УДК 621.771.25

Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.Ю. Семенова

ОЦЕНКА ВОЗМОЖНОСТИ ПРОИЗВОДСТВА СОРТОВОГО ПРОКАТА ИЗ РЕССОРНО-ПРУЖИННЫХ МАРОК СТАЛИ В УСЛОВИЯХ ТИПОВОГО НЕПРЕРЫВНОГО СТАНА

В статье с использованием компьютерного моделирования произведена оценка возможности производства сортового проката из рессорно-пружинных марок стали в условиях типового непрерывного стана. Для проведения исследования была разработана конечно-элементная модель процесса подстуживания подката для чистовой группы клетей стана. По результатам расчета рекомендованы конструкция участка подстуживания и технологические параметры процесса.

Ключевые слова: *непрерывный стан, подстуживание, контролируемая прокатка, петля самоотпуска, моделирование.*
Табл. 3. Рис. 5. Лит. 5.

Є.М. Смирнов, В.О. Скляр, В.Ю. Семенова

ОЦІНКА МОЖЛИВОСТІ ВИРОБНИЦТВА СОРТОВОГО ПРОКАТУ З РЕСОРНО-ПРУЖИННИХ МАРОК СТАЛЕЙ В УМОВАХ ТИПОВОГО БЕЗПЕРЕРВНОГО СТАНУ

У статті з використанням комп'ютерного моделювання проведена оцінка можливості виробництва сортового прокату з ресорно-пружинних марок сталей в умовах типового безперервного стану. Для проведення дослідження була розроблена кінцево-елементна модель процесу охолодження підкату для чистової групи клітей стана. За результатами розрахунку рекомендовані конструкція ділянки охолодження і технологічні параметри процесу.

Ключові слова: *безперервний стан, охолодження, контрольована прокатка, петля самовідпуску, моделювання.*

Y. Smyrnov, V. Sklyar, V. Semenova

EVALUATION OF THE POSSIBILITY LONG PRODUCTS MADE OF SPRING STEEL IN CONDITIONS OF TYPICAL CONTINUOUS MILL

In this paper, using computer simulation evaluated the possibility of production of long products made of spring steel in a typical continuous mill. To conduct the study was developed by the finite-element model of the process cooling rolled for finishing mill stand. The calculations are recommended construction site cooling and technological parameters of the process.

Keywords: *continuous mill, cooling, controlled rolling, loop of self-tempering, modeling.*

Постановка задачи. Кризисная ситуация на рынке металлопроката приводит к необходимости поиска новых рынков сбыта продукции. Достигнуть успеха на этом пути можно за счет расширения марочного сортамента стана. В настоящее время на сортовых станах Донецкого региона недостаточно внимания уделяется вопросам прокатки рессорно-пружинных марок стали. Поэтому работы, направленные на изучение возможностей прокатки рессорно-пружинных марок стали, в первую очередь на непрерывных станах, являются актуальными.

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ мировых тенденций производства проката из рессорно-пружинных марок стали, разливаемых непрерывным способом, показал, что для получения качественного проката необходимо выполнение целого ряда дополнительных операций и жесткой регламентации температурно-деформационных параметров. В частности, обязательной является гарантированное обеспечение температуры подката перед чистовой группой клетей на уровне 780-950°С (PQR-процесс), которая в большинстве случаев достигается за счет применения установки подстуживания проката как перед чистовой группой, так и перед калибровочным блоком.

В соответствии с анализом литературных данных, выявлено две концепции обустройства линии подстуживания для обеспечения требуемой температуры самоотпуска раската:

1) увеличение расстояния от блока междеформационного подстуживания до чистовой группы клетей (калибрующего блока), влекущее за собой увеличение длины стана;
2) создание петлевого стабилизатора (технология Multiline-LOOP) без увеличения длины стана.

Следует отметить, что первый вариант получил достаточно широкое распространение. Расстояние между группами клетей в этом случае составляет обычно 50...65 метров. Так, на типовом стане с термомеханической обработкой проката секция ускоренного охлаждения расположена перед калибровочным блоком, а также после него [1].

На сортопрокатном стане завода Hangzhou Zijin [2] для контроля температуры конца прокатки после промежуточной группы клетей установлены две секции водяного охлаждения. После которых расположены три предварительно напряженные клети (PSG stands) типа CGA

© Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.Ю. Семенова

180/100, которые представляют собой редукционные калибровочные клети последнего поколения, установленные для получения геометрических размеров высокой точности.

На стане завода Tianjin Iron & Steel установлены две камеры водяного охлаждения между 14-й и 15-й клетями на соответствующем расстоянии для выравнивания температуры поверхности металла. Благодаря такой компоновке можно достичь общее снижение температуры на 260 ^{o}C без изменения качества поверхности, т.е. без локального переохлаждения и фазовых изменений [3]. Указано, что понижение температуры поверхности проката в секции подстуживания должно быть не ниже 400˚С, что обеспечит отсутствие локального переохлаждения и фазовых превращений, а неконтролируемая разница температур между поверхностью и центром подката (после самоотпуска) перед прокаткой в чистовой группе клетей должна находиться на уровне 30˚С (не более 50˚С). Аналогичное решение по составу и расположению оборудования принято и в литейно-прокатном комплексе №5 компании Baosteel Shanghai [4].

Следует также отметить, что данная компоновка оборудования имеет существенный недостаток: наличие длинного участка самоотпуска противопоказано для марок стали, которые должны прокатываться при высокой температуре.

Однако в последнее время, все большее распространение получает технология Multiline-LOOP предложенная фирмой «MannesmannDemag» (SMSMeer), которая позволяет существенно экономить место в цеху для стана за счет самоотпуска раската в петле температурной стабилизации (рис. 1). Такая технология лишена вышеописанного недостатка. Данная технология, например, реализована на станах заводов «GerdauAcominas» (Бразилия) и «Voest-Alpine» (Австрия) [5]. По этой технологии раскат может напрямую поступать в чистовую группу или проходить через секции охлаждения и петлю температурной стабилизации.

Нерешенные части задачи. Проанализировав основные параметры существующих непрерывных станов контролируемой прокатки (табл. 1) можно сделать выводы о том, что единственным станом в Донецком регионе, который относится к типовым станам и на котором целесообразна организация производства проката из рессорно-пружинных марок стали с использованием непрерывнолитой заготовки в качестве исходного сырья, является стан 390 Макеевского филиала ПАО «Енакиевский металлургический завод». Вместе с тем, в литературе существуют лишь фрагментарные сведения о проведенных исследованиях в этом направлении. Поэтому работа, направленная на оценку возможности производства сортового проката из рессорно-пружинных марок стали в условиях типового непрерывного стана, которым является стан 390 ПАО «ЕМЗ», является актуальной.

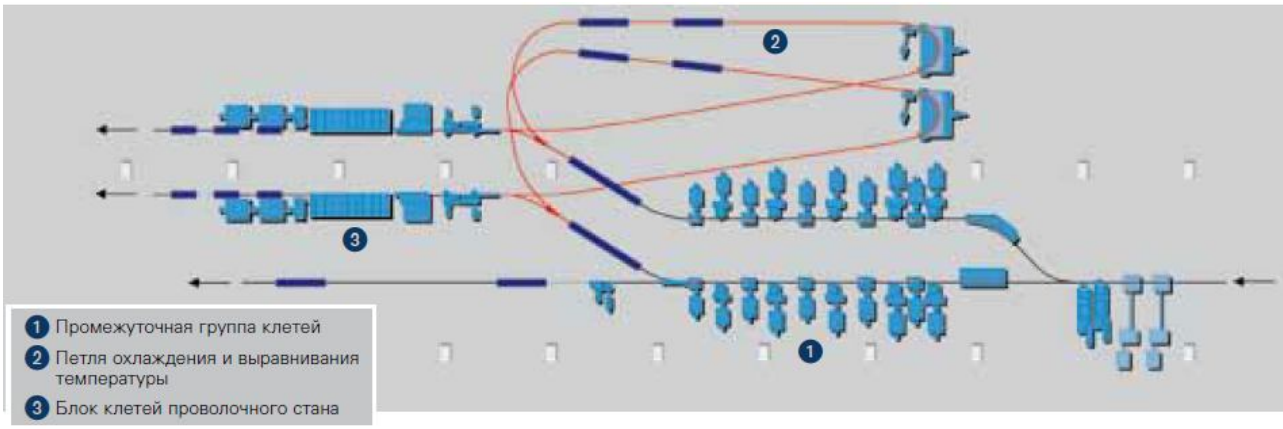

Рис. 1. **Схема расположения оборудования проволочного стана при использовании технологии Multiline-LOOP [5]**

Цель исследования. Оценить возможности производства сортового проката из рессорно-пружинных марок стали в условиях непрерывного стана 390 Макеевского филиала ПАО «ЕМЗ» и выбрать подходящую технологию производства с учетом возможности реконструкции стана.

Основные результаты исследования. В соответствии с вышеописанным были рассмотрены оба варианта компоновки секции подстуживания для реализации контролируемой прокатки (рис. 2). Анализ межклетевых расстояний при прокатке круглых прутков на стане 390 ПАО «ЕМЗ» (рис. 3) позволяет сделать вывод о том, что данные расстояния достаточно велики, и в этом промежутке могут быть установлены охлаждающие устройства.

Таблица 1. **Характеристика современных сортовых станов низкотемпературной прокатки**

	Типовой сортовой стан с ТМО	Стан завода Hangzhou Zijin	Стан завода Tianjin Iron & Steel	ЛПК №5 компании Baosteel Shanghai	Стан 390 ПАО «ЕМЗ»
1	2	3	4	5	6
Количество секций подстуживания, шт.	1	2	2	1	
Межклетевой промежуток совершения подстуживания	15-16	16-17	14-15	14-15	
Всего клетей, шт.	18	19	18	18	18
Число клетей низкотемпературного деформирования, шт.	3	3	4	4	
Тип клети	H-V-H	H-V-H	H-V-H-V	H-V-H-V	
Диаметр валков, мм		180/100			
Конечная скорость прокатки, м/с		15	10	16	до 18
Сортамент продукции	Круг, катанка, полоса, квадрат, шестигранник	Круг Ø 24-55 (65), полоса 50x7-100x30. Шестигранник, квадрат - в перспективе	Круг Ø16-60	Круг Ø15-60, Круг в бунтах Ø18-40, катанка 5-20 мм	Круг Ø 20-50, шестигранник 20-48, квадрат 18-45, арматура 14-36, уголок, швеллер, полоса
Стандарт			GB1222-84, GB3077-99	HNV3, AISI 52100, AISI 9260, AISI 1045, AISI 4140	ГОСТ 4543-71, ДСТУ 2651-2005 (ГОСТ 380-2005), ГОСТ 5781-82
Марки стали	Качественные марки стали	Конструкционные, легированные конструкционные, рессорно-пружинные и шарикоподшипниковые	Ст. 45, 60Si2Mn, 60Si2Cr, 40Cr, 40MnB	4Cr9Si3, GCr15, 60Si2Mn, ML45, 40CrMo, Ст. 45	Углеродистые, конструкционные
Годовая производительность, тыс. т/год		800	750	350	

Однако вопрос обеспечения необходимого перепада температур по сечению раската (не более 50 °С) остается открытым.

Для изучения температурного поля подката на участке подстуживания была разработана конечно-элементная модель в программном комплексе ANSYS.

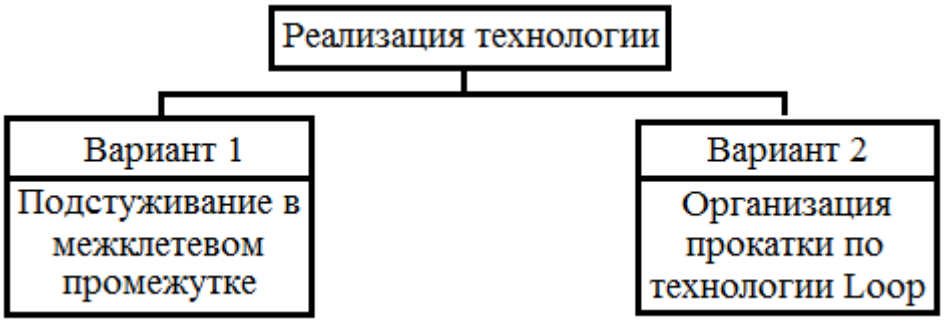

Рис. 2. **Варианты реализации технологии контролируемой прокатки на стане 390 ПАО «ЕМЗ»**

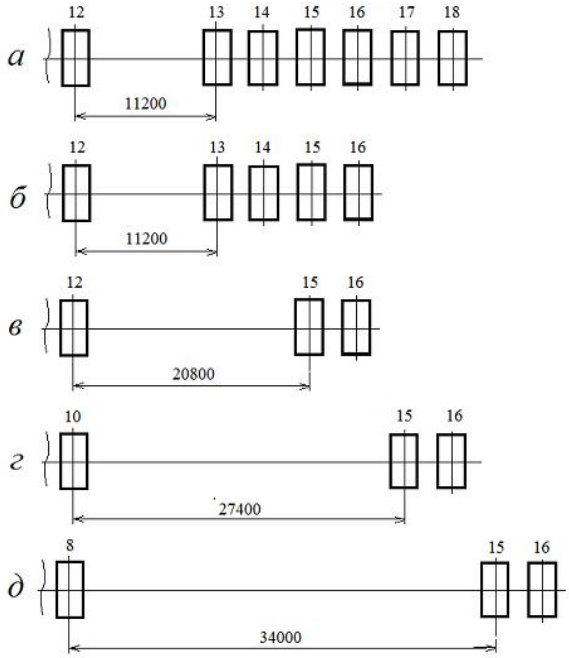

Рис. 3. **Схемы прокатки круглых профилей в последних клетях стана 390**
а – для круга 20 мм; б – для круга ∅ 22 мм; в – для круга ∅ 30 мм; г – для круга ∅ 40 мм; д – для круга ∅ 50 мм

Расчет осуществляли для круглого профиля из стали марки 60С2, который выходит из последней клети промежуточной группы с равномерно распределенной по сечению температурой 970 °С и с указанной скоростью проходит 2 секции водяного охлаждения. Между секциями и после них прокат охлаждается на воздухе, а затем попадает в чистовую группу. Протяженность секций водяного охлаждения 2,5 м. Исходные данные для расчета температурного режима охлаждения прутка приведены в таблице 2.

Конечно-элементная модель раската разбивалась на двумерные тепловые элементы PLANE55. Замена объемной цилиндрической модели раската четвертью поперечного сечения обусловлена следующими факторами: длина цилиндрической подката гораздо больше его диаметра, поэтому теплообменом по длине подката можно пренебречь и рассмотреть плоское сечение, которое, в силу симметрии, заменяется четвертью поперечного сечения с адиабатическим поверхностями по линиям симметрии и с заданными условиями теплообмена на поверхности.

Целью расчетов являлось определение времени, необходимого для стабилизации температуры по сечению, при котором разница температуры между центром и поверхностью не

будет превышать 50 °С. По полученным результатам построены графики зависимости температуры различных точек сечения заготовки от времени нахождения в секции водяного охлаждения и на воздухе.

Таблица 2. **Исходные данные для расчета температурного режима охлаждения прутка**

Диаметр готового прутка, мм	Размеры подката hxb, мм	Скорость подката, м/с	Коэффициент теплоотдачи, Вт/м^2·град	
			в секции	на воздухе
20	37,5x31,3 (с 12 клети)	4,81	40000	100
22	34,5x29,5 (с 12 клети)	5,75	40000	
30	37x33,6 (с 12 клети)	4,61	40000	
40	48,5x47,9 (с 10 клети)	2,58	21000	
50	61x60 (с 8 клети)	1,6	13000	

На рис. 4 приведены зависимости температуры в различных точках сечения раската (температура на поверхности, в центре и среднемассовая) от времени охлаждения подката для конечного круга Ø 20 мм.

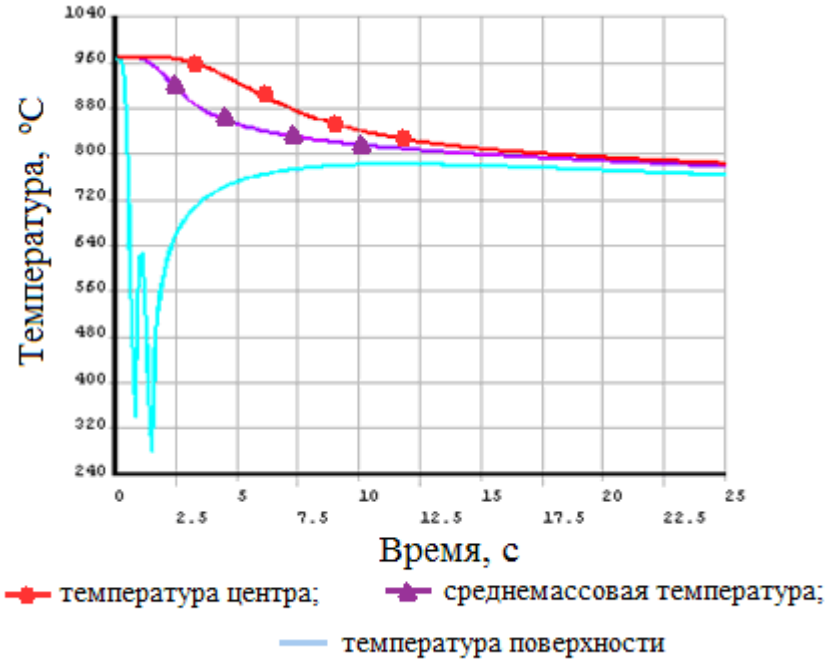

Рис. 4. **График зависимости температуры от времени охлаждения**

Температура поверхности в первой секции падает с 970 °С до 340 °С, затем происходит разогрев до 630 °С и снова охлаждение до 280 °С. Далее происходит разогрев поверхности проката до 780 °С, после чего температура начинает выравниваться по сечению. Однако расчеты показали, что указанного выше расстояния между чистовой и промежуточной группой не хватает для выравнивания температуры по сечению. Так, в рассматриваемом случае выравнивание температуры наблюдается только через 15 секунд от начала охлаждения, что соответствует длине участка самоотпуска 72 метра. Поэтому реализацию подстуживания подката на стане 390 ПАО «ЕМЗ» можно реализовать только по технологии Multiline-LOOP.

График влияния перепада температуры по сечению в зависимости от длины петли самоотпуска показан на рисунке 5. Из полученных зависимостей для остальных размеров подката получали необходимую длину петли самоотпуска. Результаты расчета приведены в таблице 3.

Вывод. Выполненные первичные расчеты и анализ особенностей расположения оборудования стана 390 ПАО «ЕМЗ» показали, что для реализация низкотемпературного

процесса прокатки необходима реконструкция стана с организацией участка подстуживания подката для чистовой группы по технологии Multiline-LOOP. С помощью компьютерного моделирования установлено, что при этом длина петли самоотпуска при производстве круглого проката диаметром 20, 22 и 30 мм, будет колебаться в пределах от 67 до 72 м, а для круглого проката диаметром 40 и 50 мм - 90…96 м.

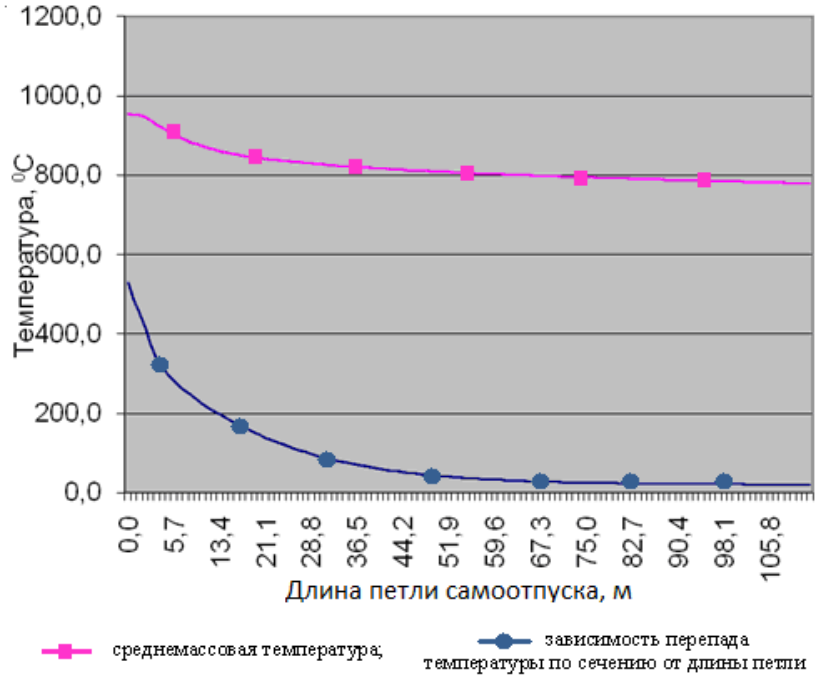

Рисунок 5 – Зависимость изменения среднемассовой температуры и перепада температуры по сечению от длины петли самоотпуска

Таблица 3 – Результаты расчетов охлаждения подкатов

Диаметр готового круга, мм	Время самоот-пуска, с	Температура, °С				Длина петли самоотпуска, м
		поверхности	центра	средняя	перепад	
20	15	767	810	791	43	72,15
22	12,5	755	799	780	44	71,88
30	14,5	765	810	790	45	66,85
40	35	779	819	801	40	90,3
50	60	761	808	787	47	96

1. *Masini, R.* Latest bar mill technology / R.Masini, A.Lainati // Millenium Steel. – 2005. – С. 216-221.
2. *Тоски, Ф.* Низкотемпературная прокатка на сортовом стане для производства спец сталей на заводе Tianjin Iron & Steel / Ф.Тоски, В.Бинсиа // Danieli News / - 2006. – Volume III. – 8 с.
3. *Masini, R.* Технология калибровки сортового проката в многокалиберных двухвалковых клетях в комбинации с термомеханической обработкой / R.Masini // Steel Times International. – 2005. – №14. – С. 18-22.
4. *Тоски, Ф.* Литейно-прокатный комплекс №5 компании Baosteel Shanghai (КНР) для производства катанки и сортового проката нержавеющих и специальных сталей – пусконаладка и результаты эксплуатационных испытаний / Ф.Тоски // Danieli News / – 2004. – Volume II. – 15 с.
5. Мелкосортно-проволочные станы / SMS MEER – Germany: SMS group – 40 с.

Стаття надійшла до редакції 29.04.2013.

© Е.Н. Смирнов, В.А. Скляр, В.Ю. Семенова