

УДК 621.771

АНАЛИЗ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ПРОКАТКИ ТОЛСТЫХ ЛИСТОВ НА СТАНЕ 5000

Степанов Андрей Павлович

Студент 3 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет

Научный руководитель: Миронова М. О⁽¹⁾, Мунтин А. В. ⁽²⁾,

*Ассистент кафедры «Оборудование и технологии прокатки»⁽¹⁾, аспирант
кафедры «Оборудование и технологии прокатки»⁽¹⁾,*

Введение

В настоящее время перед российской промышленностью стоит важнейшая цель – стать полноправной частью мировой экономики, при этом значение металлургии особенно высоко. На многих предприятиях стоит морально и физически устаревшее оборудование, которому требуется модернизация. Это требует больших финансовых затрат, высококвалифицированных кадров и времени. Одним из лидеров металлургической промышленности России является Объединенная Металлургическая Компания.

Объединенная металлургическая компания (ОМК) – один из крупнейших производителей труб, железнодорожных колес и другой металлопродукции для энергетических, транспортных и промышленных компаний. В состав ОМК входит 6 крупных предприятий металлургической отрасли.

Трубный комплекс ОМК включает в себя Выксунский металлургический завод (Нижегородская область), Альметьевский трубный завод (Республика Татарстан) и завод Трубодеталь (Челябинская область).

Выксунский металлургический завод (ВМЗ) – один из старейших центров металлургической промышленности России, основан в 1757 году. Предприятие производит стальные трубы диаметром 21,3-1422 мм и толщиной стенки до 50 мм. Трубы выпускаются с наружным двух- и трехслойным антикоррозионным полиэтиленовым или полипропиленовым покрытием, а также с внутренним гладкостным и антикоррозионным покрытием.

Альметьевский трубный завод (АТЗ) – производственное предприятие, основанное в 1966 году. Основные производственные линии позволяют выпускать трубы диаметром 10-219 мм с толщиной стенки от 1,5 до 8,0 мм.

Завод Трубодеталь - один из крупнейших в России и странах СНГ предприятие по производству соединительных деталей для трубопроводов из низколегированной стали диаметром 57- 1420 мм.

Производственные мощности ОМК по выпуску труб различного назначения составляют 3,2 млн. т труб в год. В настоящее время на предприятиях ОМК проводится глубокая реконструкция, в результате которой ожидается увеличение мощностей до 3,5 млн. т труб в год.

Металлургический комплекс ОМК включает в себя Чусовской металлургический завод и Щелковский металлургический завод (Московская область), ОМК-Сталь (Литейно-прокатный комплекс г. Выкса).

1. Развитие металлургического комплекса ОМК

Основной задачей компании в настоящий момент является достижение вертикальной интеграции процесса производства труб, т.е. обеспечить независимость данного процесса от сторонних поставщиков.

Технологию получения труб можно разделить на три основных этапа, которые связаны в жёсткую производственную цепочку:

- выплавка стали;
- прокатка;
- формовка труб.

Причём для производства труб среднего и большого диаметра существует своя отдельная цепочка. Соответственно для осуществления принципа вертикальной интеграции необходимо обеспечить все три звена для каждого из производств.

Для реализации проекта относительно труб среднего диаметра ОМК был построен и введён в эксплуатацию совершенно новый и в своём роде уникальный завод для производства рулонной стали – Литейно-прокатный комплекс недалеко от города Выкса. Включающий в себя машину непрерывного литья заготовки (МНЛЗ) и непрерывный шестиклетьевой широкополосный стан (НШПС).

Литейно-прокатный комплекс позволил восполнить сразу два звена производственной цепочки:

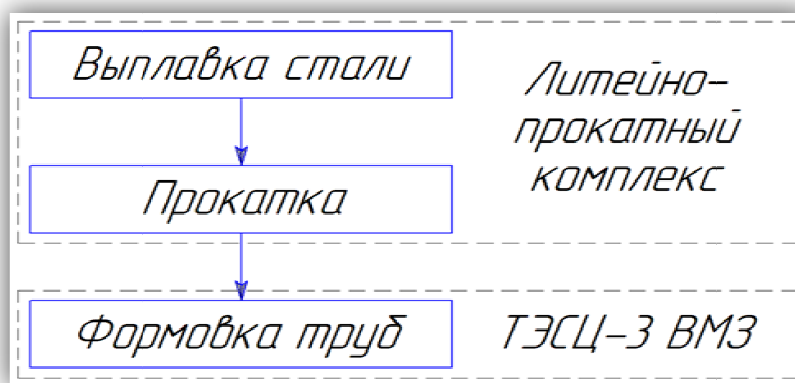


Рис. 1. Схема вертикальной интеграции для труб малого диаметра

2.1 Литейно-прокатный комплекс

Проект был реализован в кратчайшие сроки и с применением уникальных технологий. Введение в эксплуатацию первой очереди ЛПК позволило обеспечить высококачественным горячекатаным рулонным прокатом трубоэлектросварочные цеха Выксунского металлургического и Альметьевского трубного заводов для производства труб малого и среднего диаметра, соответствующих международным стандартам. На ЛПК также предусмотрена возможность освоения выпуска высококачественного проката для нужд автомобильной промышленности, судостроения, железнодорожных вагонов, цистерн и другого подвижного состава, используемого ОАО "РЖД".

Мощность первой очереди ЛПК составляет 1,5 млн. тонн рулонов в год. Планируется увеличение мощности до 3 млн. тонн (вторая очередь). Объем инвестиций в первую очередь ЛПК составил 1,2 млрд. долларов, во вторую очередь планируется инвестировать 600 млн. долларов.



Рис. 2. Клети чистовой группы НШПС

2.2 Стан 5000

Для обеспечения производства труб большого диаметра ОМК был построен современный толстолистовой прокатный Стан 5000. Также планируется возведение литейного агрегата для изготовления слабов под Стан 5000. Это позволит замкнуть цепочку производства труб большого диаметра:

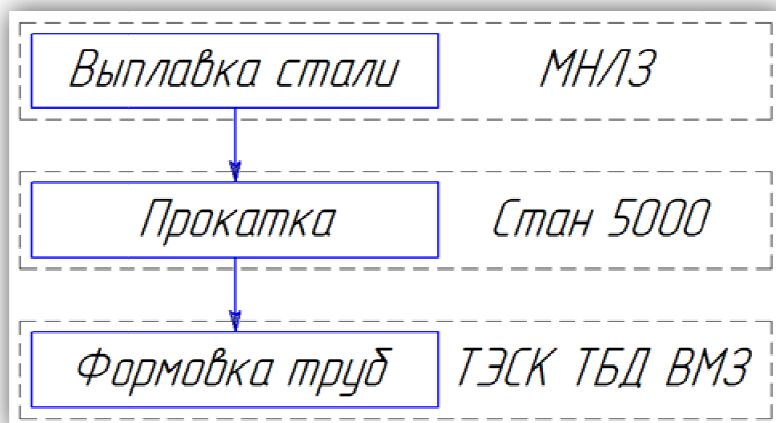


Рис. 3. Схема вертикальной интеграции для труб среднего и большого диаметра

25 ноября 2011 года введен в эксплуатацию Metallургический комплекс стан 5000 в Нижегородской области г.Выкса ОАО «Объединённая металлургическая компания». Стан 5000 спроектирован как специализированный комплекс по производству листа для трубной продукции. Широкий лист производства Стан 5000

предназначен для изготовления труб большого диаметра, используемых для строительства магистральных нефте- и газопроводов. Мощность комплекса позволит выпускать до 1,2 млн тонн широкого листа в год. Общая стоимость проекта оценивается в 45 млрд. рублей. Продукция Стан 5000 может использоваться в судостроении, машиностроении, атомной энергетике, и других металлоемких отраслях.

Основным назначением толстолистого Стана 5000 является производство листового проката из низколегированных марок стали для изготовления электросварных труб большого диаметра (от 508 мм (20") – до 1420 мм (56")) на трубоэлектросварочных станах ОАО «ВМЗ». Листы трубного назначения будут производиться в диапазоне толщины от 7,0 до 50,0 мм, ширины 1400 до 4800 мм, длиной до 12300 мм из сталей категорий прочности K52-K70, L360 - L830, X52-X120.

Толстолистовой Стан 5000 рассчитан на годовую производительность 1,2 млн. тонн готового листа.



Рис.4 Аналогичный Стан 5000 компании SMS Siemag

N

Таблица 1. Характеристики заготовки (сляба) и продукции Стана 5000

Толщина сляба, мм	250 ÷ 400
Ширина сляба, мм	1300 ÷ 2600
Длина сляба, мм	2500 ÷ 4800
Вес, т	40
Толщина проката, мм	7 ÷ 50
Ширина проката, мм	1400 ÷ 4800
Длина проката, мм	7000 ÷ 40000
Марки стали	Трубные стали (до X120). Стали для машиностроения, судостроения и т.п.

Для обеспечения годовой производительности 1,2 млн. т готового проката требуется 1,33 млн. т сляба в год.

Схема толстолистового Стана 5000

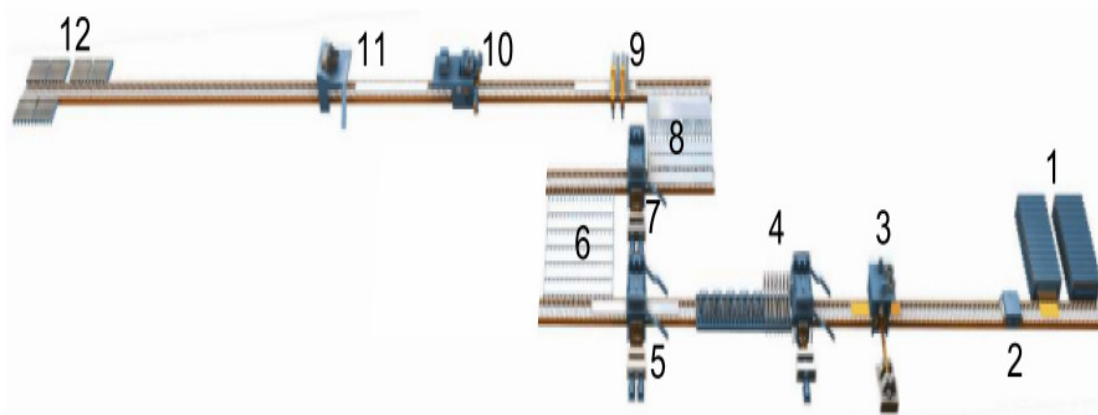


Рис. 5. Схема толстолистового Стана 5000

1. Нагревательные методические печи;
2. Гидросбив окалины;
3. Четырёхвалковая клеть;
4. Установка контролируемого ускоренного охлаждения;
5. Машина горячей правки;
6. Холодильник;
7. Машина холодной правки;
8. Инспекционный стол с кантователем;
9. Установка ультразвукового контроля;
10. Комбинированные ножницы для обрезки кромок и для продольной резки.

Технологическая схема работы Стана 5000

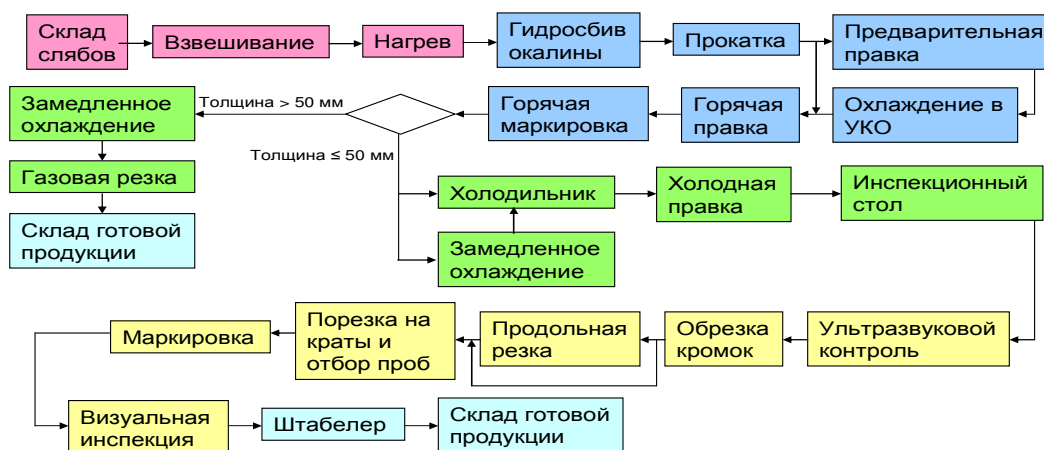


Рис. 6. Технологическая схема работы Стана 5000

Четырехвалковая клеть

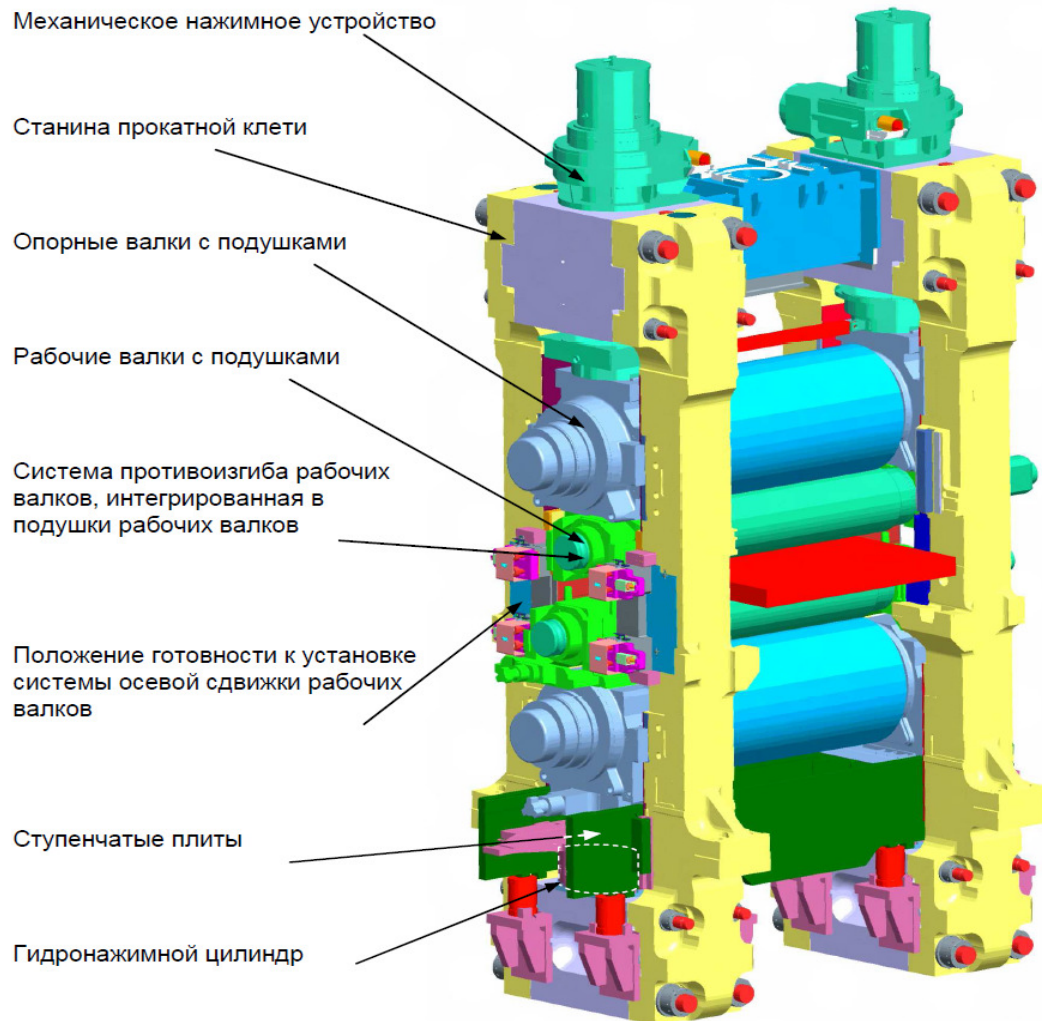


Рис. 7. Схема четырехвалковой клетки

Таблица 2. Характеристики четырехвалковой клетки.

Диаметр рабочих валков, мм	1110 – 1210
Диаметр опорных валков, мм	2100 – 2300
Длина бочки рабочих валков, мм	5300
Длина бочки опорных валков, мм	4950
Скорость прокатки, м/с	0 – 7,3
Максимальное усилие прокатки, МН	120
Максимальный момент прокатки, МН·м	8,8

2. Исследование энергосиловых параметров Стана 5000 ВМЗ

В связи с важностью проекта Стана 5000 в обеспечении листовым прокатом производство труб, основной задачей является понять при каких режимах деформации сляба можно производить прокатку, при этом не превышая максимально допустимые значение энергосиловых параметров стана (силы и момента прокатки). Были

проведены расчёты для самых нагруженных проходов: первой проход черновой стадии (1200 С), когда наша заготовка имеет максимальные габаритные размеры и обжимать её весьма затруднительно и первый проход чистовой стадии (750 С), при данной температуре сопротивление деформации намного больше. В результате получили предельные значения обжатий, для чего провели расчеты при разных значениях степеней деформации для каждой температуры. Расчеты были проведены на основе методики, представленной в работе [1]. Материалом прокатки выбрана трубная марка стали класса прочности К60. Предел текучести данной марки при 1200 С равен 20 МПа, при 750 С – 90 МПа.

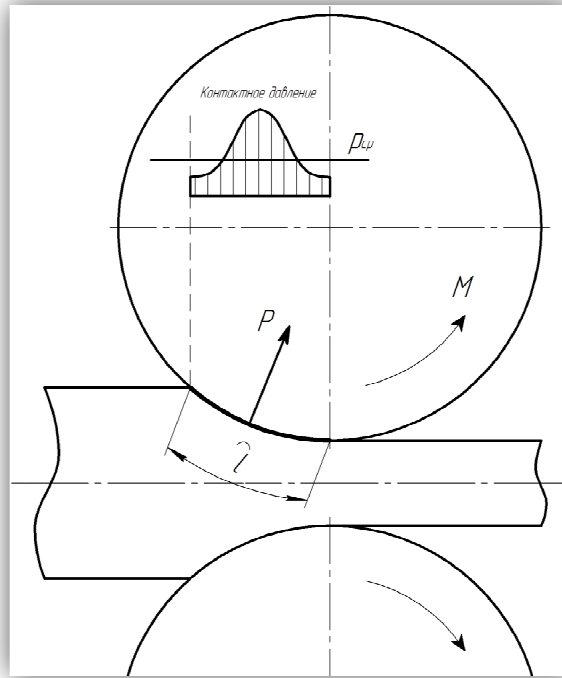


Рис.8. Схема очага деформации

- Момент прокатки:

где M – момент прокатки, МН*м;

P – сила прокатки, МН;

l – длина дуги захвата, мм;

- Сила прокатки:

где $p_{ср}$ – среднее контактное давление, МПа;

F – контактная площадь, мм²;

- Контактная площадь:

где F – контактная площадь, мм²;

$b_{ср}$ – средняя ширина, мм;

- Длина дуги захвата: _____

где l – длина дуги захвата, мм;

R – радиус валков, мм;

Δh – изменение толщины, мм;

- Средняя толщина:

$$h_{\text{ср}} = \frac{h_1 + h_0}{2} = \frac{400 + 375}{2} = 385 \text{ (мм)}$$

где $h_{\text{ср}}$ – средняя толщина, мм;

h_0 – начальная толщина, мм;

h_1 – конечная толщина, мм;

- Отношение $\frac{l}{h_{\text{ср}}} = \frac{134,164}{385} = 0,348$

- Конечная ширина:

$$b_1 = b_0 + \frac{1,15\Delta h \left(1 - \frac{\Delta h}{2\mu}\right)}{h_0} = 2600 + \frac{1,15 \cdot 30 \cdot \left(134,164 - \frac{20}{2 \cdot 0,2}\right)}{400} = 2605,103 \text{ (мм)}$$

где b_1 – конечная ширина, мм;

b_0 – начальная ширина, мм;

μ – коэффициент трения;

- Средняя толщина:

$$b_{\text{ср}} = b_0 + \frac{2}{3}(b_1 - b_0) = 2600 + \frac{2}{3}(2605,103 - 2600) = 2603,4 \text{ (мм)}$$

- Среднее контактное давление:

$$p_{\text{ср}} = \gamma \cdot n'_{\sigma} \cdot n''_{\sigma} \cdot n'''_{\sigma} \cdot n_b \cdot k = 1,15 \cdot 1,058 \cdot 1,410 \cdot 1 \cdot 1,15 \cdot 44 = 87,18 \text{ (МПа)}$$

где γ - коэффициент, учитывающий влияние среднего нормального напряжения;

n'_{σ} - коэффициент внешнего трения;

n''_{σ} - коэффициент внешних зон;

n'''_{σ} - коэффициент, учитывающий натяжение;

n_b - коэффициент ширины;

- Скорость деформации:

$$u = \frac{v \cdot \Delta h}{l \cdot h_0} = \frac{1500 \cdot 30}{134,164 \cdot 400} = 0,839 \text{ (с}^{-1}\text{)}$$

где u – скорость деформации, с^{-1} ;

v – скорость прокатки, мм/с^2 ;

- Истинное сопротивление:

$$k = n_u \cdot n_n \cdot \sigma = 2,2 \cdot 1 \cdot 20 = 40 \text{ (МПа)}$$

где n_u – коэффициент, учитывающий скорость деформации;

n_n – коэффициент наклепа;

σ - предел текучести, МПа

Таблица 3. Исходные данные для расчетов.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6
Начальная толщина h_0 , мм	400	400	400	125	125	125
Конечная толщина h_1 , мм	370	340	310	120	115	110
Обжатие ϵ , %	7,5	15	22,5	4	8	12
Начальная ширина b_0 , мм	2600	2600	2600	4500	4500	4500
Температура прокатки, T , °C	1200	1200	1200	750	750	750
Предел текучести, σ , МПа	20	20	20	90	90	90
Диаметр вала, D , мм	1200	1200	1200	1200	1200	1200
Скорость прокатки, мм/с	1500	1500	1500	3000	3000	3000

По исходным данным проведены расчеты. Для автоматизации исследовательской работы в EXCEL была составлена программа для расчёта энергосиловых параметров прокатки. Результаты представлены в таблице 4.

Таблица 4. Результаты расчетов.

Номер варианта	1	2	3	4	5	6
Длина дуги захвата, мм	134,164	189,737	232,379	54,772	77,460	94,868
Средняя толщина, мм	385	370	355	122,5	120	117,5
Отношение $l/H_{ср}$	0,348	0,513	0,655	0,447	0,645	0,807
Конечная ширина, мм	2605,103	2606,855	2601,909	4501,753	4504,060	4506,192
Средняя ширина, мм	2603,402	2604,570	2601,273	4501,169	4502,706	4504,128
Контактная площадь, мм ²	349283	494182	604481	246539	348778	427299
Скорость деформации, мм/с	0,8	1,2	1,5	2,2	3,1	3,8
Истинное сопротивление деформации, МПа	44	46	48	171	180	189
Среднее контактное давление, МПа	87,18	85,15	84,17	326,25	318,16	315
Сила прокатки, МН	30,5	42,1	50,9	80,4	111	134,6
Момент прокатки, МН*м	4,1	8	11,8	4,4	8,6	12,8

Результаты расчетов показывают, что режимы прокатки слэбов толщиной 400 мм по варианту 1 и 2 осуществимы на Стане 5000 как по силе, так и по моменту прокатки. Вариант 3 не осуществим из-за превышения допустимого момента прокатки.

Режим прокатки слэбов толщиной 125 мм по варианту 4 и 5 также осуществимы на Стане 5000, следует отметить, что вариант 5 является критическим, так как значения

силы и момента прокатки находятся на верхнем уровне возможностей Стана 5000. Вариант 6 не осуществим – превышение, как силы, так и момента прокатки.

Ниже представлены результаты расчётов в графическом виде, что позволяет наглядно оценить возможности стана по заданным параметрам.

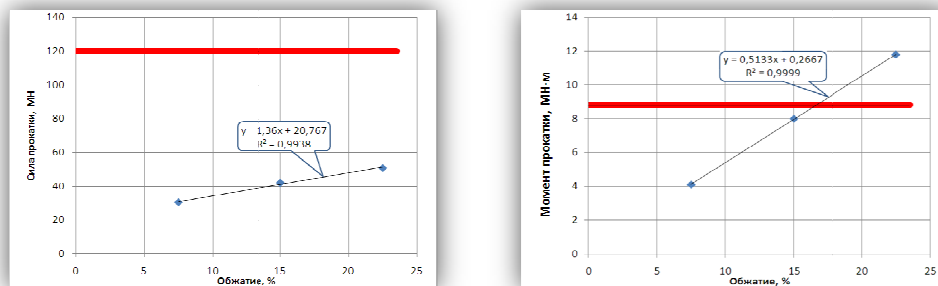


Рис. 9. Зависимость силы и момента прокатки от обжатия при прокатке заготовки 400 мм.

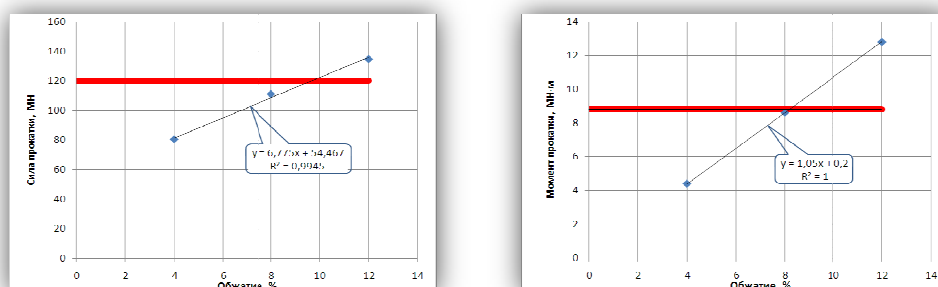


Рис. 10. Зависимость силы и момента прокатки от обжатия при прокатке заготовки 125 мм.

На основании графических данных можно утверждать, что максимально возможное обжатие в первом случае составляет около 16,5%; во втором случае – 8,5%.

3. Заключение

Проведённый обзор производственных возможностей и перспектив развития Выксунского металлургического завода, а так же исследования энергосиловых возможностей Стана 5000 позволили сформулировать следующие выводы:

1. ВМЗ обладает существенными мощностями по производству труб различного диаметра (до 1420 мм), в.т.ч. труб ответственного назначения, применяемых для нефтегазопроводов в условиях крайнего севера.
2. Стратегия компании, направленная на достижение вертикальной интеграции в области производства труб, успешно воплощается в уже существующем Литейно-прокатном комплексе и строящемся Стане 5000.
3. Стан 5000 Выксунского металлургического завода является одним из самых мощных прокатных станов в мире и способен производить толстый лист по самым высоким мировым стандартам.
4. Возможности Стана 5000 позволяют успешно использовать его для прокатки наиболее толстых слэбов при жёстких начальных условиях. Так при прокатке в первом проходе слэба толщиной 400 мм, возможно, задать обжатие равное 16,5%. А при прокатке промежуточного подката толщиной 125 мм – до 8,5%.

Литература

1. *Никитин Г.С.* Теория непрерывной продольной прокатки. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009
2. *Никитин Г.С., Восканьянц А.А., Крюков К.А.* Расчёт энергосиловых параметров при горячей прокатке в непрерывной группе сортового стана. М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2010
3. Теория прокатки: Справочник / А.И. Целиков, А.Д. Томленов, В.И. Зюзин, А.В. Третьяков, Г.С. Никитин. М.: Металлургия, 1982
<http://oao-vmz.rf/Производство/МКС-5000>