудования с существующими системами контроля технологии полностью обеспечивает условия для реализации «ТМСП» на стане 1700. Однако продукция по данной технологии с соответствующей аттестацией по требованиям нормативных документов ранее не производилась.

Отличием технических требований стандартов EN 10149-2, EN 10025-4 для производства горячекатаной продукции в состоянии после термомеханической прокатки, по сравнению с требованиями EN 10025-2 для состояния после нормализующей или горячекатаной прокатки, является более низкий углеродный эквивалент и, соответственно, содержание углерода и марганца, допустимо более высокое содержание измельчающих зерен и упрочняющих микролегирующих элементов, и, соответственно, более высокие требования к энергии удара.

Сравнение показателей продукции, производимой по различным технологическим режимам на примере стали марки S355 толщиной  $\leq 16$  мм, приведено в табл.1.

Освоение технологии «ТМСП» производили на сортаменте горячекатаных рулонов размерами 3,0x1270 мм. В качестве освоения базовой технологии

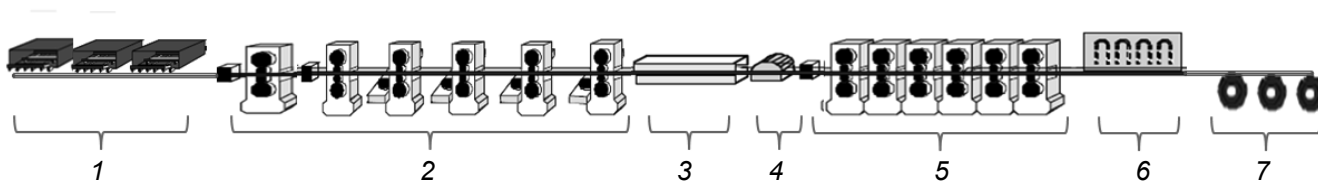


Рис. 1. Схема расположения основного оборудования стана 1700: 1 – участок методических печей; 2 – черновая группа клетей; 3 – теплосохраниющие экраны; 4 – летучие ножницы; 5 – чистовая группа клетей; 6 – установка ускоренного охлаждения; 7 – моталки

## Сравнение показателей продукции производимой по различным технологическим режимам

НД / Элемент, %	Технология*	Марка стали	Показатели						
			С max, %	Mn max, %	Nb max, %	V max, %	Ti max, %	Сз max	KV <sub>-20</sub> min, Дж
EN 10025-2	AR; N <sup>2</sup>	S355J2	0,20	1,60	- <sup>1</sup>	- <sup>1</sup>	- <sup>1</sup>	0,45	27
EN 10025-4	TMCP	S355ML	0,14	1,60	0,05	0,10	0,05	0,39	47
EN 10149-2	TMCP	S355MC	0,12	1,50	0,09	0,20	0,15	-	-

\* AR – горячекатаное состояние; N – состояние после нормализующей прокатки; TMCP – состояние после термомеханической контролируемой прокатки; 1 – допускается использование элементов; 2 – преимущественное состояние проката по данному стандарту

Таблица 2

## Химический состав для базовой стали марки S355MC

Содержание химических элементов, %													
C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	Al <sub>общ</sub>	Ti	Nb	N2	V	Mo
0,08-0,12	1,30-1,50	0,15-0,30	≤ 0,010	≤ 0,020	≤ 0,10	≤ 0,10	≤ 0,10	0,020-0,050	0,015-0,030	0,035-0,050	≤ 0,009	≤ 0,010	≤ 0,010

принята сталь марки S355MC по требованиям стандарта EN 10149-2.

Для обеспечения требуемых характеристик проката разработан комплексный химический состав, включающий микролегирование стали Ti и Nb (табл. 2).

Разработанная технология предусматривала нагрев в методических печах непрерывнолитых слябов после редуцирования в обжимной клетке слябинга, сечением – 135x1270 мм.

С целью обеспечения требуемой структуры и уровня свойств, разработаны следующие температурные режимы прокатки (Ткп), охлаждения и смотки (Т см) рулонов:

Сортамент	Ткп кл.№ 10, °С	Т см, °С	Режим охлаждения
3 мм	820-880	560-620	14 секций

Скорость охлаждения 108-110 °С/сек

Охлаждение производили с температуры выше точки превращения аустенита.

Температуры окончания прокатки установлены на основании расчета температур превращения Ar3 [1] для разработанного химического состава стали – 768 °С. Температура окончания прокатки в чистой клетке должна составлять не менее 820 °С (Ar3 +50 °С) – область отсутствия рекристаллизации аустенита.

Так как применимость формулы [1] по данным источника ограничена толщинами проката от 8 до 30 мм, в расчете температуры превращения использована минимальная толщина – 8 мм.

После смотки, рулоны проходили охлаждение на воздухе в течение 24 часов.

Результаты механических испытаний приведены в табл. 3.

На основании результатов механических испытаний, получены свойства горячекатаных рулонов соответствующие стали категорий S420MC и S460MC.

По результатам металлографических исследований образцов проката установлено: сульфидные включения распределены равномерно по всей толщине проката и не превышают 1 балла, микроструктура феррито-перлитная с зерном феррита 9,10 номера, полосчатостью 1 балла (рис. 2).

## Выводы

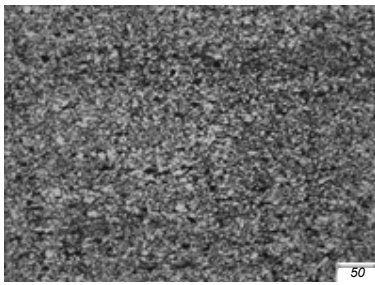
На существующем оборудовании стана 1700 «ММК «им. Ильича» реализована технология производства горячекатаных рулонов способом термомеханической прокатки с ускоренным охлаждением.

Полученные результаты подтвердили техническую возможность промышленного освоения производства горячекатаных рулонов категорий до S460MC.

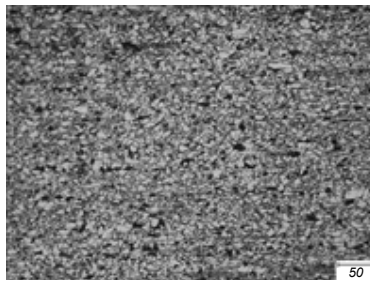
Таблица 3

## Результаты механических испытаний рулонов

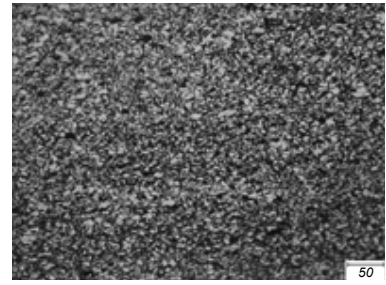
№ рулона	Механические свойства			
	предел текучести, МПа	временное сопротивление, МПа	относительное удлинение, %	изгиб по оправке
1	515	590	28	Уд
2	520	595	25	Уд
3	535	610	25	Уд
4	560	620	30	Уд
Требования EN10149-2 S355MC	≥355	430-550	23	Уд
S420MC	≥420	480-620	19	Уд
S460MC	≥460	520-670	17	Уд



поверхность

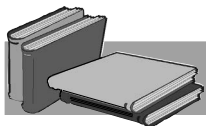


ось



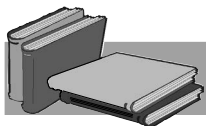
поверхность

Рис. 2. Микроструктура образца после травления, ×200



## ЛИТЕРАТУРА

1. Багмет О. А. Формирование оптимальных структур и свойств при проведении контролируемой прокатки трубных сталей, содержащих ниобий // Автореферат дис. – М.: «Графикс В», 2007. – 23 С.



## REFERENCES

1. Bagmet O. A. (2007). Formirovaniye optimal'nykh struktur i svoystv pri provedenii kontroliruemoi prokatki trubnykh staley, soderzhashchikh niobii. [Formation of optimum structures and properties during carrying out of controlled rolling of pipe steels, containing niobium]. Extended abstract of candidate's thesis. Moscow: Grafikhs, 23 p. [in Russian].

### Анотація

*Курпе О. Г., Васильченко С. Є., Негрій С. Д., Шибаніц О. М.*

**Освоєння технології термомеханічної контрольованої прокатки на стані 1700**

*Розроблено технологію термомеханічної контрольованої прокатки гарячекатаної рулонної сталі. Вироблено дослідну партію. У промислових умовах доведено можливість виробництва прокату категорій вище S355 на діючому обладнанні. Намічено перспективи подальшого розвитку даної технології на стані 1700 без корінного змінення складу обладнання.*

### Ключові слова

*Термомеханічна контрольована прокатка, гарячекатані рулони, мікролегування, прискорене охолодження.*

### Summary

*Kurpe A., Vasilchenko S., Negriy S., Shebanits O.*

**The implementation of the thermomechanical controlled rolling technology in rolling mill 1700**

*The technology of thermomechanical controlled rolling of hot-rolled steel coils has been developed. Test lot was produced. It was proved that it is possible to produce rolled products of categories above S355 under production-line conditions using the available equipment. The perspectives of further development of this technology on the rolling mill 1700 were lined out without a fundamental change of the equipment composition.*

### Keywords

*Thermomechanical controlled rolling, hot-rolled coils, microalloying, accelerated cooling.*

Поступила 25.11.16