



*It is shown that decrease of stacking density of rolled wire coils on the conveyer of roller "Stelmor" due to increase of speed of the roller sections at the 1<sup>st</sup> stage of cooling till the maximum value results in stability of the strength characteristics.*

В. А. МАТОЧКИН, О. М. КИРИЛЕНКО, Н. И. АНЕЛЬКИН,  
В. И. ЩЕРБАКОВ, В. В. САВИНКОВ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

## ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ФОРМИРОВАНИЯ ВИТКОВ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА КАТАНКИ ПРИ ВЫСОКОСКОРОСТНОЙ ПРОКАТКЕ

Процесс Стелмора, применяемый на большинстве современных проволочных станков, включает в себя охлаждение катанки водой после выхода из чистового блока (1-я стадия) и воздухом в разложенных витках на транспортере (2-я стадия).

На участке водяного охлаждения охлаждающие секции расположены вдоль проводящей трассы на определенном расстоянии друг от друга с промежутками для выравнивания температуры по сечению катанки. После 1-й стадии охлаждения температура катанки на виткообразователе составляет 750–950 °С в зависимости от марки стали. Такой режим охлаждения предотвращает в значительной мере рост измельченного в процессе деформации аустенитного зерна и делает сталь более чувствительной к регулируемому охлаждению при фазовых превращениях, происходящих на 2-й стадии охлаждения. В связи с тем что у краев транспортера объем охлаждаемого металла больше, чем в середине, с целью создания условий равномерного охлаждения по окружности витков к краям подается больше воздуха. Скорость охлаждения катанки в зоне продувки зависит от мощности вентиляторов. Интенсивное охлаждение высокоуглеродистой катанки воздушным потоком уменьшает количество дозвтектоидного феррита, выпадающего в процессе превращения. Охлажденная по способу Стелмор высокоуглеродистая катанка имеет структуру, среднюю между структурами, получаемыми воздушным и свинцовым патентированием, что позволяет в ряде случаев исключить операцию патентирования при дальнейшем переделе в сталепроволочном производстве.

Главной особенностью способа улучшения структуры катанки является непрерывное охлаждение ее с температур аустенитизации или окончания горячей деформации. С точки зрения волочения наиболее благоприятная структура обеспе-

чивается при тонкопластинчатом перлите и малом наличии феррита. Разработка режима термической обработки катанки в данной работе проводилась с учетом приближения режима охлаждения и кинетики распада аустенита к изотермическим условиям, как при патентировании в свинцовой ванне.

Проведя анализ работы стана 150 за период с ввода в эксплуатацию по показателям качественных характеристик катанки, используемой для производства кордовых конструкций в условиях РУП «БМЗ» и сравнивая с наиболее оптимальными технологиями, известными в настоящее время, было отмечено, что при существующем оборудовании основным определяющим звеном, отвечающим за физико-механические и микроструктурные свойства, является линия воздушного охлаждения.

Патентирование — разновидность отжига сталей, изотермическая обработка для получения высокопрочной канатной, пружинной проволоки. Проволоку из углеродистых сталей, содержащих от 0,45 до 0,85% углерода, нагревают в проходной печи до температуры на 150–200 °С выше  $A_{c3}$ , пропускают через свинцовую или соляную ванну с температурой 450–550 °С. При выходе из ванны проволока имеет феррито-цементитную структуру с очень малым межпластиночным расстоянием. Ее принято называть сорбитом патентирования и трооститом. Избыточный феррит или вторичный цементит не успевает образоваться и вся структура является квазиэвтектоидной. В получении высокопрочного состояния патентирование играет двоякую роль. Во-первых, благодаря ему проволока способна выдерживать большие обжатия при холодной протяжке без обрывов. Это обеспечивается структурой тонкопластинчатого перлита и отсутствием зерен избыточного феррита. Во-вторых, после холодной пластической деформации феррито-цементитная смесь, в которой межпла-

тичное расстояние еще меньше, чем после патентирования, обеспечивает сочетание высокой прочности с вязкостью при скручивании и изгибе.

Увеличение скорости охлаждения витков спирали катанки на линии Стелмор и, следовательно, исследование физико-механических и микроструктурных свойств в рамках требований действующей НТД – это основная задача данной работы.

Для проведения работы использовали сталь марок 70К и 80К с химическим составом, соответствующим требованиям ЗТУ 840-03-2006.

Нагрев заготовок сечением 125x125 мм в нагревательной печи стана 150 осуществляли согласно требованиям табл. 1 ТИ 840-ПЗ-01-2002. Первоначально прокатку заготовок на стане 150 на катанку диаметром 5,5 мм производили по схеме «заготовка-режим» по режимам, приведенным в табл. 1.

Таблица 1

Номер режима	Скорость прокатки, м/с	Температура после в/у, °С	Производительность вентиляторов, №/%	Соотношение воздуха 3-го вентилятора		Скорость Стелмора, м/с
				бок, %	центр, %	
1	80–85	855±15	1-2/80	2×40	20	0,80–0,88–0,97– 1,06–1,16
2			3-7/50			
3			1-2/80			
4			3-7/55			
			1-2/80			0,96–1,05–1,15– 1,26–1,30
			3-7/60			
			1-2/80 3/50			
			4-6/70 7/60			

Отбор проб катанки осуществляется с каждого бунта (начало и конец), а также проводится исследование равномерности механических свойств и геометрических размеров по длине бунта (начало, конец бунта по витку).

Оценку металлографической структуры катанки производили по ЗТУ 840-03-2006, дополнительно проводили оценку величины зерна (методика «Michelin») и грубопластинчатого перлита в центральной и боковой частях бунта.

Согласно плану работ, по четырем режимам было прокатано восемь заготовок плавки №36126 стали марки 70К, где изменялись производительность вентиляторов и скорость рольганга Стелмор. Результаты металлографических исследований, приведенные в таблице приложения, по величине перлитного зерна, дисперсности грубопластинчатого перлита и обезуглероженного слоя не выявили каких-либо отличий. Прочностные показатели образцов катанки бунтов, прокатанных по режиму №2, а также режима №4 (см. таблицу приложения),

наиболее стабильны и разброс предела прочности не превышает 33 Н/мм<sup>2</sup>. Однако при подтверждении данных режимов охлаждения катанки во всех случаях разброс прочностных показателей по витку бунта составлял 60–70 Н/мм<sup>2</sup>. На втором этапе изменялось соотношение потока воздуха 3-го и 4-го вентиляторов в центре конвейера и на краях, где горячие витки укладываются более плотно. Разброс предела прочности по 18 пробам составил 63 Н/мм<sup>2</sup>.

В дальнейшем была проведена прокатка восьми заготовок на катанку диаметром 5,5 мм плавки №33090 стали марки 80К с изменением скорости рольганга Стелмора с целью уменьшения количества витков на 1 пог. м, что должно было обеспечить более равномерное охлаждение катанки и стабильные физико-механические свойства по длине мотка. В процессе прокатки также изменяли температуру на виткообразователе. Режим нагрева соответствовал требованиям табл. 1 ТИ 840-ПЗ-01-2002. Режимы прокатки приведены в табл. 2.

Таблица 2. Температурно-скоростные параметры прокатки катанки диаметром 5,5 мм плавки №33090

Номер режима	Скорость прокатки, м/с	Температура после виткообразования, °С	Вентиляторы		Скорость Стелмора, м/с	Положение крышек Стелмора
			№ раб.	% вкл.		
5	85	854	1,2 3–7	80 65	1,20–1,30–,30–1,30–1,35	открыты
6	85	821	1,2 3–7	80 65	1,20–1,30–1,30–1,30–1,35	открыты
7	85	874	1,2 3–7	80 65	1,20–1,30–1,30–1,30–1,35	открыты
8	85	853	1,2 3–7	80 65	0,80–0,90–0,98–1,12–1,20	открыты

Суть эстафеты заключалась в изменении плотности укладки витков. На механические свойства было испытано 144 пробы (по 36 проб на режим). Результаты механических испытаний приведены

на рис. 1. Из рисунка видно, что наиболее приемлемый результат был получен на катанке, прокатанной по режиму №5, где разброс предела прочности составлял 46 Н/мм<sup>2</sup>.

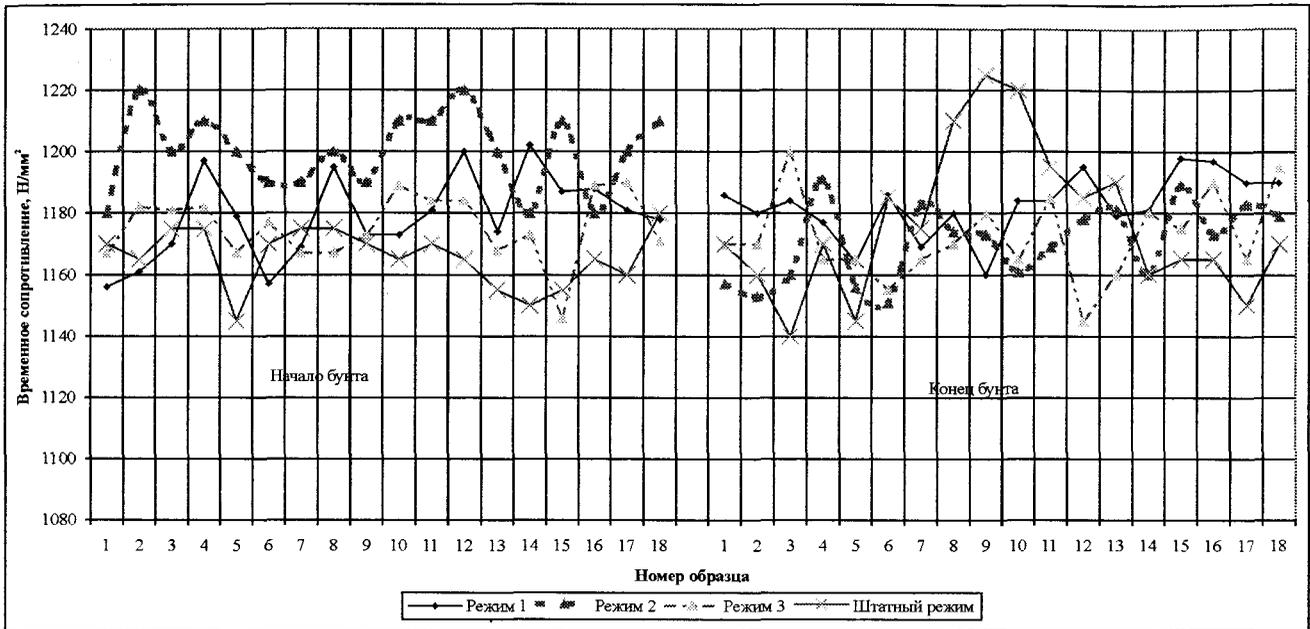


Рис. 1. Распределение временного сопротивления катанки диаметром 5,5 мм плавки №33090 стали марки 80КС по длине витка с начала и конца бунтов при различных режимах охлаждения

С целью подтверждения результатов исследования марки 80К были прокатаны по действующему и опытным режимам (табл. 3) четыре заготовки плавки №33072 стали марки 80К.

Таблица 3. Температурно-скоростные параметры прокатки катанки диаметром 5,5 мм плавки №33072

Номер режима	Скорость прокатки, м/с	Температура после виткообразования, °С	Вентиляторы		Скорость Стелмора, м/с	Положение крышек Стелмора
			№ раб.	% вкл.		
5	80	855	1,2 3-7	80 65	1,20-1,30-1,30-1,30- 1,35	открыты
Штатный режим	80	868	1,2 3-7	80 65	0,76-0,83-0,91-1,01- 1,10	открыты

Проведены сравнительные испытания (по 72 пробы на режим) механических свойств катанки по длине витка, прокатанной по опытному и штатному режимам (рис. 2). Из рисунка видно, что разбег предела прочности по длине витка катанки, прокатанной по опытному режиму, не превышал 53 Н/мм² против 85 Н/мм², прокатанной по штатному режиму.

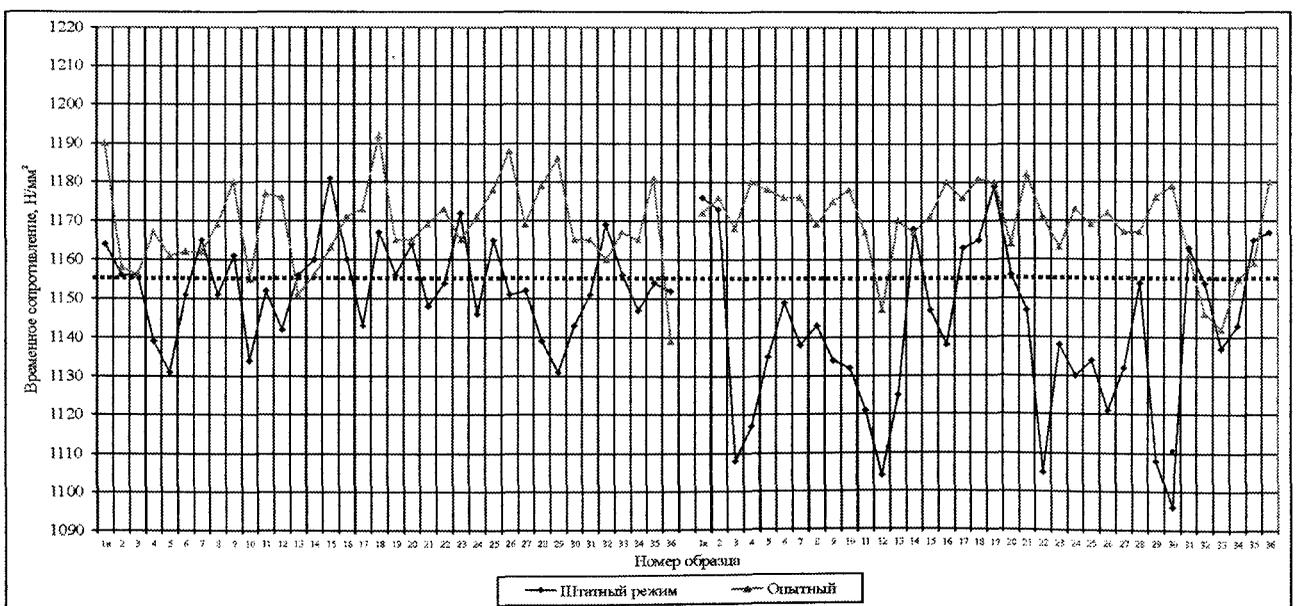


Рис. 2. Распределение временного сопротивления по длине двух витков с начала и конца бунтов плавки №33072 стали марки 80КС, прокатанных по штатному и опытному режимам

Анализ результатов показал что режим №5 наиболее подходит для получения более стабильных значений физико-механических свойств катанки диаметром 5,5 мм из кордовых марок стали.

Очевидно, что для получения стабильных прочностных свойств необходимо равномерное охлаждение катанки, что можно достичь путем уменьшения плотности укладки витков на рольганге Стелмора и увеличения мощности вентиляторов. Однако увеличение мощности вентиляторов ограничено в связи с возможным отрывом над транспортером вследствие парусности спирали катанки, что может привести к нарушению технологического процесса. Значит, возможным способом является снижение плотности укладки витков на 1 пог. м на транспортере Стелмора. При увеличении скорости 1-й секции до максимальной, равной 1,3 м/с, количество витков (плотность

витков) составляет 19 на 1 пог. м вместо 30 витков, получаемых при штатном режиме.

Плотность витков на транспортере по штатному и опытному режимам различная. Время нахождения катанки в зоне вентиляторов одинаково и составляет 37 с. Объем подаваемого воздуха заметно отличается и составляет 654 и 953,6 м<sup>3</sup>/ч на опытном режиме, а протяженность зоны воздушного охлаждения составляет 31,3 и 44,8 м соответственно.

По установленному режиму №9 были прокатаны пять заготовок плавки №33507, а для сравнения три заготовки по режиму №10, где плотность укладки витков в начальной стадии охлаждения минимальна и составляет 20 витков, а протяженность зоны воздушного охлаждения не изменяется. Распределение предела прочности по витку показано на рис. 3, 4.

Прокатка осуществлялась по режимам, приведенным в табл. 4.

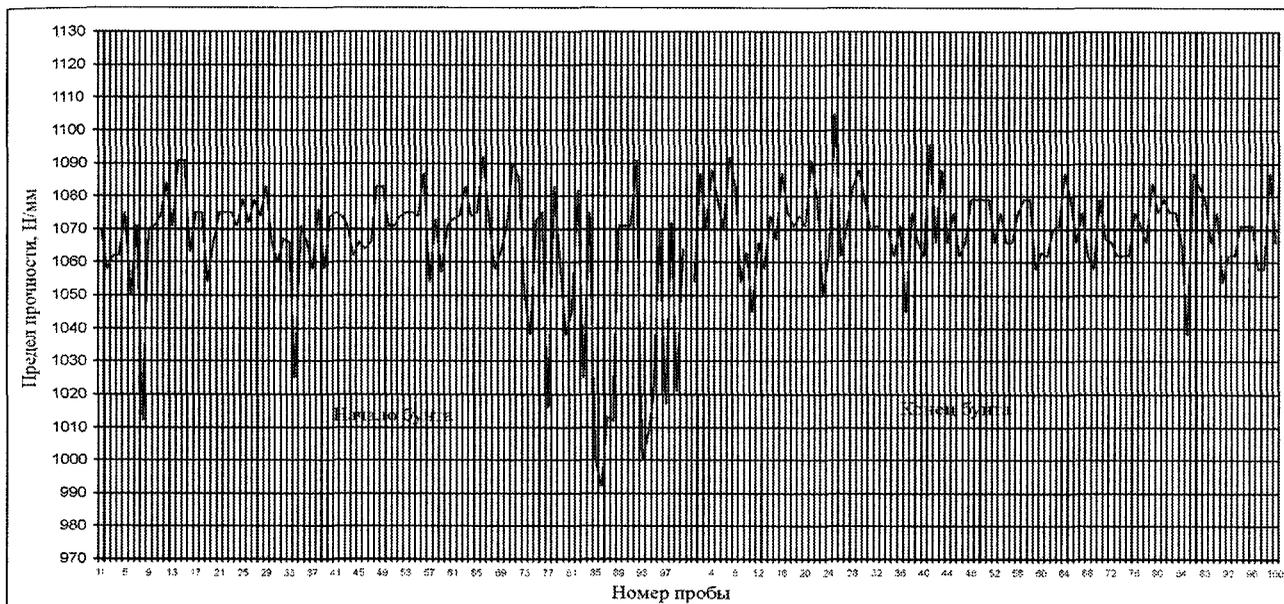


Рис. 3. Распределение предела прочности по длине 6 витков катанки плавки №33507 (температурно-скоростной режим:  $T=850$  °С; производительность вентиляторов: 1–2=80%; 3–6=65%; скорость Стелмора: 1,30–1,20–1,10–0,8 м/с)

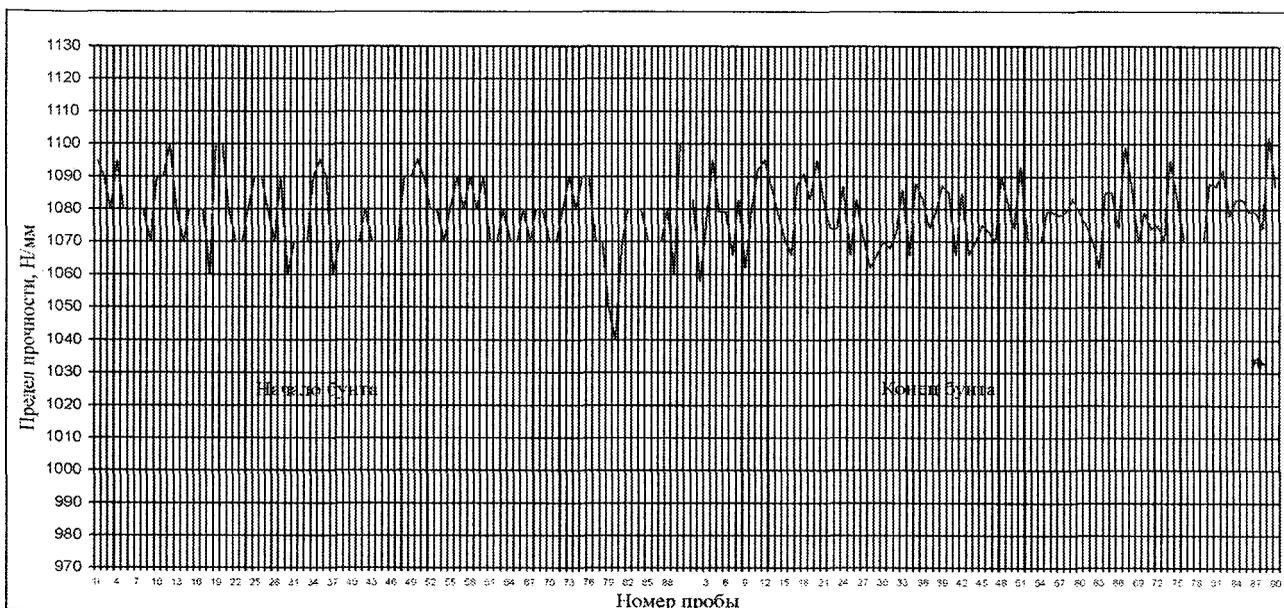


Рис. 4. Распределение предела прочности по длине 6 витков катанки плавки №33507 (температурно-скоростной режим:  $T=850$  °С; производительность вентиляторов: 1–2=80%; 3–10=65%; скорость Стелмора: 1,30–1,20–1,10–1,20–1,30 м/с)

Таблица 4. Температурно-скоростные параметры прокатки катанки диаметром 5,5 мм плавки №33507

Номер режима	Скорость прокатки, м/с	Температура после виткообразования, °С	Вентиляторы		Скорость Стелмора, м/с	Положение крышек Стелмора
			№ раб.	% вкл.		
9	85	851	1,2 3-7	80 65	1,30-1,20-1,10-1,0-0,80	открыты
10	85	851	1,2 3-10	80 65	1,30-1,20-1,15-1,00-1,30	открыты

По длине бунта с начала и конца были отобраны 200 проб длиной по 210 мм для определения временного сопротивления.

Результаты испытаний показали, что разброс предела прочности катанки, прокатанной по режиму №10, составляет 47 Н/мм<sup>2</sup> против 100 Н/мм<sup>2</sup>, прокатанной по режиму №9. Очевидно, что минимальная плотность витков по всей длине транспортера при увеличенной зоне воздушного охлаждения позволяет получать стабильные прочностные характеристики по длине витка в пределах  $\pm 25$  Н/мм<sup>2</sup>.

С целью подтверждения результатов было прокатано восемь заготовок плавки №33865 ста-

ли марки 70К, где изменялась только температура на виткообразователе в пределах 855–900 °С.

На механические свойства по длине витка было испытано 200 проб катанки. Результаты испытаний (рис. 5, 6) показали, что разброс предела прочности по 6 виткам катанки, прокатанной при температуре 855 °С, не превышает 60 Н/мм<sup>2</sup>, а при температуре 900 °С – не более 50 Н/мм<sup>2</sup>. Но в первом случае было выявлено 10 выпадов предела прочности за верхние пределы от требований ЗТУ 840-03-2006. Отметим, что среднее значение предела прочности во всех случаях составляет 1108 Н/мм<sup>2</sup>, что на 53 Н/мм<sup>2</sup> больше от номинального значения, равного 1055 Н/мм<sup>2</sup>.

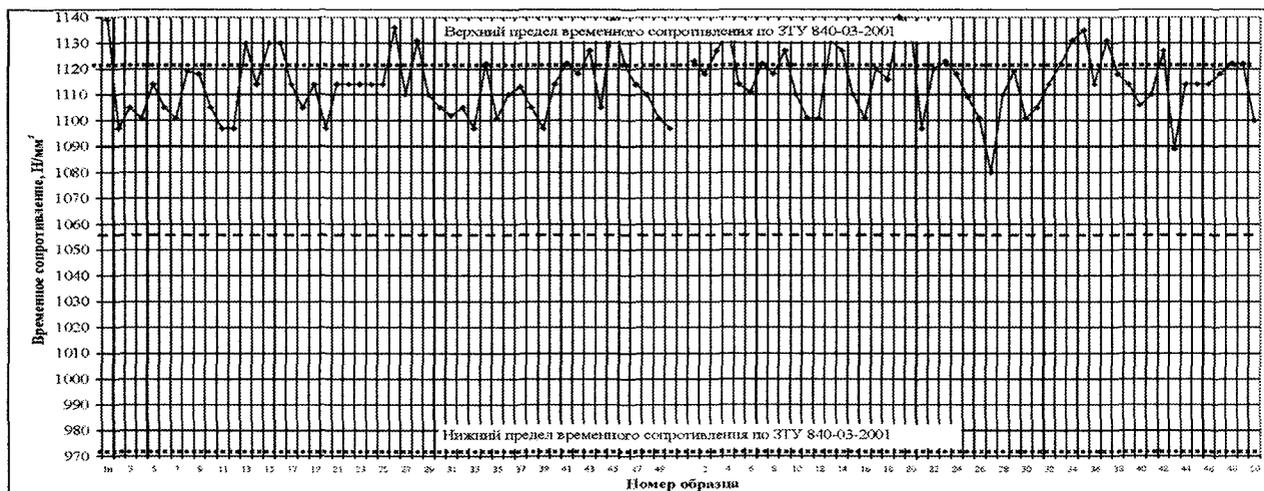


Рис. 5. Распределение предела прочности катанки по длине 4 витков с начала и конца бунта плавки №33865 стали марки 70К ( $T=855$  °С; производительность вентиляторов: 1-2=80%; 3-10=65%)

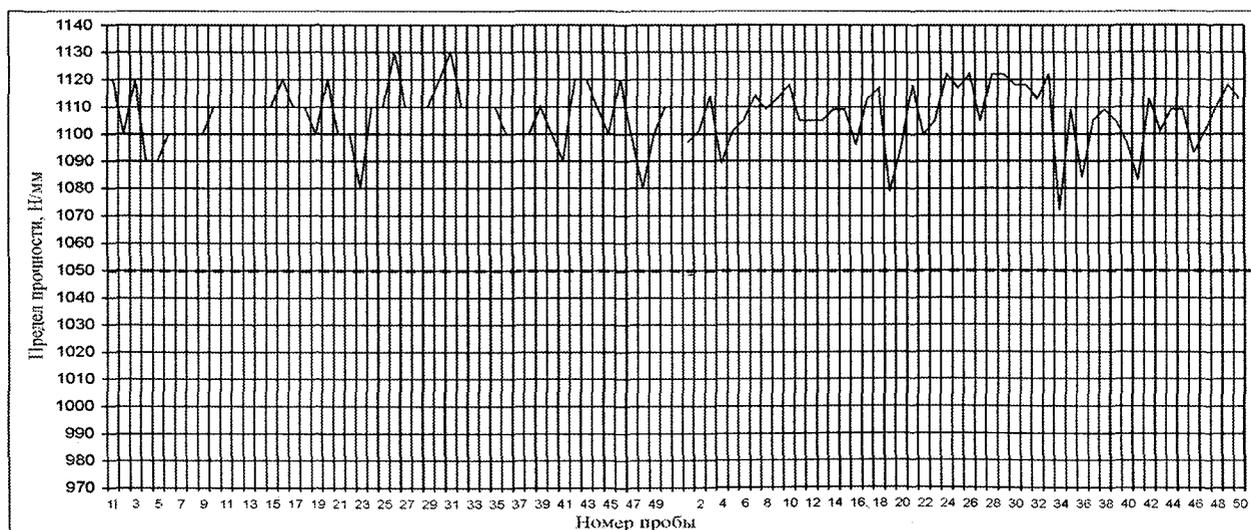


Рис. 6. Распределение предела прочности по длине витка катанки диаметром 5,5 мм плавки №33865 ( $T=900$  °С; производительность вентиляторов: 1-2=80%; 3-10=65%)

В дальнейшем было прокатано десять заготовок плавки № 33942, 34257 с различной производительностью вентиляторов (табл. 5).

Результаты испытаний показали, что разброс предела прочности катанки, прокатанной по режи-

му №11, составляет 58 Н/мм<sup>2</sup> против 72 Н/мм<sup>2</sup>, прокатанной по режиму №12. Снижение интенсивности воздушного охлаждения не приводит к улучшению стабильности прочностных свойств катанки, хотя среднее значение соответствует номинальному (1055 Н/мм<sup>2</sup>).

Таблица 5. Температурно-скоростные параметры прокатки катанки диаметром 5,5 мм плавки № 33942, 34257

Номер режима	Номер плавки	Скорость прокатки, м/с	Температура после виткообразования, °С	Вентиляторы		Скорость Стелмора, м/с	Положение крышек Стелмора
				№ раб.	% вкл.		
11	33942	80	855	1,2	80	1,30–1,20–1,10–1,20–1,30	открыты
				3–10	55		
12	34257		855	1,2	80		
				3	65		
				4–10	55		

Из анализа распределения относительных частот по пределу прочности катанки, прокатанной при температуре 900 и 855 °С плавки № 33865 стали марки 70К, а также пределу прочности катанки плавки №34257 (рис. 7–9), видно, что наибольшая центровка получена на результатах катанки, прока-

танной по режиму при температуре 900 °С. В целях проведения металлографического исследования в лабораторию ЛМ были представлены образцы опытных бунтов катанки диаметром 5,5 мм плавки № 33865 стали марки 70К, прокатанных при различной температуре на виткообразователе. Исследования

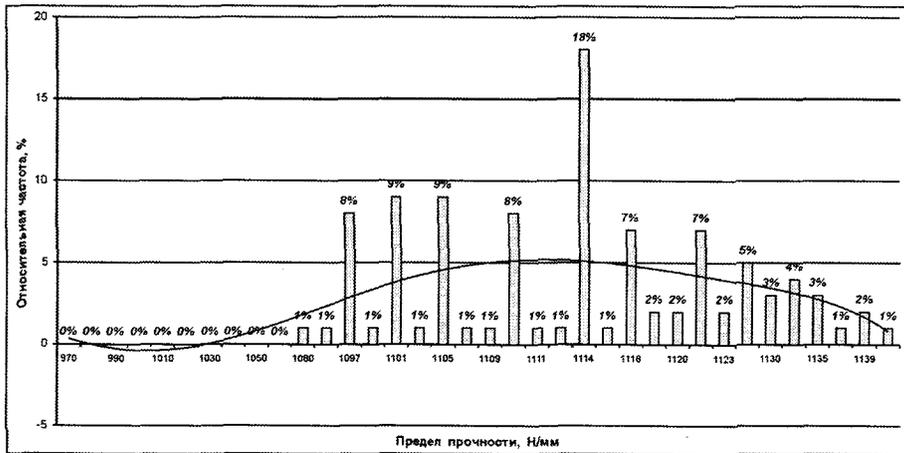


Рис. 7. Распределение относительных частот по пределу прочности катанки диаметром 5,5 мм плавки №33865 (температурно-скоростной режим:  $T_{\text{но}}=855$  °С; производительность вентиляторов: 1–2=80%; 3–10=65%; скорость Стелмора: 1,30–1,20–1,10–1,20–1,30 м/с)

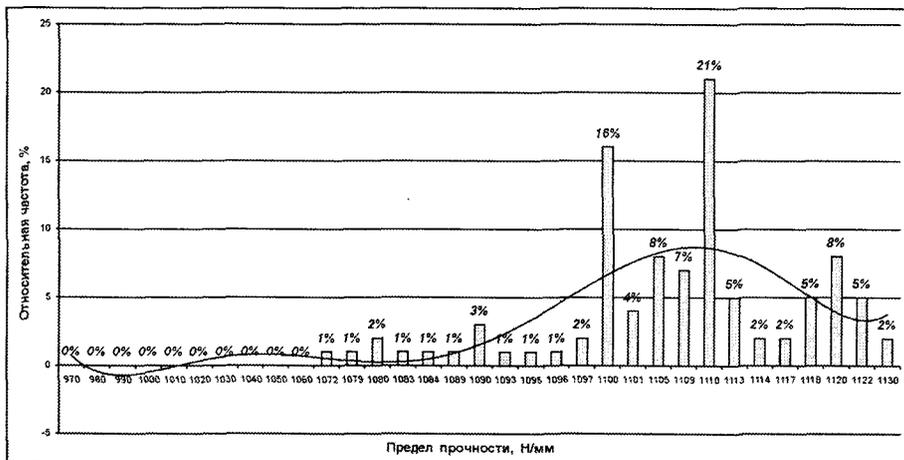


Рис. 8. Распределение относительных частот по пределу прочности катанки диаметром 5,5 мм плавки №33865 (температурно-скоростной режим прокатки:  $T_{\text{но}}=900$  °С; производительность вентиляторов: 1–2=80%; 3–10=65%; скорость Стелмора: 1,30–1,20–1,10–1,20–1,30 м/с)

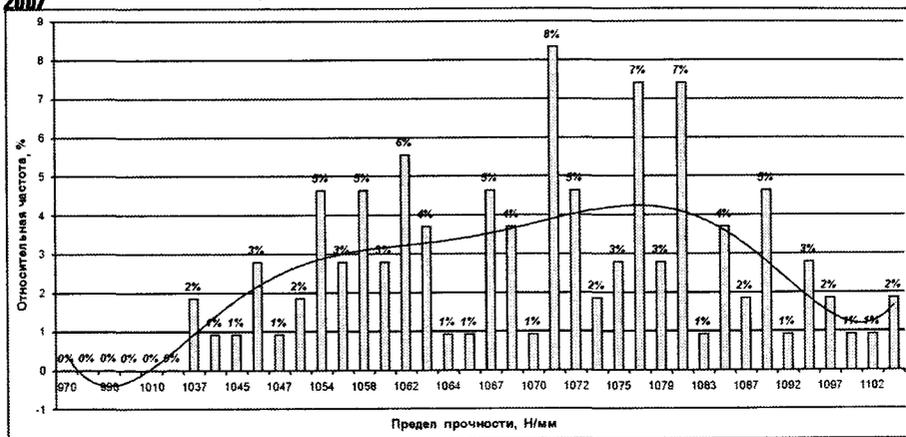


Рис. 9. Распределение относительных частот по пределу прочности катанки диаметром 5,5 мм плавки №34257 (температурно-скоростной режим прокатки:  $T_{\text{во}}=855$  °С; производительность вентиляторов: 1–2=80%; 3=65%; 4–9=55%; скорость Стелмора: 1,30–1,20–1,10–1,20–1,30 м/с)

величины перлитного зерна и величины ОБС проводили по методике фирмы «Pirelli». Результаты исследований, приведенные в табл. 6, показали, что величина зерна, дисперсность перлита и ОБС находятся на одном уровне и отличий не имеют. С целью

составления базы данных для проведения статистического анализа по основным показателям качества катанки и полученной из нее проволоки было принято решение провести опытную прокатку 10 плавков каждой марки стали.

Таблица 6. Результаты микроструктурного анализа плавки 33865 по методике «Pirelli»

Температура виткообразователя, °С	Номер образца	Величина зерна, балл			ОБС			ДП, % x500
		центр.	поверхн.	разность	средн. по 8 сектор., балл	отдельн. макс. сектор, балл	макс. глубина, мкм	
855	1	8	6	2	1,6	2	50	9
	2	8	6	2	1,5	2	60	8
	3	8	6	2	1,75	2	50	7
	4	8	6	2	1,5	2	30	8
900	5	8	6	2	1,6	2	50	10
	6	8	6	2	1,6	2	40	9
	7	8	6	2	1,75	2	60	10
	8	8	6	2	1,6	2	40	11

**Выводы**

1. Показано, что уменьшение плотности укладки витков катанки на транспортере роллганга Стелмора за счет увеличения скорости секций роллганга на первой стадии охлаждения до максимального значения приводит к стабильности прочностных по-

казателей, так как по бокам спирали катанки становится меньше горячих точек соприкосновения.

2. Разброс прочностных показателей по длине витка катанки кордовой марки стали, прокатанной по опытному температурно-скоростному режиму стали, не превышает  $\pm 30$  Н/мм<sup>2</sup>.

В лаборатории проводили микроструктурный анализ стали марки 70К плавки № 36126 на поперечных образцах согласно плану работ НТУ ЛК 03-2002. Оценку дисперсности перлита проводили при увеличении 1000. Обезуглероженный слой оценивали по методике фирмы MICHELIN. Величину действительного зерна оценивали по ГОСТ 1778.

**Результаты микроструктурного анализа плавки №36126**

Номер образца	Производительность вентиляторов, %	Скорость Стелмора, м/с	ПЛ, балл	Зерно у поверхности, балл	Зерно в центре, балл	ОБС, мм	Дисп., %	Механические свойства (по витку)			
								$\sigma_b$ , Н/мм <sup>2</sup>	$\Psi$ , %	$\delta_5$ , %	
1нс	1-2/80 3-7/50	0,80-0,88- 0,97-1,06- 1,16	2,5	8	7	0,07	8	1058	40	14,5	
1нб			2,5	8	7	0,05	10	1012	40	17	
1кс			3,0	8	7	0,06	7	1070	42	15,5	
1кб			3,0	8	7	0,05	10	1066	43	17	
2нс			2,0	8	7	0,05	5	1054	39	13	
2нб			2,0	8	7	0,05	7	1060	37	15	
2кс			2,0	8	7	0,06	7	1080	45	15	
2кб			2,0	8	7	0,05	6	1070	45	17	
Δ								<b>5</b>	<b>68</b>	<b>8</b>	<b>4</b>
3нс			1-2/80 3-7/55	0,80-0,88- 0,97-1,06- 1,16	3,0	8	7	0,05	4	1086	47
3нб	3,0	8			7	0,05	7	1090	43	17	
3кс	3,0	8			7	0,05	8	1080	41	14,5	
3кб	3,0	8			7	0,05	7	1079	41	14,5	
4нс	3,0	8			7	0,05	5	1066	41	16	
4нб	3,0	8			7	0,04	5	1087	45	17	
4кс	2,0	8			7	0,05	7	1082	41	17	
4кб	2,5	8			7	0,06	5	1099	41	16	
Δ								<b>4</b>	<b>33</b>	<b>6</b>	<b>2,5</b>
5нс	1-2/80 3-7/60	0,96-1,05- 1,15-1,26- 1,30			2,0	8	7	0,04	6	1099	44
5нб			2,0	8	7	0,05	7	1070	41	14,5	
5кс			1,5	8	7	0,05	4	1057	40	15,5	
5кб			1,5	8	7	0,05	6	1045	46	13,5	
6нс			1,5	8	7	0,04	6	1066	41	17	
6нб			2,0	8	7	0,04	5	1062	41	17	
6кс			2,5	8	7	0,04	6	1074	41	15,5	
6кб			2,5	8	7	0,05	6	1033	41	15	
Δ								<b>3</b>	<b>66</b>	<b>6</b>	<b>3,5</b>
7нс			1-2/80 3/50 4-6/70 7/60	0,96-1,05- 1,15-1,26- 1,30	3,0	8	7	0,04	10	1070	38
7нб	3,0	8			7	0,04	10	1078	46	14	
7кс	2,0	8			7	0,05	8	1075	42	13	
7кб	2,0	8			7	0,04	8	1066	43	15	
8нс	2,0	8			7	0,06	7	1066	41	13	
8нб	2,0	8			7	0,06	10	1058	48	14	
8кс	2,0	8			7	0,04	10	1053	39	15	
8кб	2,5	8			7	0,06	8	1045	38	14	
Δ								<b>3</b>	<b>33</b>	<b>10</b>	<b>1,5</b>