

УДК 621.771

ОБЗОР ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ И ОБОРУДОВАНИЯ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА СВЕРХТОНКОЙ ГОРЯЧЕКАТАНОЙ ПОЛОСЫ

Юрий Михайлович Куренков

Студент 4 курса

кафедра «Оборудование и технологии прокатки»

Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана

Научный руководитель: А.В. Мунтин,

кандидат технических наук, главный специалист по рулонному прокату ОАО "ВМЗ"

Введение

Развитие авиации, автомобилестроения, приборостроения, энергетического машиностроения, повышение эффективности линий по штамповке изделий из рулонной листовой стали, в том числе, с глубокой вытяжкой, а также рост выпуска кровельных материалов и необходимость улучшения качества товаров народного потребления (легковых автомобилей, холодильников, стиральных машин и др.) требует производства планшетных полос, лент, листов и фольги. Наиболее актуальна проблема получения планшетных (ровной формы) полос при горячей прокатке на широкополосных станах. Качество листа во многом зависит от правильной, а точнее, от научно-обоснованной настройки стана. Несмотря на успехи ученых и производственников в области улучшения плоскостности прокатываемых полос, более жесткие требования новых стандартов и заказчиков к качеству проката вызывают необходимость в разработке и реализации эффективных технологий и технических средств, позволяющих производить планшетный металл.

В настоящее время самым крупным рынком для такой полосы являются сварные трубы и строительные металлоконструкции. Горячекатаная полоса используется как основа для нанесения покрытий, а также в качестве исходного материала для холодной прокатки. Новые технологии горячей прокатки и оборудование дают возможность достигать качества поверхности, стабильности толщины и формы профиля, которые позволяют этой продукции конкурировать с холоднокатаной полосой в ряде отраслей. Решающим фактором является конкурентоспособность в части себестоимости такой продукции. Так как нет дополнительного передела, т.е. холодной прокатки, себестоимость конечной продукции снижается, но вместе с тем важно обеспечить стабильный процесс прокатки и качество тонкой горячекатаной полосы. При этом прогнозируется, что в Европе до 27% холоднокатаной полосы на рынке может быть заменено на ультра тонкую горячекатаную полосу толщиной менее 1,2 мм. Фирма Danieli ожидает, что эта доля может достигнуть 35% при снижении цены на \$20-30 за тонну.

Однако при горячей прокатке полосы высокое качество, как правило, гарантируется при толщине полосы не менее 1,5 мм. При попытке получить более тонкую полосу возникают проблемы с качеством поверхности, планшетностью, соблюдением скоростных и температурных параметров производства, стабильностью процесса прокатки. К тому же, при скоростях прокатки более 15 м/с у полос толщиной порядка 1 мм при транспортировке по отводящему рольгангу к моталке происходит нерегулируемый подъем (планирование) переднего конца. Таким образом, совершенствование технологии и оборудования, обеспечивающих производство качественной полосы толщиной менее 1,5 мм в условиях широкополосных станов горячей прокатки, является актуальной задачей.

Горячую прокатку полос осуществляют на непрерывных и полунепрерывных станах. На сегодняшний день традиционными считаются станы для прокатки полосы из сляба толщиной до 300 мм с повторным нагревом в методических печах или печах с шагающими балками.

Например, на Магнитогорском металлургическом заводе полосу толщиной 1,2 – 16 мм прокатывают из сляба толщиной 230 - 300 мм. При этом выплавка стали и разливка слябов может осуществляться в отдельном цеху или даже на другом заводе.

По данным фирмы Siemens VAI, для производства полосы UTHS (Ultra Thin Hot Rolled Strip – сверхтонкая горячекатаная полоса) наиболее рационально использовать тонкослябовую заготовку толщиной 70-150 мм. Наиболее значимым событием последних десятилетий в черной металлургии явилось создание технологии производства горячекатаной стальной полосы на основе тонкослябовой отливки, которая подразумевает прямую прокатку горячего сляба после МНЛЗ. Этот процесс получил название «Компактное производство полосы» — процесс CSP (Compact Strip Production). Преимущества данного процесса очевидны, а по сравнению с традиционным способом производства рулонного проката проката CSP с тонкослябовой машиной непрерывного литья обеспечивает:

1. Снижение удельных капитальных затрат на 30 - 40%;
2. Снижение себестоимости проката на 20 - 25%;
3. Снижение энергетических и материальных ресурсов на 50 - 60%;
4. Улучшение экологических условий;
5. Сокращение времени выполнения заказов.

Рассмотрим подробнее особенности станов по производству горячекатаной полосы.

Традиционный непрерывные широкополосные станы горячей прокатки

Непрерывный широкополосный стан 2000 является традиционным для горячей прокатки полос, который позволяет получать листовой и рулонный прокат толщиной 1,5-16,0 мм и шириной 750-1950 мм из литых слябов толщиной до 300 мм. В России функционирует три стана 2000: ЧерМК (Череповецкий Металлургический Комбинат), ММК (Магнитогорский Металлургический Комбинат), НЛМК (Новолипецкий Металлургический комбинат). Типовая схема НШПС 2000 представлена на рис.1.

При производстве слябы нагреваются в печи до 1200-1250°C, далее по рольгангу транспортируются в черновую группу стана. После прокатки в первых двух черновых клетях раскат поступает в непрерывную трехклетевую группу до толщины 25-50 мм. После прокатки в черновой группе клетей подкат по промежуточному рольгангу поступает в чистовую групп. Перед чистовой группой установлены летучие ножницы для обрезки переднего и заднего концов подката, что уменьшает динамические нагрузки при захвате и стабилизации процесса прокатки. После обрезки переднего конца раскат направляют в чистовой окалиноломатель. Далее металл прокатывают в чистовой группе до конечной толщины. Окончательную геометрию полосы измеряют бесконтактными измерителями, расположенными за последней клетью стана. После выхода полосы из непрерывной чистовой группы ее транспортируют по отводящему рольгангу к моталкам. На отводящем рольганге расположена система охлаждения, которая снижает температуру полосы на 200—250°C. На моталке полосу сматывают в рулон.

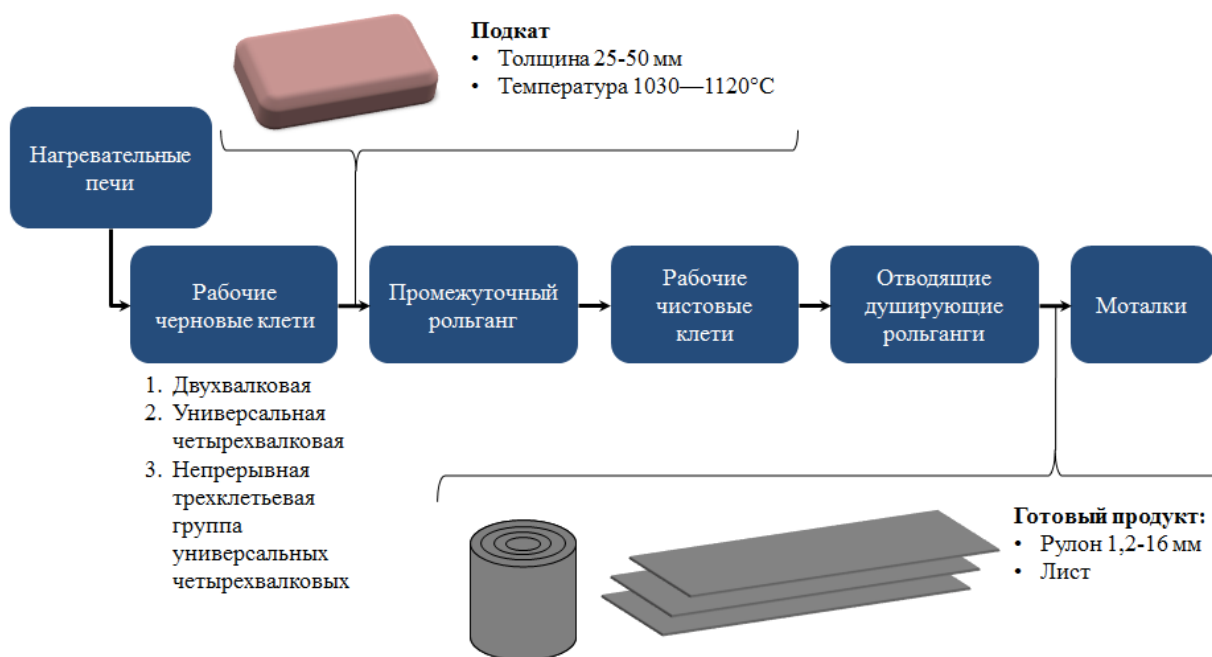


Рис. 1. Общая схема НШПС 2000

Распространение получили также комбинированные полунепрерывные станы, такие как ПНШПС 2800/1700 Череповецкого металлургического комбината или стан 2300/1700 Челябинского металлургического завода, у которых черновая группа фактически представляет собой толстолистовой стан, а чистовая — аналогична чистовой группе НШПС. Металл, прокатанный в черновой группе, может быть направлен в чистовую группу для дальнейшей прокатки на меньшую толщину или отправлен на отделку и термическую обработку. На промежуточном рольганге этих станов размещают роликовые правильные машины и оборудование для поддержания температуры раската (например, проходные печи, как на стане 2300/1700 ЧМЗ).

При освоении производства особо тонкого горячекатаного проката в чистовой группе клетей полунепрерывного комбинированного стана 2800/1700 ЧерМК» существует ряд проблем, связанных с ростом затрат энергии на процесс прокатки, ухудшением качества поверхности готового проката и снижением стойкости рабочих валков последних клетей. Устранение этих негативных явлений осуществляют путем усовершенствования режимов обжатий, межклетевых натяжений, а также температурного режима прокатываемых полос. Для оптимизации прокатки тонкой полосы предложены следующие изменения:

1. Уменьшение частных обжатий в 4^й, 5^й и 6^й клетях на 10–30% относительно значений, а следовательно снижение в них максимальных контактных напряжений на 20–60%;
2. Увеличение температуры подката до 1080°C;
3. Увеличение удельного межклетевого натяжения до 10–15% от величины сопротивления деформации, что, за счет повышения устойчивости движения полосы, способствует лучшему ее удержанию на оси прокатки и оказывает дополнительное влияние на уменьшение разноширинности полос.

CSP-компактное производство полосы

CSP (Compact Strip Process или литейно-прокатные комплексы) – технологическая линия, разработанная компанией SMS-Demag (Германия), для производства тонкого слябов толщиной 50-100 мм и его последующей прокатки в тонкую полосу. Низкие удельные капиталовложения, короткий строительный цикл, простая и компактная технология,

специализированный сортамент продукции, ориентированный на конкретного потребителя - весь этот комплекс объективных предпосылок сделал литейно-прокатные комплексы CSP одним из наиболее динамично развивающихся и эффективных направлений в черной металлургии. Первые шаги в направлении горячей прокатки особо тонкой полосы по технологии CSP были предприняты компанией Ternium Hylsa (Мексика) в 1995г. Практика показала, что для прокатки готовой тонкой полосы необходимо модернизировать системы автоматизации. Компании удалось прокатать готовую полосу минимальной толщиной 0,91 мм благодаря:

1. Пересмотру режима обжатый;
2. Созданию быстродействующей системы контроля и регулирования полосы;
3. Установка систем подачи смазки в межвалковый зазор (для уменьшения давления металла на валки и снижения их износа).

Проектированием и строительством литейно-прокатных комплексов (ЛПК) также занимаются компании Siemens VAI и Danieli. В 2008 году в г. Выкса Нижегородской области запущен ЛПК «ОМК-Сталь» (производитель оборудования – Danieli) (рис. 2).

Процесс производства начинается с загрузки металлолома в дуговую сталеплавильную печь. Далее следует этап выплавки, после которого готовый расплав подается в МНЛЗ. Продуктом на этой стадии производства является стальная заготовка – тонкий сляб, производство которого обеспечивается за счет воронкообразного кристаллизатора. Толщина на выходе из кристаллизатора – 110 мм, толщина готового сляба – 90 мм. Технологический процесс включает в себя обжатие слитка с жидкой сердцевинной и позволяет изменять ширину сляба в процессе разлива. После разлива непрерывный сляб делится на мерные длины на ножницах перед туннельной печью. В туннельной печи роликового типа происходит нагрев и выравнивание температуры перед прокаткой.

Далее слябы прокатывают в 2-ух черновых и 6-ти чистовых клетях непрерывного широкополосного стана 1950, между которыми располагается участок интенсивного охлаждения раската и подогреваемый рольганг длиной 100 м., где проводится выравнивание температур раската и обеспечивается сохранение тепловой энергии. Черновая группа клеток оснащена вертикальными валками, предназначенных для обжатия кромок раската с целью получения заданной ширины. Перед прокаткой в чистовой группе клеток проводится удаление с поверхности раската окалины и обрезка концов полосы. Дальнейшее формирование геометрии и механических свойств происходит в чистовой группе клеток и при охлаждении полосы на отводящем рольганге в установке ламинарного охлаждения. Затем полоса сматывается в рулон на моталке подпольного типа.

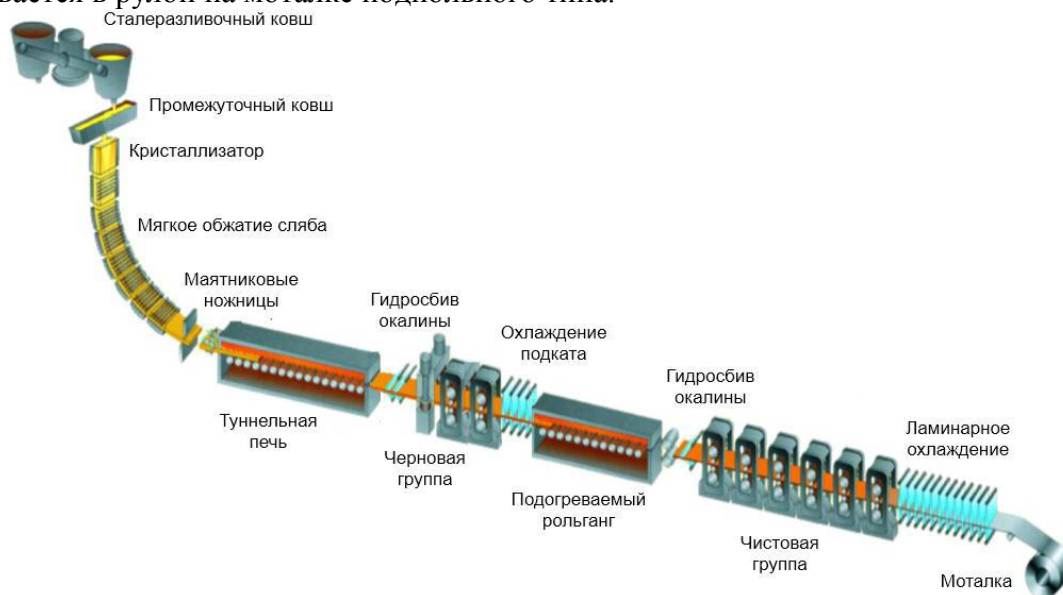


Рис. 2. Схема ЛПК «ОМК Сталь»

При производстве рулонного проката на ЛПК «ОМК-Сталь» удалось добиться минимальной толщины 1,0 мм при ширине 1200 мм. При этом отмечены стабильные геометрические параметры и механические свойства стали, соответствующие всем техническим требованиям.

Полубесконечная полоса

Критическим моментом при производстве тонких полос продолжает оставаться заправка переднего конца полосы в стан чистовой прокатки и выход заднего конца. Компания SMS-Siemag разработала полубесконечный процесс прокатки, который реализован на заводах Masteel (Малайзия) и Lysteel (Китай). По данной схеме прокатки длинный тонкий сляб длиной 270 м и более разливают и прокатывают за одну операцию. Прокатку такого сляба вначале ведут до некритической толщины полосы, что позволяет обеспечить стабильный захват при прокатке и смотке полосы. В ходе прокатки межвалковые зазоры уменьшают до величины, необходимой для получения требуемой толщины. Отличия в конфигурации этих агрегатов по сравнению с CSP заключаются в высокоскоростных ножницах, установленных непосредственно перед моталками и обеспечивающих порезку полосы на скорости до 18-20 м/с, а также в узле направляющих роликов с переключателем, позволяющим быстро перенаправлять полосы с одной подпольной моталки на другую. Используя принцип полубесконечной прокатки, компания Lysteel освоила производство полосы толщиной 0,77 мм.

ESP-производство бесконечной полосы

Цех ESP (endless strip production) бесконечной прокатки полосы, завода Arvedi (Италия), спроектирован и построен фирмой Siemens VAI. Применяемая технология позволяет получать тонкую горячекатаную полосу высокого качества при меньших затратах, чем описанные выше технологические процессы. Благодаря бесконечному характеру процесса (полоса достигает длины 150 км) исключается необходимость в периодически повторяющейся операции по задаче переднего конца заготовки в клети прокатного стана. На этом основана возможность производства сверхтонких полос в линиях ESP. Прокатка полосы происходит при постоянном натяжении, что исключает опасность искажения ее формы, в том числе в условиях нестабильного процесса прокатки концов заготовок. Достигается низкий расходный коэффициент металла, так как отсутствует обрезь от переднего и заднего концов заготовок. Резку полосы производят только перед ее поступлением к подпольным моталкам.

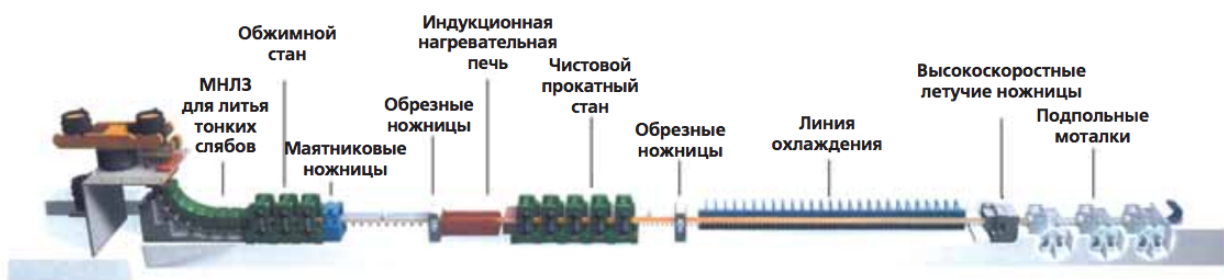


Рис. 3. Схема технологического процесса линии Arvedi

Литейно-прокатный агрегат (рис.3) имеет длину 190 м, что составляет менее половины длины типового широкополосного стана горячей прокатки, без учета МНЛЗ и промежуточных складов. Номинальная производственная мощность нового агрегата превышает 2 млн. т/год горячекатаной полосы в рулонах. Ширина прокатанной полосы достигает 1600 мм, толщина — от 0,8 мм и более.

Три клетки чистовой группы прокатного стана оборудованы профилированными валками, что обеспечивает высокий уровень плоскостности прокатанной полосы. Все клетки стана оборудованы системами автоматического регулирования толщины полосы и другими контрольными системами. После выхода из последней клетки стана полосу охлаждают с помощью системы ламинарного охлаждения, благодаря чему получают требуемые механические свойства металла. Затем полоса проходит через высокоскоростные ножницы и сматывается в рулон на одной из трех подпольных моталок. Наилучшим результатом в производстве сверхтонкой полосы на агрегате ESP является прокатка полосы толщиной 0,8 мм и шириной 1500 мм.

Возникновение дефектов формы при производстве тонких полос

Неудовлетворительная планшетность горячекатаных полос толщиной менее 2 мм вызывает повышенную отбраковку и доработку рулонного проката, что повышает себестоимость его производства. Также образование дефекта планшетности приводит к нарушению стационарного процесса прокатки, обрывам прокатываемых полос, наварам рабочих валков, порезу полос.

Наиболее распространённым дефектом планшетности в практике прокатного производства является волнистость, когда прокатываемая полоса на её отдельных участках изгибается в продольном и поперечном направлении, причём радиус изгиба изменяется как по длине, так и по ширине полосы. Как правило различают следующие варианты волнистости: краевая волнистость, центральная волнистость и местная волнистость (рис.4). Волнистость может быть как симметричной, так и не симметричной по ширине полосы, стабильно и не стабильной по её длине. Для случаев образования волнистости характерна разность длины соседних участков в направлении ширины полосы. Так, при центральной волнистости участки, расположенные по центру полосы, оказываются длиннее участков полосы, расположенных по её краям, при местной волнистости участки полосы, расположенные в месте дефекта, обычно длиннее, чем её планшетной части.

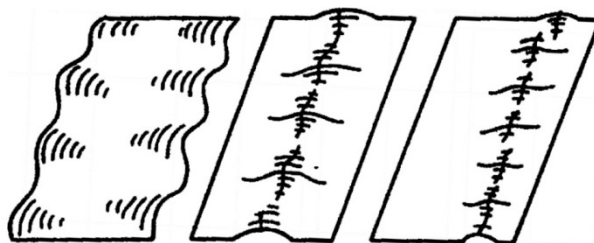


Рис.4. Варианты волнистости (слева направо): краевая, центральная, местная

Образование волнистости при прокатке в межклетевом пространстве может также послужить причиной образования дефекта «порез», когда складка металла закатывается в валках следующей клетки (рис.5). Кроме этого неудовлетворительная планшетность, особенно на головном участке полосы, обуславливает нестабильный процесс прокатки и может стать причиной обрыва полосы и соответственного аварийной остановки стана.

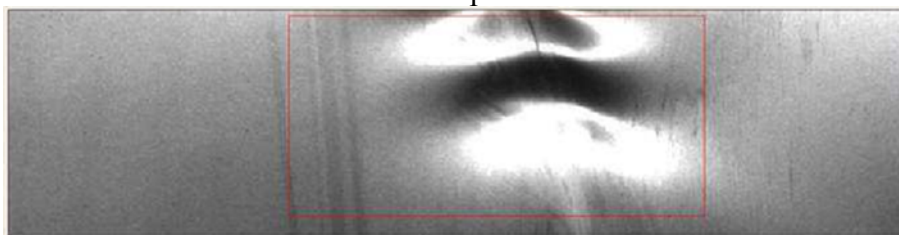


Рис.5. Дефект «порез»

К настоящему времени определены и изучены факторы, приводящие к нарушению планшетности прокатанных полос. Это поперечная разнотолщинность подката,

неравномерность обжатий по ширине очага деформации, вызванная упругим изгибом валковой системы, тепловой выпуклостью и сплющиванием валковой системы, износом рабочих валков. При прокатке обычно происходит одновременное изменение поперечного профиля и планшетности прокатанных полос. По причине упругого изгиба валковой системы, износа или тепловой выпуклости валков изменяется профиль зазора между рабочими валками, что создаёт различное обжатие участков прокатанных полос по её ширине. В более обжимаемых участках полосы в результате сдерживающего воздействия менее обжимаемых участков появляются продольные сжимающие напряжения. В менее обжимаемых участках полосы в результате воздействия обжимаемых её участков появляются продольные растягивающие напряжения. Таким образом, участки прокатанных полос, получившие большую вытяжку, будут упруго растягиваться, а участки, получившие большую вытяжку, будут упруго сжиматься в продольном направлении. Неравномерность напряжений сохранится и в прокатанных полосах в виде продольных остаточных напряжений.

Качество планшетности прокатываемых полос зависит от возможности регулирования параметров прокатки. Классические методы регулирования планшетности: профилирование прокатных валков, регулирование теплового профиля валков, гидравлический изгиб рабочих и опорных валков в чистовых клетях, а также регулирование частных обжатий. Перечисленные методы обладают известными недостатками. Например, профилировка валков, как правило, оптимальна для прокатки определённого типоразмера полос, тепловое регулирование валков имеет значительную инерционность. Применение противоизгиба рабочих валков приводит к дополнительному нагружению подшипников валкового узла и более интенсивному износу бочек валков.

Важным преимуществом гидравлического изгиба валков перед другими способами является его быстроедействие, позволяющее регулировать поперечный профиль полосы непосредственно при прокатке, а также возможность на одних и тех же валках прокатывать полосы разной ширины, разного профилиразмера, с различными режимами обжатий. Для регулирования планшетности прокатываемых полос применяют противоизгиб рабочих валков, и дополнительный изгиб опорных валков (рис.6).

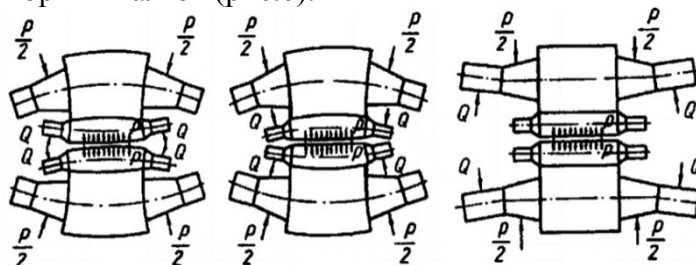


Рис.6. (слева направо) Противоизгиб рабочих, дополнительный изгиб рабочих валков, противоизгиб опорных валков

При этом неправильное использование изгибов может принести отрицательный эффект. Поэтому при разработке технологии и производстве проката необходимо обеспечить точный расчёт энергосиловых параметров процесса прокатки, в частности силы прокатки, которая в значительной степени определяет требуемый изгиб валков.

Заключение

Таким образом, современное оборудование и технологии позволяют получать качественную горячекатаную полосу минимальной толщиной 0,77 мм. Такая полоса может конкурировать с холоднокатаной в определённом марочном и размерном сортаменте, выигрывая у неё по себестоимости. Однако существует ряд технологических трудностей, в первую очередь связанных с обеспечением планшетности полосы и стабильности процесса прокатки. С точки зрения совершенствования оборудования пройден путь от традиционных непрерывных и полунепрерывных широкополосных прокатных станов до литейно-прокатных

комплексов по прокатке бесконечной полосы. С точки зрения технологии необходим осуществлять научно-обоснованный выбор частных обжатий при прокатке, температурных режимов, изгибов и профилировки валков.

Литература

1. Максимов Е.А., Шаталов Р.Л., Босхамджиев Н.Ш. Производство планшетных полос при прокатке // Издательство «Теплотехник». 2008. С 5-13.
2. <http://www.metalspace.ru/>
3. <http://www.siemens-vai.com/>
4. <http://tekhnosfera.com/>
5. <http://www.imet.ac.ru/linkpics/News/tarasov.pdf>
6. Кожевникова И.А, Автореферат «Разработка, теоретическое обоснование, исследование и внедрение эффективных технологий прокатки особо тонких полос». 2012
7. Степанов А. П., Миронова М. О. Анализ энергосиловых параметров процесса прокатки толстых листов на стане 5000. «Студенческая весна 2014: Машиностроительные технологии».– М.: МГТУ им. Н.Э Баумана.