

## ПРОИЗВОДСТВО ТОНКИХ ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ПОЛОС НА ЛИТЕЙНО-ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТАХ ПРОДОЛЖАЕТ РАСШИРЯТЬСЯ И СОВЕРШЕНСТВОВАТЬСЯ

Начиная с 1989 г. тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты (ЛПА) получают широкое распространение на всех континентах — в США, Западной Европе, Юго-Восточной Азии (Китай, Корея, Таиланд, Индия, Малайзия, Индонезия), Мексике, Египте, Турции, ЮАР. Ожидается, что к 2010 г. продукция таких агрегатов удовлетворит 50 % потребностей мирового рынка, а к 2013 г. на них будет произведено около 160 млн т тонколистовой стали. Большинство ЛПА работает в составе так называемых мини-заводов с объемом производства до 2 млн т стали в год. Непрерывнолитые тонкие слябы получают из жидкой стали, выплавляемой в кислородных конвертерах и электродуговых печах. В последнем случае сталь выплавляют как из металлелома, так и из металлизированных окатышей, получаемых в агрегатах прямого восстановления. Кроме того, применяют процесс CONARC, сочетающий конвертерную и электродуговую технологии. После выравнивания температуры длинные литые слябы подвергают непрерывной прокатке до конечного размера, регулируемому охлаждению и сматывают полосы в рулоны. Последние технические достижения позволяют отливать слябы толщиной 48–63 мм со скоростью до 8 м/мин [1].

В России в настоящее время сооружаются или находятся в стадии проектирования 19 мини-заводов с объемом производства около 20 млн т/год, которые при эффективном использовании вторичного сырья способны повысить равномерность распределения производства и потребления проката в стране [2].

Существенным преимуществом тонкослябовых ЛПА является возможность точного регулирования температуры по всей длине каждого раската с целью поддержания постоянной температуры конца прокатки, необходимой для достижения требуемых структуры и свойств стали. В чистой группе можно осуществлять как аустенитную, так и ферритную прокатку.

Преобразование структуры тонких стальных слябов на современных ЛПА происходит без предварительных фазовых превращений, и хотя общее обжатие при горячей деформации значительно меньше, чем при традиционной технологии, происходит быстрое измельчение аустенитной структуры. Низкоуглеродистые полосовые стали, полученные на ЛПА CSP, отличаются мелкозернистой микроструктурой, образующейся

в результате быстрого охлаждения при кристаллизации и больших (до 55 %) единичных обжатий при непрерывной прокатке с относительно невысокой температурой при наличии мелкодисперсных включений [3].

Медь, неизбежно содержащаяся в стали, выплавляемой из металлелома, может играть положительную роль в улучшении свойств получаемых на ЛПА полос. Во избежание растрескивания стали в процессе прокатки содержание меди должно быть менее 0,13 %, так как под окисленным слоем появляются обогащенные медью прослойки. Медьсодержащие включения, располагаемые по границам зерен, уменьшают пластичность стали при температуре прокатки. Вредное влияние меди снижается при повышении температуры и применении неокислительной атмосферы в подогривательной печи [4].

Наиболее распространены литейно-прокатные агрегаты типа CSP. В различных регионах мира успешно работают более 30 таких агрегатов, производящих более 50 млн т широких полос в год из различных марок стали — от низко- и среднеуглеродистых до ферритных и аустенитных коррозионно-стойких, а также текстурированных электротехнических кремнистых. Последние достижения технологии CSP рассмотрены в работах [5, 6].

Литейно-прокатный агрегат ISP (In-line Strip Production) — это наиболее компактный тонкослябовый агрегат, производящий тонкие полосы из мягких сталей. Тонкие слябы отливаются на машине непрерывного литья (длина кристаллизатора 0,9 м, длина зоны вторичного охлаждения 5,56 м) обжимаются в полутвердом состоянии до толщины 50 мм и прокатываются в трехвалковой группе клетей HRM (High Reduction Mill) до толщины 13–17 мм. Подкат подогревается в проходной индукционной печи и сматывается печной моталкой, которая служит буфером между черновой и чистой прокаткой.

Прокатка литых слябов в черновой непрерывной группе HRM имеет существенные отличия от традиционных процессов в связи с высокой неравномерностью температуры по толщине сляба и низкими скоростями вращения валков, определяемыми скоростью непрерывного литья (0,07–0,08 м/с) [7]. Исследования выявили положительное влияние «мягкого» обжатия на структуру и механические свойства проката [8, 9]. Обжатие

полужидкого сляба уменьшает осевую сегрегацию. Горячая прокатка обжатого непрерывнолитого сляба с вытяжкой 2,0 достаточна для необходимой проработки металла с образованием однородной мелкозернистой структуры.

Черновые и чистовые прокатные клети оснащены системами автоматической регулировки толщины полосы (САРТ) с обратными связями, радиоизотопными датчиками, профилемерами, устройствами для противоизгиба валков. Высокое качество стальных полос достигается регулированием температурного и скоростного режимов обработки.

Малая скорость прокатки на стане НРМ при более горячей сердцевине заготовки способствует равномерности деформации по толщине и получению подката с минимальной разнотолщинностью (0,14 мм для подката сечением 13,5×1250 мм). При традиционной толстолистовой прокатке сердцевина сляба, как правило, холоднее поверхностных слоев (например, на 30 °С), что усугубляет неравномерность деформации по толщине, при которой сердцевина литой заготовки плохо прорабатывается. На стане НРМ ЛПА ISP сердцевина сляба имеет температуру 1500–1400 °С, а поверхность — 1200–1150 °С. Низкое сопротивление деформации срединных слоев выравнивает распределение обжатий по толщине и способствует повышению качества проката. Для получения тонколистовой стали подкат поступает в индукционный подогреватель IH (inductive heater), а затем в одну из двух печных моталок CFS (Cremona furnaces station), из которой после поворота задается в пятиклетевую непрерывную группу прокатных клетей кварто FM (finishing mill). Перед чистовой прокаткой окалину сбивают водой высокого давления. Выходящую из чистовой группы полосу подвергают регулируемому охлаждению, а затем сматывают подпольной моталкой. После прохождения участка выдачи толстых листов подкат поступает в индукционный подогреватель, имеющий мощность 20 МВт и производительность 180 т/ч. Печные моталки CFS сматывают подкат, а затем подают его в чистовую группу, периодически поворачиваясь относительно общей оси на 180 град. Выходящий из IH подкат имеет скорость 0,175–0,43 м/с в зависимости от толщины (соответственно 19–10 мм) и погонной массы (186–98 кг/м). Длина смотанного подката — 134–255 м. Продолжительность смотки — 12,8–9,9 мин. Удельная масса промежуточного рулона — 20 кг/м. Скорость подачи подката в чистовую группу — 0,8–1,2 м/с. Продолжительность размотки — 1,9–5,3 мин. Так как станция CFS находится непосредственно перед чистовой группой, температура кромок и концов полосы практически не снижается. Изменять скорость в процессе прокатки полосы не требуется. Отсутствие захоложенных участков полосы повышает стойкость валков. Валки чистовой клети F5 способны прокатать 130 км полосы. В чистовой

группе клетей прокатывают полосы толщиной от 11 до 1,0 мм со скоростью до 15 м/с. Выходной рольганг оснащен системой ламинарного охлаждения.

Прокатанная в непрерывной чистовой группе тонкая полоса благодаря точности размеров и высокому качеству поверхности может в ряде случаев использоваться вместо холоднокатаной. ЛПА ISP работает без потребления топлива, только на электроэнергии. Экономия энергии по сравнению с использованием газовых печей составляет 50–90 % [5] (в данной работе учитывается то, что при производстве электроэнергии может затрачиваться втрое больше тепловой энергии).

Агрегаты ISP, разработанные фирмами Mannesmann Demag Hütten-technik, Германия, и Finarvedi, Италия, работают в Италии (завод Cremona фирмы Arvedi), Турции, Южной Корее (Kwangyang, фирмы Posco), Малайзии, ЮАР (Saldanha Steel). Если типовой ЛПА CSP имеет длину 570 м, то агрегат завода Cremona — всего 180 м, так как в его составе нет длинной проходной туннельной печи. ЛПА ISP фирмы Arvedi работает с 1992 г. и является первым тонкослябовым ЛПА в Европе (первый агрегат CSP введен в эксплуатацию в 1989 г. на фирме Nucor, США).

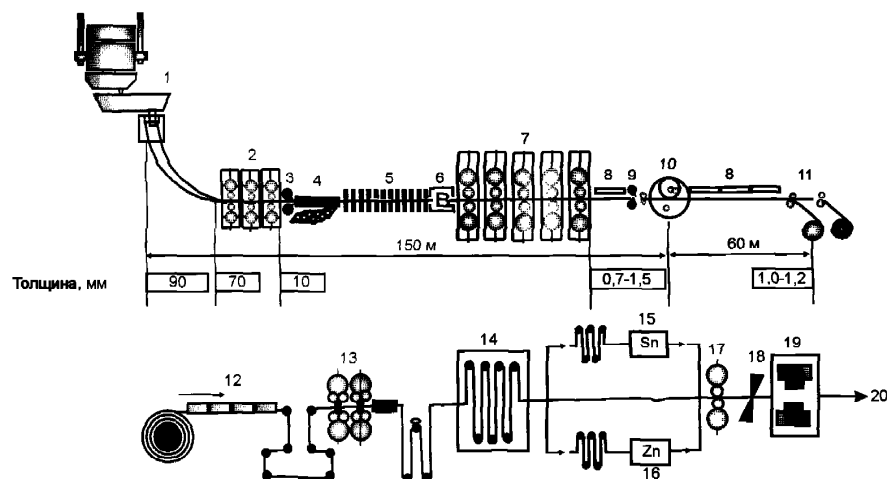
На фирме Arvedi на ЛПА ISP серийность разлива стали достигла 16 плавов с непрерывным производством 1000 т горячекатаной полосы. Следующим шагом является освоение бесконечного процесса литья-прокатки. В 2006 г. фирма Arvedi заключила контракт с фирмой Siemens VAI на поставку ЛПА, работающего по технологии бесконечной прокатки полосы. Агрегат получил имя Arvedi ESP (Endless Strip Production). Новое оборудование уже монтируется на заводе фирмы Acciaieria Arvedi S.p.A. в г. Кремона, Италия. Согласно принятой технологии МНЛЗ отливает сляб толщиной 100 мм со скоростью более 3 м/мин. Сляб с жидкой сердцевиной подвергается «мягкому» обжатию, а затем поступает в трехклетевый блок четырехвалковых клетей. На втором участке ЛПА осуществляют подогрев промежуточной полосы для достижения необходимой равномерности температуры чистовой прокатки. Третий участок включает пятиклетевую группу клетей кварто и линию для охлаждения полос толщиной от 12 до 0,8 мм с шириной до 1570 мм. На четвертом участке расположены летучие ножницы и три подпольные моталки. Общая длина ЛПА 190 м. Применение метода бесконечной прокатки сокращает время превращения жидкой стали в горячекатаную полосу с 15 (достигнуто на ЛПА ISP) до 7 мин и создает условия для повышения равномерности механических свойств проката по всей длине и ширине.

Новый цех пристроен к действующему и предназначен для производства полос из различных видов сталей, включая высокопрочные

низколегированные и многофазные. Рассчитанный на годовую производительность свыше 2 млн т проката, он после ввода в эксплуатацию в 2008 г. и достижения проектной производительности удвоит объем производства фирмы. Итальянские предприниматели рассчитывают на продвижение нового оборудования и

технологии на мировой рынок и на успешную конкуренцию с компаниями SMS Demag, Danieli и японскими производителями металлургического оборудования [10].

На рисунке дана схема нового агрегата и перспективная схема последующей обработки рулонной стали.



Технология Arvedi ISP-ECR (взгляд в будущее) [7].

1 — МНЛЗ; 2 — HRM; 3 — маятниковые ножницы; 4 — участок выдачи толстых листов; 5 — индукционный подогрев; 6 — гидросбив окислы; 7 — чистовая группа; 8 — ламинарное охлаждение; 9 — летучие ножницы; 10 — карусельная моталка; 11 — подпольные моталки; 12 — травление; 13 — холодная прокатка; 14 — непрерывный отжиг; 15 — лужение; 16 — цинкование; 17 — дрессировка; 18 — резка; 19 — штамповка; 20 — готовые детали и изделия

Полная производственная линия (мини-завод) включает сталеплавильные агрегаты, ЛПА ESP, средства транспортировки рулонов к непрерывному агрегату травления — холодной прокатки — отжига — нанесения покрытий — отделки полос и листов. В перспективе предусматривается применение на заключительной стадии обработки

листоштамповочного оборудования для изготовления готовых деталей для автостроения и упаковки пищевых продуктов. Действующий ЛПА фактически является уже необходимой частью будущей единой производственной линии, на которой из исходного сырья (руда, лом) в едином месте можно получать готовые изделия.

## Выводы

Тонкослябовые ЛПА успешно работают, продолжая совершенствоваться и выпуская как толстые листы, так и тонколистовую рулонную сталь широкого сортамента с высокими показателями качества поверхности и точности размеров. Развитие таких агрегатов ведет к созданию полностью непрерывного производства особо тонких горячекатаных полос, которые частично заме-

няют холоднокатаные легкоштампуемые полосы. Непрерывные агрегаты для разливки, горячей и холодной прокатки, отжига, нанесения покрытий, отделки листов необходимы для повышения эффективности производства массовой металлопродукции, в частности для автостроения и упаковки пищевых продуктов.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Reip C-P., Hennig W., Hangmann R. Recent development in the integrated technology of compact strip production // Iron and Steel Technology. 2005. № 9. P. 25–32.
2. Некрасов В. М. Паритет с мини // Металлоснабжение и сбыт. 2007. № 3. С. 14–18.
3. Dong H., Kang Y., Yo H. A discussion on evolution of microstructures and influence factors during continuous rolling of compact strip production // J. Mater. Sci. Technol. (China). 2004. V. 20. № 3. P. 274.
4. Influence of copper on quality of hot strips by EAF-CSP process / D. Wang, D. Liu, W. Shao et al. // J. Univ. Sci. and Technol. Beijing. 2004. V. 11. № 1. P. 57.
5. Janssen H., Sowka E. C. Sieben Jahre Fortschritt in der Giesswalzanlage bei ThyssenKrupp Steel // Stahl und Eisen. 2007. № 1. S. 27–33.
6. Schnitzr H., Ploch A. Schmelzen und Giessen von Qualitätsstählen im integrierten Verfahrensverbund Oxygenstahl – Sekundärmetallurgie – CSP bei ThyssenKrupp Steel // Ibid. № 6/7. S. 41–48.

7. Latest results from the Arvedi ISP technology and prospects for the new ISP-ECR technology / G. Arvedi, A. Bianchi, A. Guindani, L. Manini // Ibid. 2003. Bd. 123. № 3. S. 57–65.
8. F.-P. Plechintschnigg // Ibid. 1993. № 2. S. 53–68.
9. J. Schönbeck // MPT Inter. 1997. V. 20. № 1. P. 38–49.
10. Арведи Д. Внедрение линии непрерывного литья тонких слябов и бесконечной прокатки полосы на заводе фирмы Arvedi // *Металлургическое производство и технология*. 2007. № 1. С. 46–49.

#### **ВНИМАНИЕ!**

ОАО «Черметинформация» подготовлен обзор «Технология отливки тонких металлических полос в валковые кристаллизаторы. Результаты исследований и промышленное освоение за рубежом». 60 стр., 29 рис., библиограф. 39 назв. Цена обзора 30 000 рублей с учетом НДС.

С краткой аннотацией, содержанием обзора и формой заявки на его приобретение можно ознакомиться в разделе «Новости» официального сайта ОАО «Черметинформация» [www.chermetinfo.com](http://www.chermetinfo.com)

Заявки на приобретение обзора просим направлять в адрес ОАО «Черметинформация» 117218, Москва, ул. Кржижановского, д. 14, корп. 3; по факсу: (495) 129-39-50, по электронной почте [bessonov@chermetinfo.com](mailto:bessonov@chermetinfo.com)