

УДК 621.771

## ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫЙ АГРЕГАТ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ШИРОКОПОЛОСНОЙ СТАЛИ

Иван Игоревич Лубнин

*Студент 3 курса,  
кафедра «Оборудование и технологии прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

*Научный руководитель: Г.С. Никитин,  
доктор технических наук, профессор кафедры «Оборудование и технологии  
прокатки»,  
Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана*

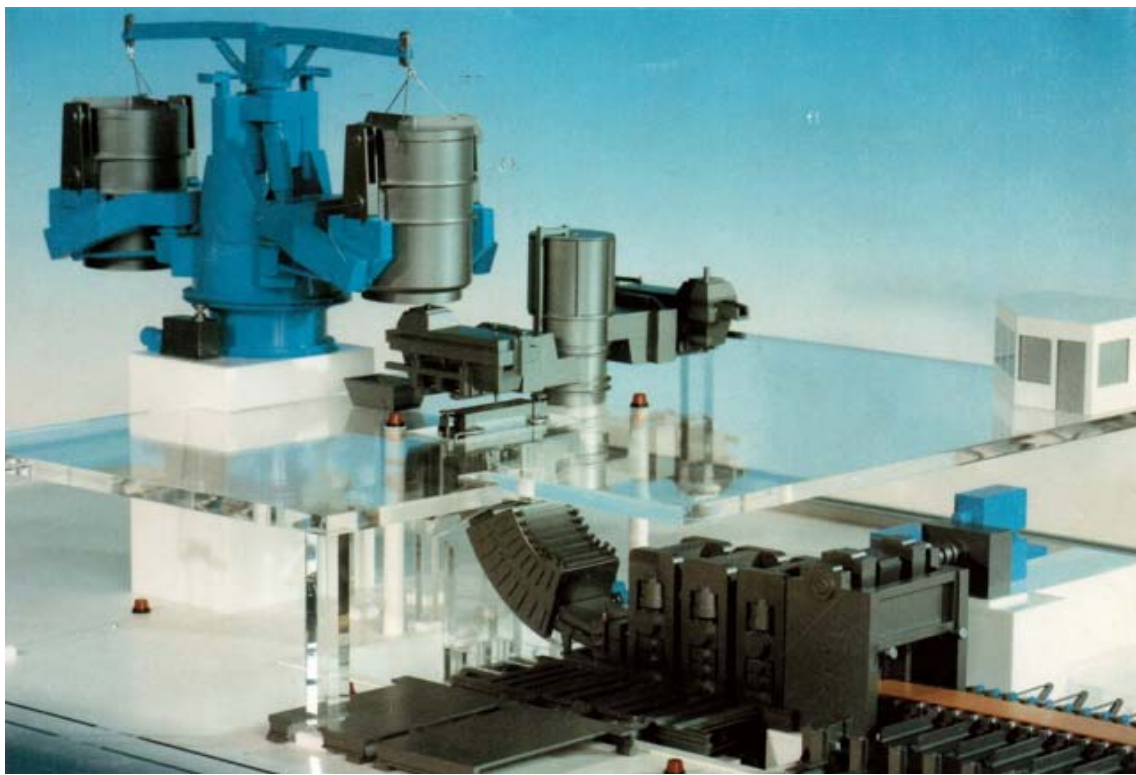


Рис. 1. Фрагмент макета литейно-прокатного агрегата по технологии ISP

С 1987 по 1989гг. Mannesmann Demag провела испытания по литью плоской заготовки на модифицированном литейном агрегате с двумя ёмкостями для разлива в отделении Mannesmann Steelworks, Дуйсбург, Германия. В результате, новая технология прокатки слитка в сочетании с хорошо зарекомендовавшим себя методом непрерывного литья позволяет получать продукцию необходимого качества. На МНЛЗ производится слиток толщиной минимум 15 мм или слиток, который может быть прокатан с относительно небольшими затратами на стане.

Свойства материалов, полученных при прокатке литьём тонких полос (слябов) такие же, как полученные традиционной прокаткой. Слитки имеют хорошее качество и являются продуктом для продажи с диапазоном толщины 1035 мм. Более тонкая полоса получается на прокатном стане.

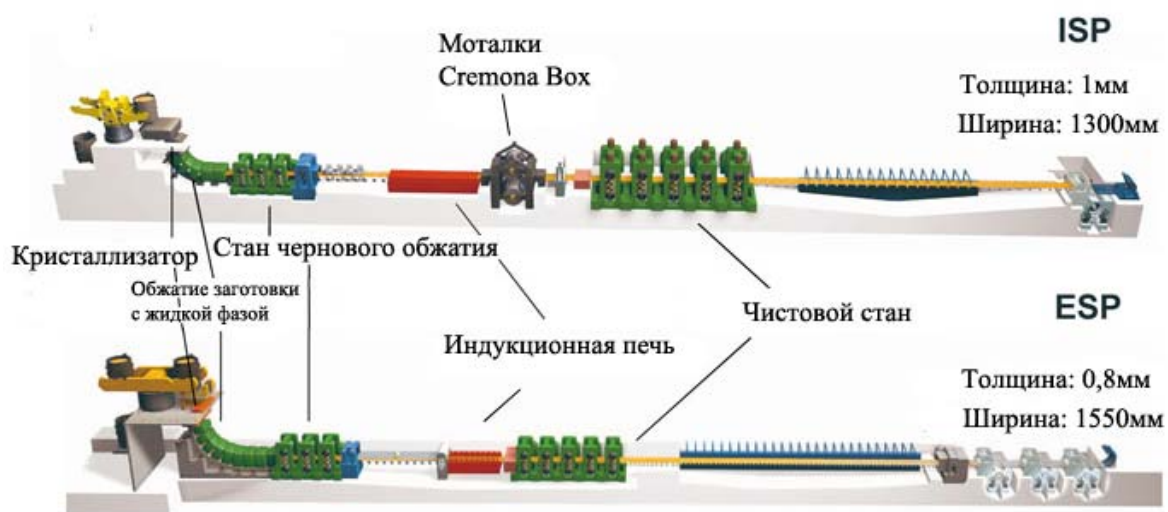


Рис. 2. Компоновочная схема при процессах ISP и ESP

Линия для получения тонких полос непрерывным литьём и прокаткой разработана итальянской компанией Finarvedi. Чтобы связать две стадии процесса, агрегат имеет печь с моталкой и линию чистовых клетей кварто.

При производстве горячей полосы используют технологию непрерывного литья и последующее уменьшение толщины в нескольких группах клетей. Этот процесс назван ISP – Inline Strip Production (или поточное производство полосового проката), и развит совместно фирмами Mannesmann Demag и Arvedi. Данный агрегат сконструирован для производительности 500 тыс. тонн в год из которых 200 тыс. полос из нержавеющей стали.

На одноручьевой МНЛЗ производятся тонкие слябы шириной 650...1330 мм. Толщина сляба в кристаллизаторе: 60 мм и минимум 15 мм на выходе из последней пары валков машины. Длина сляба зависит от массы рулона (20 кг/мм). Максимальная скорость литья в кристаллизаторе – 6 м/мин и 16 м/мин на выходе из последней пары валков литейной машины. В чистовой группе производится горячая полоса толщиной от 1,7 до 12 мм в зависимости от марки стали, толщины и ширины сляба.

Процесс ESP, указанный на рис. 2, является продолжением концепции ISP и расшифровывается как Endless Strip Production, что означает производство бесконечной полосы. В данном случае не требуется промежуточный подогрев полосы и промежуточная смотка полосы перед чистовой группой клетей, число которых варьируется в зависимости от требуемой выходной толщины проката.

Табл. 1. Основные технические данные

Толщина сляба, мм	<60 (в процессе); 15...25 (в намотке);
Ширина сляба, мм	650...1330мм
Масса рулона, кг	макс. 26.600
Удельная масса рулона, кг/мм	макс. 20
Толщина готовой полосы, мм	1,7...12 мм
Производительность, т/год	500 тыс.
Начало работы, г	1991



Рис. 3. Литейно-прокатный агрегат в Дуйсбурге

Табл. 2. Характеристики МНЛЗ

Количество машин	1
Количество полос	1
Размер плавки, т	100
Тип машины	Тонкослябовая МНЛЗ с прокаткой слитка
Толщина слитка, мм	60-80
Радиус машины, м	5,2
Поворотный стенд	Дроссельного типа с подъемником и весами
Стопорный стенд	Два независимых рычага с подъемными средствами
Мощность стопорного стенда, т	20
Тип кристаллизатора	Вертикально-радиальный с прямоугольным сечением
Механизм качания кристаллизатора	Гидравлическая приводная система
Вторичное охлаждение	Водовоздушное охлаждение
Режим операции	Выплавка и непрерывное литье
Количество клетей высокого обжатия	3
Тип	Четырех-валковые клетки с гидравлической системой AGC
Рабочие валки, мм	d=410; H=1500
Опорные валки, мм	d= 800; H=1400
Усилие прокатки, кН	макс. 13000
Мощность главного привода, кВт	500

Табл. 3. Характеристики оборудования на МНЛЗ

Делительные ножницы	Маятниковые
Сила реза, кН	10000
Температура реза, °С	350
Мощность, кВА	20000
Тип печи с моталками	Закрытого типа
Производительность	2 намотки
Внутренний диаметр рулона, мм	1300
Наружный диаметр рулона, мм	2300
Нагрев	Природный газ
Температура в печи, °С	макс. 1200



Табл. 4. Характеристики чистового стана

Количество клетей	4
Тип	Четырех-валковые клетки с гидравлическими системами АГС и UPCS
Диаметры рабочих валков, мм	700/600
Диаметры опорных валков, мм	1450
Длина бочки рабочих валков, мм	1900
Длина бочки опорных валков, мм	1400
Сила прокатки, кН	40000/25000
Мощность привода, кВт	6000/4000
Моталка	Трёхвалковая с пневматической регулировкой
Внутренний диаметр рулона, мм	762 (номинал)
Наружный диаметр рулона, мм	макс. 2000
Мощность привода, кВт	750

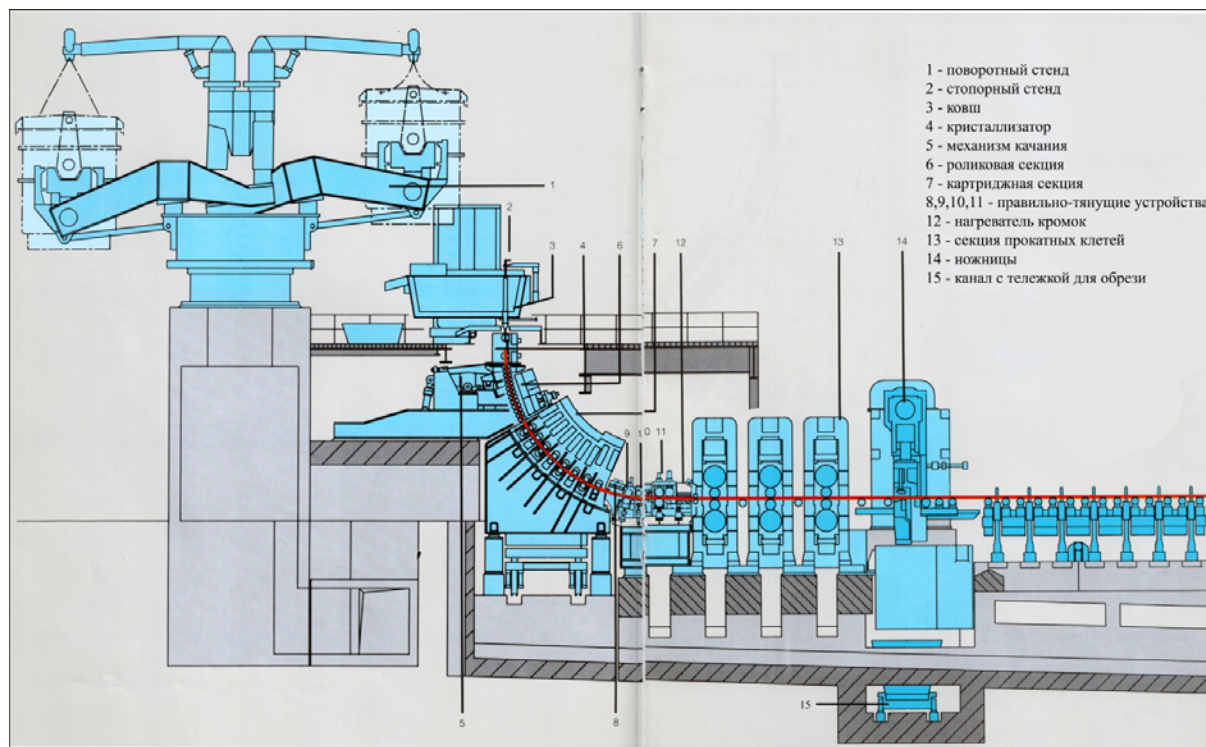


Рис. 4. Принципиальная схема компонентов МНЛЗ

100 тонн расплавленного металла доставляются до МНЛЗ с помощью специального ковша, установленного на вращающемся стеле. Другой стел в это время устанавливает второй ковш в положение для его заполнения. Использование этих двух стелов позволяет более гибкую работу, поскольку литье в две ёмкости увеличивает точность позиционирования ковша (т.к. ковш будет обладать меньшим весом) относительно традиционной установки ковша на рельсы. Кроме того, в момент заполнения одного ковша, второй может производить разливку металла, что значительно увеличивает быстродействие.



Рис. 5. Машина непрерывного литья агрегата

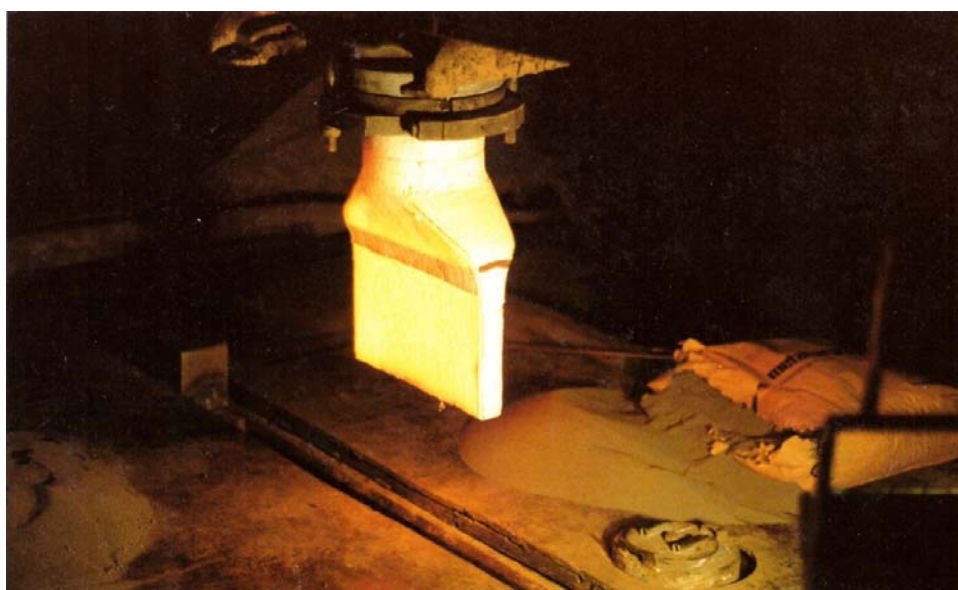


Рис. 6. Кристаллизатор и фрагмент заготовки

Кристаллизатор имеет вертикально-радиальную форму, созданную производителями для литья тонких слябов. Верхняя часть медных пластин кристаллизатора является вертикальной благодаря простым параллельным широким граням. Эта конструкция предоставляет достаточное пространство для стакана, и при его заполнении происходят только минимальные деформации, которые распределяются однородно по всей ширине полосы. Из-за её относительно простого профиля литейная форма может быть установлена во все типы литейных машин, имеющих вертикально-радиальный кристаллизатор. Кроме того, могут быть обеспечены все особенности процесса, такие как быстрая установка ширины полосы, изменение скорости литья и даже остановка полосы, замена сталеразливочного стакана и промежуточного разливочного устройства.

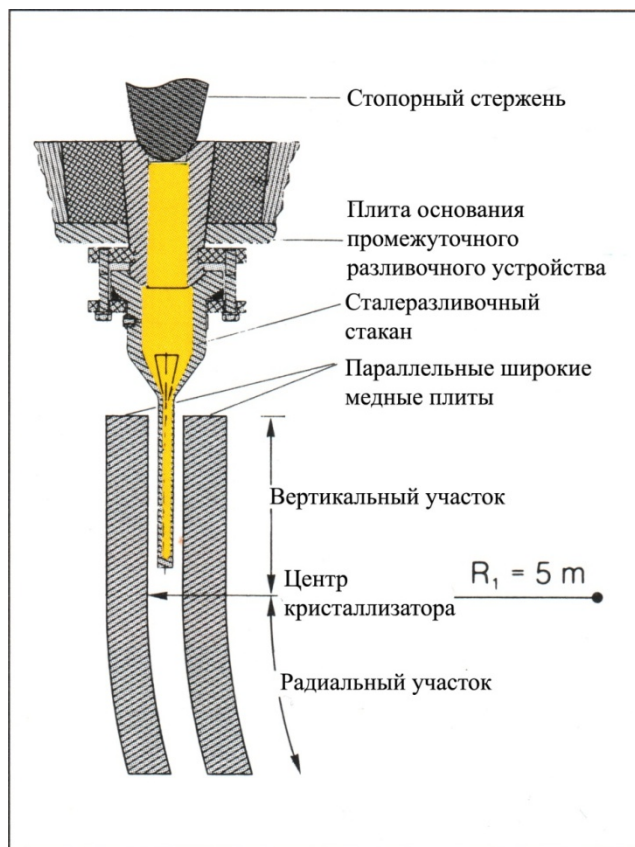


Рис. 7. Вертикально-радиальный кристаллизатор со сталеразливочным стаканом для литья тонких слябов

Сталеразливочный керамический стакан спроектирован специально для геометрии кристаллизатора. Улучшенное сопротивление растрескиванию и низкий износ на уровне расплавленной стали требуют новых материалов и процессов пластической обработки. Сталеразливочный стакан позволяет также использовать систему скользящей заслонки на промежуточном разливочном устройстве. Стакан общей толщиной 30 мм имеет толщину стенки 10 мм и ширину 250 мм. Жаростойкий материал получен методом изостатического прессования (метод порошковой металлургии, в котором применяется всестороннее сжатие порошка). Он состоит по существу из глинозёма графита, обогащенного нитридом бора и оксидом циркония. Устройство сталеразливочного стакана позволяет проводить литьё с максимальной производительностью в 3 т/мин.

За вертикальной частью кристаллизатора следует радиальная. Радиус разливочной машины составляет 5,2 м, полная длина медной части – 1000 мм. Опорные ролики нулевого сегмента, установленные под кристаллизатором, используются для поддержки широких граней полосы. Данные ролики не приводные.

Механизм качания кристаллизатора оборудован системой приводов, использующих два сервоуправляемых (Сервопривод – привод с управлением через отрицательную обратную связь, позволяющую точно управлять параметрами движения) гидравлических цилиндра. Система позволяет синусоидальное движение так же, как и другие виды колебаний, которые лучше всего соответствуют некоторым требованиям к прохождению процесса литья. Высота хода может быть отрегулирована непрерывно даже во время литья, в пределах +3.6 мм. Диапазон частот – до 400 ходов в минуту. Постановка привода такова, что система гидропривода может быть заменена системой электромеханического привода.



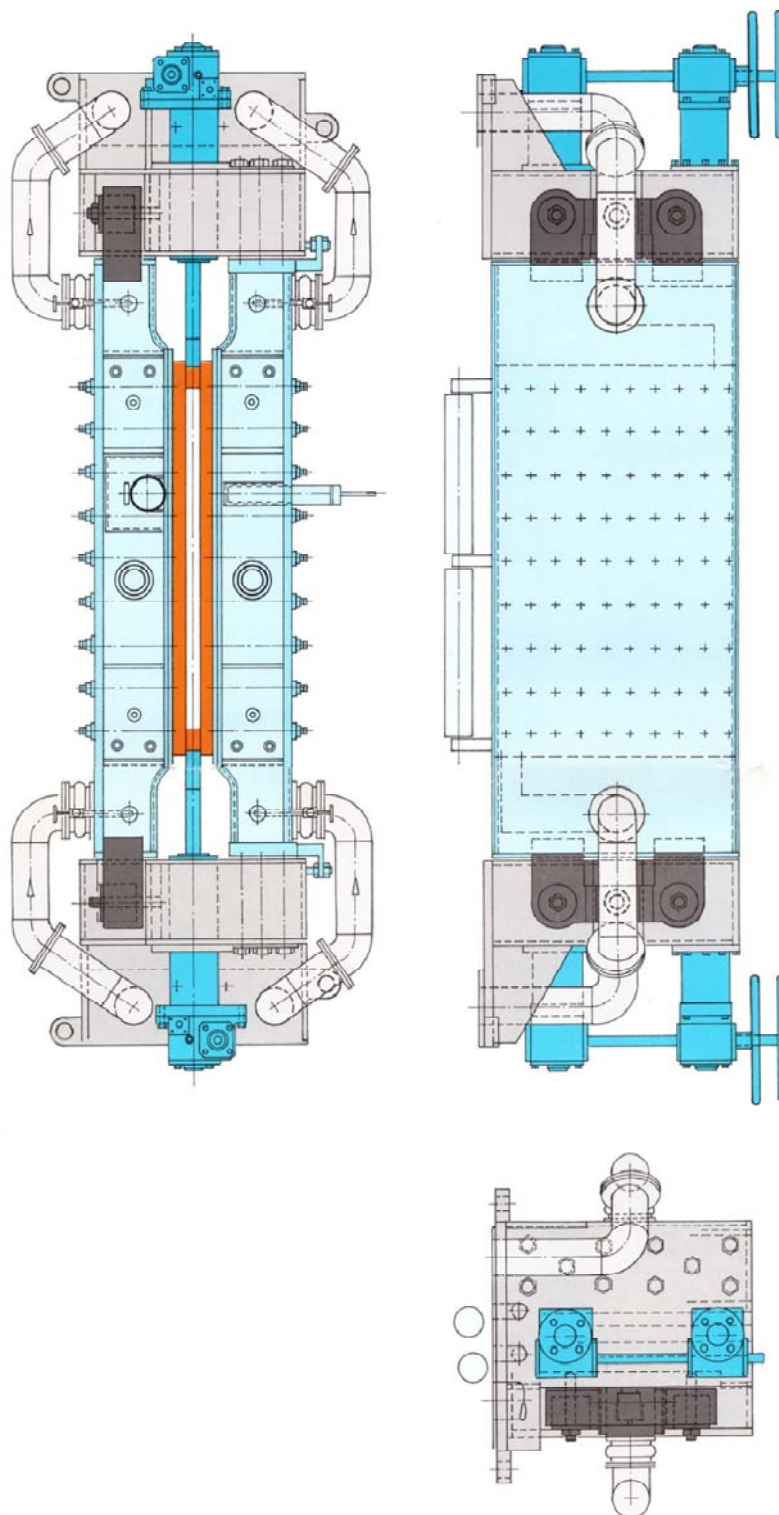


Рис. 8. Кристаллизатор с переменной шириной

Литьё полосы проводится в трёх зонах с помощью:

- 12ти пар роликов в 0 сегменте, установленном за кристаллизатором;
- 16ти пар валков в картриджной секции;
- 3х черновых клетей в блоке высокого обжатия;

Уменьшение толщины начинается там, где сердцевина заготовки еще жидкая и продолжается до того момента, пока полоса не затвердеет. Машина спроектирована таким образом, чтобы заготовка полностью затвердела к последнему её сектору. «Сегмент 0» разработан как участок для уменьшения толщины полосы примерно на 15 %. Процесс характеризуется непрерывным уменьшением толщины с небольшим шагом, чтобы предотвратить неблагоприятное воздействие на затвердевание. Картридная секция позволяет производить деформирование полосы там, где сердцевина еще жидкая, и там, где заготовка полностью затвердела. Она состоит из 18-ти гидравлически регулируемых пар валков и деформирует полосу примерно до 40мм толщиной. Характерной особенностью является непрерывное обжатие всей толщины на малых расстояниях.

Полоса перемещается на твёрдых сварных роликах, а охлаждение полосы производится в виде тумана(паровоздушное). Перед входом в сектор обжима, полоса проходит через промежуточные зоны (переходная зона) между картридной секцией и тремя клетями, состоящими из:

- небольшой закрытой зоны;
- устройства для перемещения заготовки в первую деформирующую клеть;
- системы удаления окалины;
- небольшого нагревателя краёв полосы;

Главная цель - удалить окалину со сляба, выровнять температуру краёв заготовки и подать полосу к первой деформирующей клетке. Блок высокого обжатия состоит из трёх прокатных клеток кварто и предназначен для деформирования затвердевшей полосы и придания материалу необходимой структуры для последующей прокатки. С его помощью, на выходе из МНЛЗ, толщина полосы составляет 15мм. Как только достигается необходимая толщина, полоса разгоняется.

Маятниковые ножницы нарежут горячую полосу на мерные длины. Можно резать слябы толщиной 15-30мм на определенную длину для определения структуры после нормализации. Слябы удаляются через транспортёр и могут продаваться как готовый продукт.

Тонкий сляб поступает по теплоизолированному рольгангу в индуктор. Оно обеспечивает равномерную температуру полосы и повышает общую температуру до уровня, необходимого для прокатки.

После нагревательной печи, каждая часть полосы сматывается моталкой. С помощью печи-моталки, сохраняется постоянная температура рулона. Эта печь оснащена двумя секциями намотки, установленными друг над другом. Она связывает два процесса с различными скоростями, что позволяет проводить прокатку на нормальной для данного процесса скорости. В то время, когда полоса сматывается на одном блоке, происходит одновременное разматывание (для последующей прокатки) на другом. Для процесса намотки полоса проходит через гидравлически регулируемую проводку. Моталка сматывает полосу со скоростью литья и определенным натяжением полосы. Чтобы поддерживалась постоянная температура полосы, во время намотки используется газовая нагревательная печь.

Для прокатки полосы в чистовой группе, секция печи поворачивается из положения намотки в положение разматки. Такая система с печью-моталкой носит название “CremonaBox”. Смотанный в рулон сляб проходит ряд водовоздушных обработок для удаления окалины.



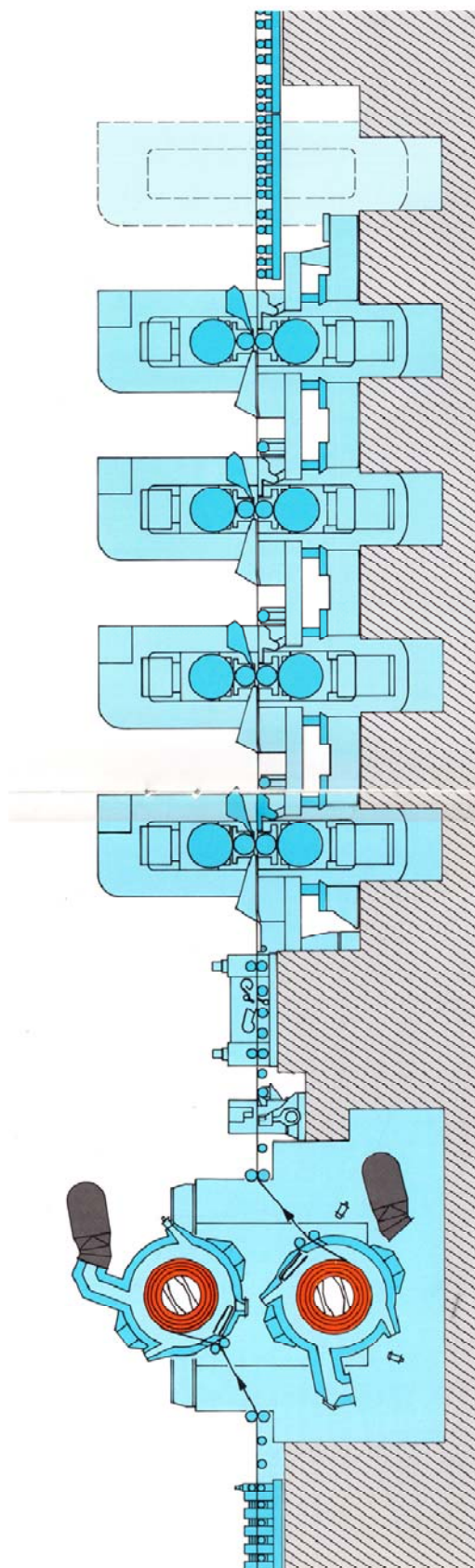


Рис. 9. Моталки CremonaВoхи чистовой стан агрегата



Рис. 10. Четырехвалковые клетки чистового прокатного стана

Полоса направляется из секции CremonaBox через сектор с тянущим валком, который подаёт полосу через ножницы и очиститель от окалины к чистой клетке на скорости приблизительно 0,5...0,8 м/с. В случае неисправности ножницы отрезают тот отрезок полосы, который находится вне секции печи, если температура слишком мала для последующей прокатки

Стан горячей прокатки полосы состоит из печи с моталками, аварийных ножниц, системы очистки от окалины и четырехклетевого стана, работающего в непрерывном режиме. Фундамент заранее подготовлен к возможному увеличению количества клеток до пяти. Крупносортовую заготовку, прибывающую из горячей печи с моталкой, прокатывают в чистовых клетях до толщины минимум 1,7 мм. Температура полученной полосы – приблизительно 1050...1100°C с максимальной толщиной в 25 мм.

Преимущества чистового прокатного стана агрегата по сравнению с традиционными:

- Постоянная температура по всей длине полосы;
- Отсутствие необходимости ускорения;
- Относительно низкая скорость за клетью №4;
- Малое количество клеток;

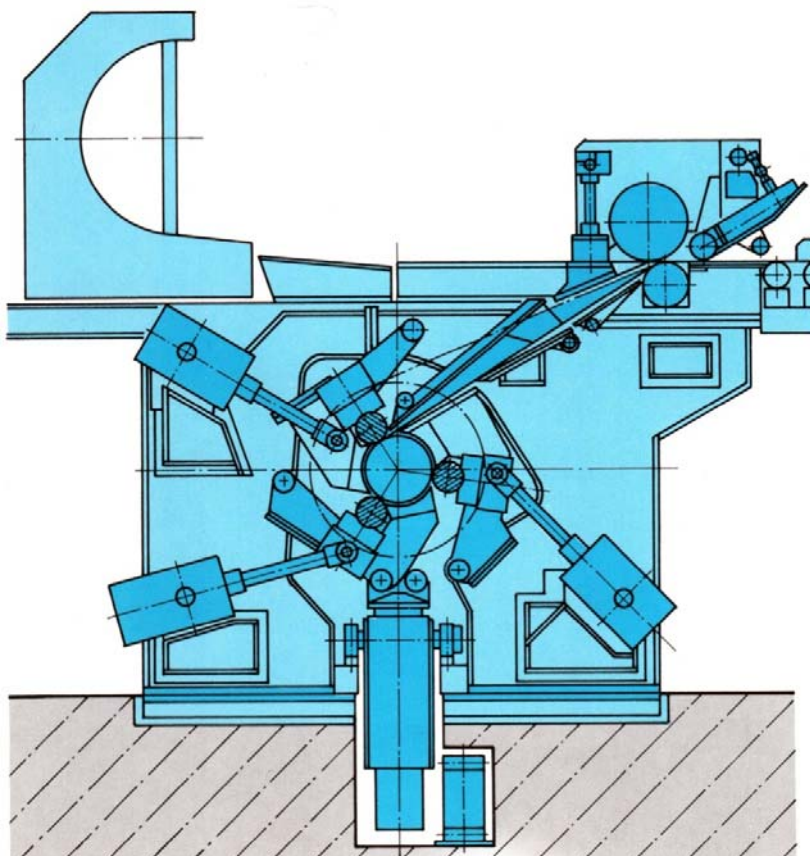


Рис. 11. Конечная моталка

Четырехвалковые клетки прокатного стана имеют гидравлическую систему для регулировки положения рабочих валков в соединении с Автоматическим Датчиком Контроля (AGC – Automatic Gauge Control) и Универсальным Контролем Профиля (UPC – Universal Profile Control), контролирующим перемещения и изгибы рабочих валков. Таким образом достигаются оптимальные допуски по толщине, профилю полосы и отклонения от плоскостности.

Готовая горячая полоса выходит из последней клетки с максимальной скоростью 10 м/с и проходит через многоуровневую охлаждающую систему, обеспечивающую температуру смотки рулона. После чистовой прокатки полоса поступает на конечную моталку, сматывается в рулоны и затем удаляется с линии.

- В каждом из трёх роликов моталки используются воздушные цилиндры в сочетании с механической регулировкой зазора.

- Прочная конструкция моталки из-за большого сечения вала моталки. Моталка может быть расширена до 4-х сегментов.

- Длительный срок службы оправки обеспечивается непрерывной смазкой и водяным охлаждением.

- Воздушные цилиндры имеют переменное давление, что обеспечивает амортизацию верхнего вала.

Размеры диаметра барабана управляются в зависимости от длины и толщины рулона.



На данном этапе можно сказать, что описанный выше агрегат для производства тонких слябов, составленный из машины непрерывного литья, печей с моталками и четырехклетового чистового прокатного стана кварто, имеют следующие достоинства:

- Компактная конфигурация цеха за счет прямого соединения МНЛЗ через индукционный нагрев и технологии намотки к чистовому прокатному стану: итоговая длина агрегата, начиная от сталеразливочного ковша и до конечной моталки, составляет примерно 180 м;
- Оптимальное использование тепла слитка для процесса прокатки, что обеспечивает постоянную температуру сляба в первой клетке чистового стана;
- Повышение механических характеристик и качества производимой продукции;
- Рентабельность даже при невысокой серийности;
- Сокращение капитальных затрат;

Высокое качество материала можно объяснить наличием мелкозернистой структуры, которая обеспечивается более коротким временем затвердевания сляба по сравнению с обычным толстым слябом, а также использованием технологии прокатки полосы с ещё жидкой сердцевиной LCR (Liquid Core Reduction).

На нескольких заводах России установлены такие литейно-прокатные агрегаты, а ряд вопросов отработки технологии решен выпускниками кафедры МТ10 МГТУ им. Н.Э. Баумана.

#### Литература

1. *Mannesmann DemagHuttentechnik* I.S.P. Inline Strip Production Demag/Arvedi Technical Documentation
2. Перлов Н.И., Истеев А.И., Тюрин В.А. и др. Англо-русский металлургический словарь – М.: Рус.яз., 1985, 841 с.
3. Официальный сайт Arvedi Group - <http://www.arvedi.it>