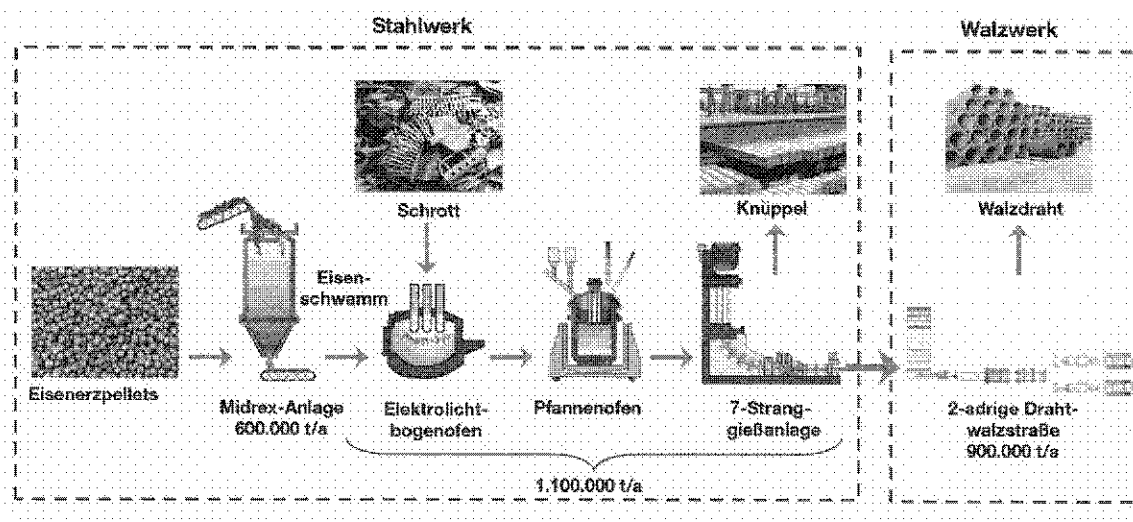


## ЕЖЕГОДНАЯ МЕЖДУНАРОДНАЯ КОНФЕРЕНЦИЯ МЕТАЛЛУРГОВ В ДЮССЕЛЬДОРФЕ (ГЕРМАНИЯ) «СТАЛЬ 2011» (Окончание)

### Современные технологические процессы и предприятия

В докладе Марка Хеллинга (Mark Hoelling), Уве Брауна (Uve Braun), Асгара Юхтера (Asgar Juechter) и Юлиана Пройса (Julian Proiss) сообщены результаты работ по повышению эффективности использования энергетических ресурсов на заводе фирмы ArcelorMittal в Гамбурге. Это предприятие является ведущим в Европе производителем высококачественной проволоки и включает дуговую электропечь производительностью 1,1 млн. т., работающую как на металлоломе, так и на железной губке, производимой на собственной Midrex- установке производительностью 600 тыс. т/год, 7-ручьевую УНРС и двухниточный проволочный стан производительностью 900 тыс. т/год (рис. 6). Предприятие производит как высококачественные марки стали, выплавляемые с использованием высоко-го содержания железной губки в шихте, так и рядовые сорта стали из металлолома.



**Рис. 6.** Схема производства проволоки на заводе ArcelorMittal в Гамбурге

85 % всех заводских выбросов  $\text{CO}_2$  приходится на Midrex- установку (553 кг/т железной губки) и УНРС (466 кг/т заготовки). Были рассмотрены следующие варианты реконструкции этих установок с целью уменьшения выбросов  $\text{CO}_2$  и экономии энергии:

- реконструкция газодувки;
- реконструкция системы вдувания воздуха;
- замена трансформатора электропечи;
- замена катализатора;
- сухая очистка пыли.

Благодаря этим мероприятиям в 2007 г. выбросы  $\text{CO}_2$  были уменьшены на 47 тыс. т/год, а в 2011–2012 г. г. запланировано дальнейшее уменьшение эмиссии  $\text{CO}_2$  на 5000 т/год.

Фирма SMS Siemag сообщает о пуске 4-й УНРС на заводе Salzgitter Flachstahl. Эта установка рассчитана на выпуск литых заготовок шириной 1100–2600 мм и толщиной 250–350 мм для производства толстолистовой микролегированной стали для труб большого диаметра.

К особенностям новой УНРС можно отнести:

- гидравлические резонансные осцилляторы;
- дистанционно управляемые сегменты для изменения ширины и толщины разливаемых слябов,
- система вторичного охлаждения разливаемых слябов, динамично изменяемая в зависимости от их ширины;
- постоянный радиус изгиба криволинейной части установки 11, 5 м., позволяющий избежать трещин на поверхности слябов.

Вот основные параметры конструкции установки: 12 тыс.  $\text{м}^3$  армированного бетона, 3500 т. стальных конструкций и 4500 т механического оборудования, длина УНРС 34,42 м. Общее время от начала строительства до первого разлитого 350 мм сляба составило 3 года.

В докладе Христфа Кляйна (Christoph Klein), Христиана Билгена (Christian Bilgen), Христиана Клинкенберга (Christian Klinkenberg) и Юргена Мюллера (Juergen Mueller) (SMS Siemag) обобщены результаты многолетнего опыта фирмы в развитии новой технологии непрерывной разливки тонких полос – CSP (Compact Strip Production). Первая УНПС с технологией CSP была пущена в 1989 г. на заводе фирмы Nucor в Crawfordsville (США).

С тех пор технология CSP стала стандартной для всех УНПС фирмы SMS Siemag при получении высококачественной листовой стали, и применяется уже на 28 УНПС во всём мире, которые производят 50 млн. т/год – 10 % всего мирового производства горячекатаного листа.

Установка CSP включает тонкослябовую УНПС, туннельную нагревательную печь и прокатный стан (рис. 7). Разлитые в УНПС тонкие слябы толщиной 50–90 мм после выравнивания температуры в туннельной печи поступают на прокатный стан и прокатываются там до горячекатаной полосы нужной толщины. Благодаря своей компактности, установка CSP позволяет иметь гомогенную температуру по сечению тонких слябов, минимальные температурные потери между туннельной печью и прокатным станом, равномерную скорость прокатки и, как следствие, получать горячекатаную полосу с абсолютно равномерной структурой и физико-механическими свойствами по всей длине и ширине полосы, а также с узкими допусками по толщине, ширине, поперечному профилю, кривизне и плоскостности.

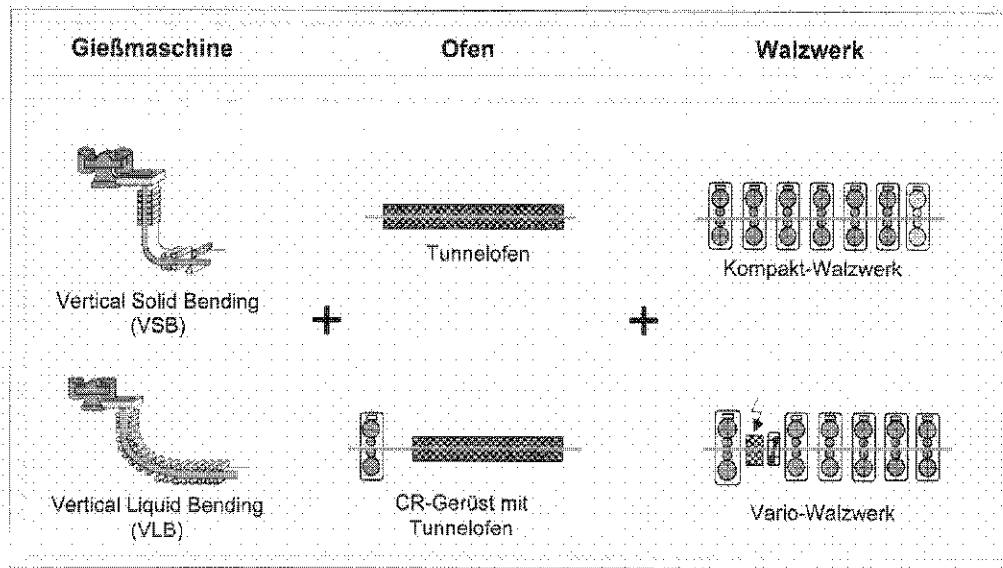


Рис. 7. CSP - модули с вертикальной и криволинейной УНПС

По сравнению со стандартной технологией получения горячекатаных полос из толстых слябов технология CSP требует существенно меньших капитальных и эксплуатационных затрат. Такая экономия достигается благодаря отсутствию черновой группы в листопрокатном стане и прямой прокатке тонких слябов без обычного охлаждения и повторного нагрева раската. Кроме того, получаемая тонкая и ультратонкая горячекатаная полоса может служить заменой в некоторых случаях холоднокатаной полосы. Завод в Ternium (Мексика) производит ещё с 1995 г. горячекатаные полосы толщиной менее 1,0 мм. Сегодня объём производства тонких полос толщиной 1,2 мм и менее на установках CSP составляет 30 % их мощности. А на установке CSP завода Wisco (Китай) даже освоен выпуск горячекатаных полос толщиной 0,8 мм.

Сортамент таких горячекатаных полос охватывает все имеющиеся сегодня марки стали (низко- средне- и высокоуглеродистые стали, HSLA- и трубные стали, нержавеющие и жаропрочные стали, а также электротехнические и трансформаторные стали). Полосы могут быть использованы как для непосредственной переработки, так и для последующей прокатки на установках холодной прокатки и последующей обработки. Особенно заметны преимущества CSP- технологии при производстве микролегированных и многофазных сталей, требующих строго определённых деформационных и температурных условий прокатки. Тем не менее, идя навстречу требованиям потребителей, фирма SMS Siemag разработала новую усовершенствованную CSP flex - технологию, позволяющую получать как горячекатаные полосы толщиной более 12,7 мм из высокопрочных трубных сталей с высокой ударной вязкостью и свариваемостью, так и горячекатаные ультратонкие полосы на двухручьевых установках производительностью до 4 млн. т/год со значительным уменьшением потребления энергии.

Оптимальное сочетание высокой прочности и ударной вязкости может быть обеспечено мелкозернистой структурой горячекатаных полос. Соответствующий термомеханический процесс (рис. 8) ведётся в две стадии, причём первая стадия выполняется в интервале температур рекристаллизации, а вторая – в интервале температур, при

которых рекристаллизация отсутствует. При этом решающее значение имеет то, что уже в первой стадии достигается равномерная рекристаллизованная структура, поскольку оставшиеся отдельные крупные зёрна могли бы переходить в готовую полосу и негативно влиять на ударную вязкость металла. Это возможно особенно в сталях, микролегированных ниобием, т. к. этот элемент сильно затрудняет рекристаллизацию.

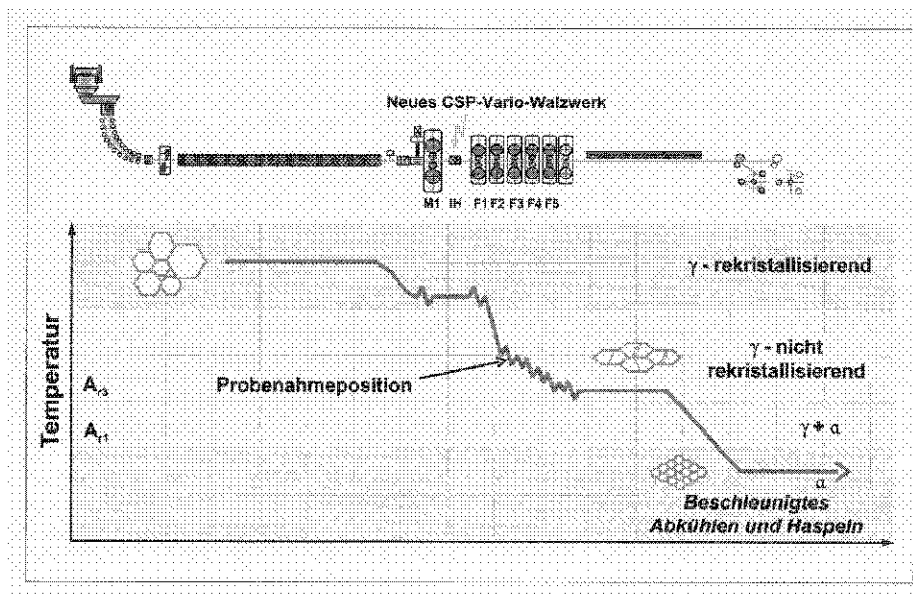


Рис. 8. Формирование структуры металла в новом CSP vario-прокатном стане

Суммарное обжатие в первых двух клетях прокатного стана должно быть максимально возможным, чтобы обеспечить минимум двукратную полную рекристаллизацию. Только таким образом можно обеспечить одновременно высокую прочность и ударную вязкость толстых горячекатаных полос. При этом сохраняется пропорция между толщиной литого сляба и толщиной готовой полосы. С учетом этих условий структурообразования разработан CSP-vario-прокатный стан, снабжённый дополнительной мощной клетью M1 с индивидуальным приводом валков, установленной на расстоянии 10 м перед непрерывной группой. Между этой клетью и первой клетью непрерывной группы расположены правильная машина для правки промежуточного раската и установка индукционного подогрева раската. Температурно-временной интервал нахождения раската между новой клетью M1 и первой клетью непрерывной группы рассчитан таким образом, чтобы обеспечить полную рекристаллизацию без преждевременного выделения соединений микролегирующих элементов и образования крупных зёрен. Это обеспечивается одной или двумя отдельно стоящими черновыми клетями. Новые установки имеют модульную структуру и снабжены дополнительными компонентами в литейном агрегате и прокатном стане. Возможны следующие модули: УНПС типа VLB (Vertical Liquid Bending) и CSP-vario-прокатный стан либо УНПС типа VSB (Vertical Solid Bending) и CSP-компактный прокатный стан. В первом варианте возможно получение более толстых слябов и горячекатаных полос из трубных сталей.

Пропускная способность трубопроводов для нефти и газа определяется, прежде всего, диаметром трубы и давлением в трубопроводе. Для выполнения этих условий нужны листы большой толщины из материалов, обладающих высокой прочностью, свариваемостью и ударной вязкостью при низких критических температурах. Ударная вязкость определяется прежде всего суммарной степенью деформации толстых полос. На компактном CSP – прокатном стане возможно получение полос из высокопрочных трубных сталей толщиной 12,7 мм. и более из тонких литых слябов толщиной 50–60 мм.

При изотермической прокатке на CSP-vario-прокатном стане достигается термомеханическая обработка раската, а именно:

- высокие обжатия в области рекристаллизации аустенита и полное устранение неомогенной литой структуры;
- охлаждение до температуры ниже температуры рекристаллизации аустенита;
- завершающая прокатка в области температур, при которых не происходит рекристаллизация аустенита;
- быстрое охлаждение прокатанной полосы на отводящем рольганге в области фазовых превращений для получения мелкозернистой структуры.

Были проанализированы два варианта компоновки CSP – модулей, поставленных фирмой SMS Siemag для заводов фирмы Handan Iron & Steel (Китай) и фирмы Saldanha (Южная Африка). В первом варианте модуль состоит из УНПС типа VSB, 2-х туннельных печей, черновой клетки и 6-клетевой чистовой группы (рис. 9). Во втором

варианте – УНРС типа VLB, туннельная печь, непрерывная двухклетевая черновая группа, туннельная печь и охлаждающая установка, 5-клетевая непрерывная чистовая группа. Сравнительный анализ структуры полос, полученных на этих модулях, показал, что модуль с двухклетевой черновой группой клетей обеспечивает лучшую микроструктуру. Схема структурообразования приведена на рис. 10. Если при одной черновой клети прокатка ведётся в области температур 1080 °С (черновая клетя) и 1045 °С (первая клетя чистовой группы), а микроструктура содержит много больших зёрен и неоднородна, то в двухклетевой черновой группе реализуется большое суммарное обжатие до 50 % при соответствующих температурах 1130 °С (первая черновая клетя), 1116 °С (вторая черновая клетя) и 950 °С (первая клетя чистовой группы), что обеспечивает равномерную мелкозернистую структуру металла.

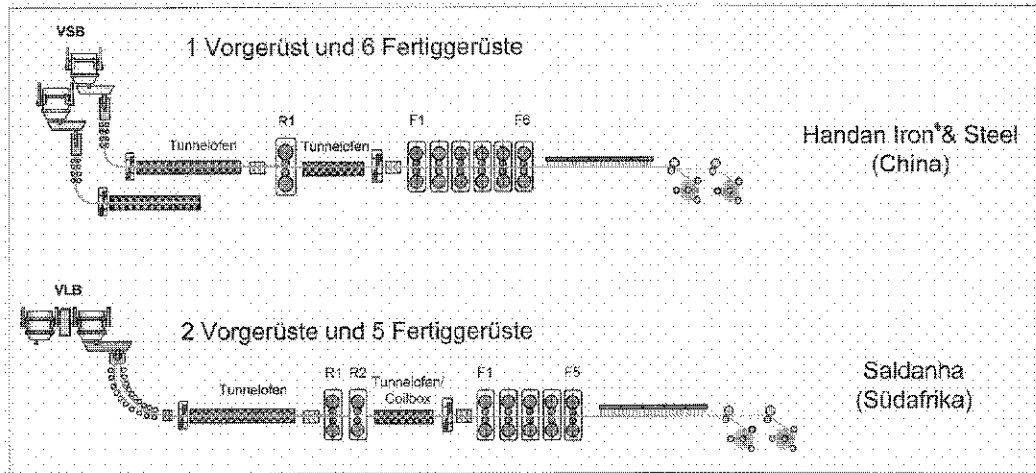


Рис. 9. Варианты CSP-модулей на заводах в Китае и в Южной Африке

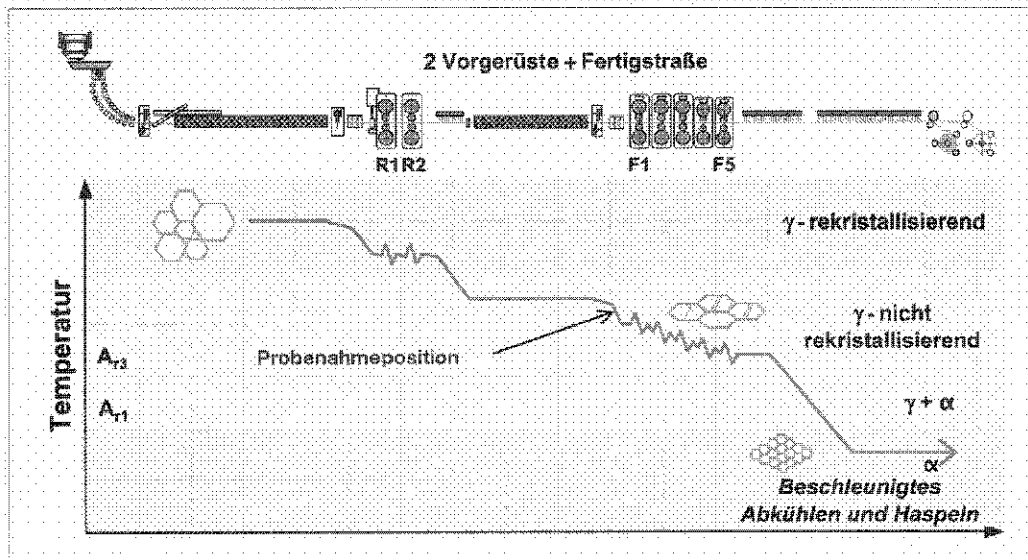


Рис. 10. Формирование структуры металла в CSP vario-прокатном стане с двухклетевой непрерывной черновой группой

Установка дополнительной черновой клети вызывает, однако, дополнительную проблему. Из-за различной скорости прокатки в черной клети и первой клети чистовой группы головная и хвостовая части раската находятся на промежуточном рольганге неодинаковое время: 70 с – голова и 270 с – хвостовая часть. Это приводит к различной величине зёрен по длине раската при прокатке без дополнительного охлаждения, или (при принудительном охлаждении раската перед чистовой группой) к преждевременному выпадению соединений таких легирующих элементов, как ниобий, и к ослаблению его влияния на свойства металла.

Поскольку эта проблема в CSP -vario-прокатном стане отсутствует, то при этом возможна прокатка трубных сталей высоких классов прочности с повышенным содержанием микролегирующих элементов.

Установка дополнительных летучих барабанных ножиц между клетями M1 и F1 позволяет наряду с толстыми трубными заготовками прокатывать также тонкие полосы толщиной до 1 мм. При этом возможны два варианта

дальнейшей переработки тонких горячекатаных полос: бесконечная дальнейшая холодная прокатка и обработка или обычный процесс с разрывом между горячей и холодной прокаткой. Оба варианта имеют свои недостатки и преимущества. Бесконечная проката обеспечивает существенную экономию энергоресурсов, но требует больших капитальных затрат на обеспечение безопасности непрерывного процесса. Поэтому при производстве высококачественных сталей предпочитают обычный, т. н. Batch-процесс.

Схема VSB на рис. 9 обеспечивает возможность прокатки как ультратонких полос в бесконечном режиме, так и толстых полос (до 18 мм) из трубных марок сталей.

Для бесконечного процесса больше подходит УНРС типа VLB. В этом модуле непрерывнолитые слябы прокатываются в черновой редуцирующей клетки. Последующая туннельная печь даёт возможность прервать процесс для перевалки валков. Летучие ножницы перед моталками режут бесконечную полосу на отдельные части, сматываемые моталками в рулоны. Дальнейшей задачей является повышение скорости разливки, чтобы достичь ещё большей экономии энергоресурсов, и увеличение толщины разливаемых слябов для повышения производительности. Для производства толстых полос из трубных сталей экономически выгодны УНРС типа VLB с изгибом литого сляба с жидкой сердцевиной. Такая УНРС может иметь производительность до 2 млн. т/год для одного ручья. В заключение доклада отмечается, что разработанные модульные установки CSP и CSP flex фирмы SMS Siemag обеспечивают возможность получения широкого марочного и размерного сортамента горячекатаных полос из непрерывнолитых слябов с высокой экономической эффективностью.

© Д-р техн. наук А. Л. Геллер, д-р техн. наук В. Г. Горелик  
Дюссельдорф, Германия

**Geller A., Gorelik V. Annual international conference of metallurgists in Dusseldorf (Germany) «Steel 2011»**

---