УДК 621.771.23.002.2

В.Г.Иванченко*, В.Т.Тилик, О.Н.Штехно**, Г.Н.Голубых*, С.Н.Коваль**, В.С.Панченко****

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ГОРЯЧЕКАТАНЫХ ОСОБОТОНКИХ ПОЛОС

** Институт черной металлургии НАН Украины*
*** ОАО «МК Запорожсталь»*

Приведен анализ состояния мирового производства, эффективности и применения горячекатаных особотонких полос. Рассмотрены зарубежные и отечественные освоенные и перспективные разработки в области производства горячекатаного особотонкого листового проката.

Еще несколько десятков лет назад считалось, что стальной листовой прокат толщиной менее 2 мм целесообразно получать холодной прокаткой. Однако, в связи с тем, что на мировом рынке для одинаковых маркопрофилеразмеров разница в цене горячекатаного и холоднокатаного листового проката достигает 25% или примерно от 40 до 120 долл/т, даже частичное использование потребителем горячекатаного листового проката взамен холоднокатаного, более 60% мирового производства которого составляют толщины от 0,6 до 1,5 мм, дает значительный экономический эффект [1]. Вместо холоднокатаного горячекатаный листовой прокат может использоваться как в травленом, так и не травленом виде, когда не предъявляются повышенные требования к качеству поверхности и наличие на поверхности металла воздушной окалины не является браковочным признаком. При этом потребитель заинтересован в замене лишь в том случае, если горячекатаная сталь обеспечит деформируемость (пластичность) и прочность, а для травленого металла и качество поверхности такие же, как холоднокатаная.

Изготовитель при производстве и поставках горячекатаного листового проката взамен холоднокатаного получает экономию за счет снижения расходов на дополнительные переделы. По данным зарубежных фирм прокатка горячекатаных полос по сравнению с прокаткой холоднокатаных снижает себестоимость металлопродукции на 20…50 долл/т. Кроме этого тонкие горячекатаные полосы могут быть весьма рентабельным подкатом для холоднокатаного листа. Так, например, использование горячекатаного подката толщиной 1,2 мм вместо подката толщиной 2,0 мм при производстве холоднокатаных полос толщиной 0,35 мм, только за счет снижения количества проходов, повышает производительность реверсивного стана холодной прокатки на 28% [2], не говоря уже об экономии энергозатрат, снижении расхода прокатных валков, смазочно-охлаждающих средств и др. По этим причинам в последние годы резко

возросла потребность в горячекатаном тонколистовом прокате, и в мировом производстве стального листа идет интенсивное расширение производства горячекатаных полос толщиной менее 2 мм, относящихся к категории особотонких. Причем наблюдается тенденция к планомерному уменьшению толщины производимых горячекатаных полос. Прогнозируется, что в ближайшее время рыночная доля горячекатаного листового проката толщиной менее 2 мм для непосредственного использования возрастет более чем в 2 раза. Если в 1997 г. мировое производство особотонких полос находилось на уровне 9 млн.т., то по прогнозам, в 2007 г. оно составит 19 млн.т. [3]. За этот период, например, в США оно возрастет с 4 до 9 млн.т, в Евросоюзе – с 7 до 13 , в Японии – с 4 до 7 [2].

В промышленно развитых странах в широких масштабах освоено производство горячекатаных полос толщиной 1,5 мм. На металлургических предприятиях примерно 12-ти стран, в том числе Японии, Германии, Мексики, США, Испании, России и др., уже освоена горячая прокатка полос толщиной 0,8…1,0 мм, а фирма Daniely United (Италия) для высокопроизводительных станов горячей прокатки уже разработала конструкцию клетей со скрещиванием осей, противоизгибом и осевым сдвигом валков, получившую название F^2CR (Flexible Crown and Free Rolling), предназначенную для прокатки полос толщиной 0,7 мм и менее [3]. Приоритет в промышленном производстве горячекатаной листовой стали толщиной около 1 мм принадлежит мексиканской фирме Hylsa, которая почти 30% своей продукции выпускает в толщинах 1,3 мм и менее.

Следует отметить, что на большинстве станов горячей прокатки полос достигнутый уровень технологии и современное оборудование позволяют получать особотонкие горячекатаные полосы по точности толщины и ширины, механическим и технологическим свойствам и микроструктуре не уступающие холоднокатаным. Возможность замены холоднокатаного листового проката горячекатаным была доказана отечественными учеными еще в 70-е годы прошлого столетия [4,5]. Единственным пока преимуществом холоднокатаных листов перед горячекатаным остается возможность получения более высокого качества отделки поверхности. С другой стороны считается, что более шероховатая поверхность горячекатаного листа способствует лучшей его окрашиваемости.

Основными поставщиками оборудования для производства особотонких и тонких горячекатаных листов являются: в Европе – SMS Schlocmann Siemag AG, в Японии – Mitsubishi Ind и Kawasaki Steel [3]. Производство тонких и особотонких горячекатаных полос в основном осуществляется на полунепрерывных и непрерывных станах и станах с печными моталками с использованием литых, реже катаных слябов, а также на литейно-прокатных модулях.

В Японии на трех непрерывных широкополосных станах (НШС) в чистовой группе освоена бесконечная прокатка тонких и особотонких полос, отличающихся способами сварки концов раскатов перед чистовой группой клетей. На заводе Chiba компании Kawasaki Steel используется индукционный нагрев при сварке концов раскатов в стык [6]. На заводе Oita фирмы Nippon Steel сварка концов раскатов в стык осуществляется лазерным методом [7]. Фирма Sumitomo Metal Industries Ltd на стане своего предприятия в Касиме раскаты сваривает не в стык, а в нахлестку, на расстоянии 2…3 мм, под давлением 5…10 кН [8]. Прочность швов при всех способах сварки на уровне основного металла, что позволяет производить прокатку в чистовой группе с натяжением. По методу бесконечной прокатки прокатывают от 6 до 15 полос. В промежутках охлаждают валки и оборудование чистовой группы.

Фирма “Danieli United” разработала технологию полубесконечной прокатки тонкого сляба длиной, равной четырем или шести слябам обычной длины, соответствующей максимальной относительной массе рулона. Таким образом, отпадает необходимость в сварке подкатов перед задачей в чистовую группу клетей. Отдельные рулоны требуемой массы получают поперечной резкой на быстроходных ножницах. Благодаря непрерывности процесса по мнению разработчиков можно обеспечить скорость конца прокатки до 20 м/с [9].

Кроме перечисленных, за рубежом разработаны и освоены несколько принципиально новых технологических процессов производства особотонких горячекатаных полос – CSP, TSP, ISP, CPR, UTHS, CONROLL, DSP, Eurostrip, Pony Mill.

CSP (Compact Strip Production) разработан фирмой Schocmann Siemag. Основная концепция комплексов CSP состоит в отливке в непрерывном режиме тонких слябов толщиной 40…70 мм со скоростью разливки до 5,5…7,0 м/мин, выравнивании температуры по сечению в специальной печи и в последующей прокатке в непрерывной 5,6,7-и клетевой группе до толщин 0,8…1,5 мм [1].

TSP (Tippins – Samsung Process) - новая концепция минизавода разработана корпорацией Tippins Ins. и Samsung Heavy Ind, который включает дуговую печь (120-150 т) для выплавки стали, печь рафинирования, машину непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) толщиной 100…140 мм, печь гомогенизации, одноклетевой стан Стеккеля. Конечные размеры прокатываемых полос 1-25х≤ 1500 мм [10].

ISP (In-line Strip Production) разработан германской фирмой Mannesmann Demag Huttentechnic AG совместно с итальянской фирмой Arvedi. Мини–завод включает: 100 т электропечь, работающую на ломе, печь-ковш, агрегат ISP, который катает тонкие слябы с жидкой сердцевиной с 60 до 40 мм до затвердения, и до 15 мм после затвердения, индукционный подогрев и смотку в рулон на Coilbox, прокатку полос на непрерывном стане до толщин 0,8…1,2 мм [1].

CPR (Casting Pressing - Rolling) разработан германской фирмой Thyssen Stahe AG и который заключается в получении полосы непосредственно из расплава стали с температурой 1300 ^{o}C путем ее литья и прокатки [11].

UTHS (Uetra Thin Hot Strip) разработан корпорацией Mannesmann Demag Saok и Chaparral Steel для производства горячекатаных полос толщиной 0,7…4,0 мм. Он включает МНЛЗ, клеть ДУО, планетарный стан Платцера HRM (High Reduction mill), чистовую непрерывную группу в составе 4-х клетей Кварто. Перед HRM и непрерывной группой производится индукционный подогрев раската [12].

CONROLL – процесс, который предусматривает использование литых слябов средней толщины от 90 до 100 мм. Включает кристаллизатор с регулируемым зазором, участок вторичного охлаждения, где предусмотрено обжатия 20 мм частично затвердевшей заготовки, роликовую печь для выравнивания температуры, 2-х клетевую черновую группу, Coilbox, 5-ти клетевую чистовую группу. Минимальная толщина изготовляемых полос – 0,8 мм [13].

DSP (Direct Strip Processing) - усовершенствованная модификация ISP, объединившая установку непрерывного литья слябов со станом горячей прокатки. Включает туннельную печь длиной 315 м для выравнивания температуры слябов по всей длине перед прокаткой в 7-клетевом стане горячей прокатки [14].

Eurostrip – разработан совместным предприятием «Eurostrip», объединившим европейские компании «Thyssen Krupp Steel», «Usinor» и «Voest-Alpine Industrieanlagenbau». Процесс объединяет в единой технологической линии непрерывную отливку заготовок толщиной 1,5…4,5 мм и их прокатку на клетевом стане на полосы толщиной 1,0…3,5 мм и шириной ≤ 1600 мм [15].

Pony Mill – это отдельно стоящий одноклетевой прокатный стан, включающий разматыватель, клеть Кварто и моталку, предназначенный для прокатки особотонких полос в ферритной области и работающий совместно с традиционным НШС [3]. На НШС полосы прокатываются в аустенитной области и сматываются в рулон на моталке установленной непосредственно за чистовой группой клетей. Рулоны передаются на стан Pony Mill, где полосы докатываются в ферритной области до требуемой конечной толщины. Максимальное обжатие в клети стана Pony Mill до 50%. Минимальная толщина прокатываемых полос 0,8 мм.

Для осуществления прокатки особотонких полос в ферритной области предлагается в линии НШС за системой водяного охлаждения перед моталками установить одну или две дополнительные клети [16].

Новые технологии производства горячекатаных особотонких полос разрабатываются и в Украине. На металлургическом комбинате ”Запорожсталь” на непрерывном тонколистовом стане 1680 горячей прокатки освоена высокопроизводительная энергосберегающая

технология прямой транзитной прокатки полос толщиной 1,5 мм из слябов, поступающих непосредственно со слябинга без подогрева или нагрева их в методических печах [17…22]. На ”Запорожстали” также разработаны и исследованы пакеты технологий производства горячекатаного листового проката толщиной 1,5 мм различного назначения и качества – дрессированного, травленого и дрессированного, термообработанного, а также подката для станов холодной прокатки. Горячекатаные полосы толщиной 1,5 мм широко используются при изготовлении электросварных труб малого диаметра, а также при производстве гнутых профилей [17,18,23,24]. Отметим, что ранее до производства горячекатаных особотонких полос, для этих целей применялся холоднокатаный металл, что еще раз подтвердило возможность использования потребителем горячекатаной стали взамен холоднокатаной.

Для соблюдения требуемого температурного режима прокатки и смотки тонких и особотонких полос на многих зарубежных широкополосных станах между черновой и чистовой группами клетей установлены промежуточные перемоточные устройства - Coilbox [25,26]. Coilbox изобрели в 1970 г. для одного стана Stelco горячей прокатки на заводе фирмы Lake Eric Works (Канада). Положительный эффект от его применения оказался настолько велик, что к 2001 году на станах горячей прокатки уже работало 41 такое устройство. В последнее время оно находит применение даже в протяжных агрегатах для термообработки полос.

Для сохранения температуры раскатов и улучшения температурных условий прокатки полос, в том числе и особотонких, между черновой и чистовой группами клетей промежуточные рольганги оборудуются теплоизоляционными системами (экранами). Разработаны экраны 2-х типов: с высокой отражательной способностью (ТОЭ) и с низкой отражательной способностью и возможностью аккумулирования тепла (ТАЭ) [27]. Первые не нашли пока применения. Вторые – ”Энкопанели” (Encopanel) установлены в 15 странах. Разработчиком Encopanel является фирма Encomech Engineering Service (Великобритания) [28]. Считается, что Encopanel уменьшает потери тепла на 80%. Разработанные для отводящих рольгангов НШС 2000 НЛМК [29] и 1700 КарМК [30] теплосохраняющие экраны также показали эффективность их применения. На меткомбинате “Запорожсталь” теплосохраняющие экраны установлены на подающем рольганге между слябингом и непрерывным тонколистовым станом 1680, которые при транзитной прокатке позволяют в транспортируемых слябах уменьшить тепловые потери, не допустить подстуживания кромок и, как следствие, облегчить прокатку полос толщиной 1,5 мм, понизить нагрузки на первые клети черной группы (в особенности динамические), что значительно улучшает

условия работы механического оборудования, снижает его износ и вероятность поломок.

Для уменьшения колебаний температуры по длине полос на входной стороне чистовой группы устанавливают туннельные печи. Печи длиной 70 м с рабочей температурой 1100 ^{o}C уменьшают колебания температуры по длине полос практически до нуля [28].

Современные широкополосные станы, освоившие прокатку особотонких полос, в своем составе имеют, как правило, 6-7, реже 5, клетевые чистовые группы, оснащенные гидронажимными устройствами, системами автоматического регулирования толщины и датчиками автоматического контроля ширины полосы. Прокатка горячекатаных особотонких полос требует более строгого контроля профиля и формы (плоскостности). На практике зазор между валками непрерывно меняется в результате изменения усилия прокатки, износа валков и их термического расширения. Поэтому клети станов оснащаются системами автоматического контроля и управления для компенсации изменения профиля и формы полосы. Фирма Daniely United разработала общий подход к проблеме, учитывающий все факторы и позволяющий на обычном оборудовании получать у горячекатаных полос толщиной менее 1,5 мм постоянными профиль и форму [31]. Для контроля термического расширения рабочих валков сконструирована система Roll Thermal Groun (RTG). Для снижения локального износа используется осевой сдвиг рабочих валков. Для контроля и корректировки зазора между валками используется мощная система противоизгиба. Daniely United Global System (DUGS) позволяет изменять прогиб от 0 до 70 мкм и изготавливать высококачественную полосу толщиной от 1,0 до 16,0 мм. Следует отметить, что оснащение широкополосных станов системами регулирования профиля и формы позволяет увеличить загрузку последней клети чистовой группы, в то время как на станах, не оснащенных данными системами, мощность последней клети используется недостаточно, т.к. она выполняет роль калибровочной, т.е. прокатка в ней производится с малыми обжатиями.

Изложенные в настоящей публикации данные позволяют прогнозировать дальнейшее увеличение выпуска горячекатаных особотонких полос и разработок высокоэффективных технологий и оборудования для их производства.

1. *Barret R.* Thiu hot rolled strip chips away at cold rolled markets // Metal Bull.Mon. – 1999. – Apr., Suppl. – P.25,27…29.

2. *Innovative* technoloqies for strip production / Bald W., Kneppe Q., Rosenthal D., Sudau P. // Steel Times Int. – 2000. 24. №5. – P.16…19.

3. *Дегнер М., Хеллер Т., Тезе П.* Разработки в области производства сверхтонкой горячекатаной полосы // Черные металлы. – 2001. – Март. - С.24…26.

4. *Перспективы* замены холоднокатаного листа для холодной штамповки горячекатаным / Ф.Е. Долженков, В.И. Мелешко, Л.Г. Тубольцев, В.Д. Гуенко // В

сб.науч.тр. «Листопрокатное производство». – М.: Металлургия. – 1973. – (МЧМ СССР). - №2. – С.132…136.

5. *Долженков Ф.Е., Коновалов Ю.В., Горский Л.Б.* Возможность замены на машиностроительных заводах холоднокатаного листового проката горячекатаным // Черная металлургия. Бюл. научно-технической информации. - 1977. - №6. – С.29…35.

6. *Nicaido H., Isoyama S., Nomura N.* Endless hot strip rolling in the №3 hot strip mill at the Chiba Works // Kawasaki Steel Techn. Rept. – 1997. - №37. - P.65…72.

7. *Continuous* finish-rolling // Nippon Steel News. – 1998. - №270. - P.5.

8. *Endloswalzen* von Warmband auch bei Sumitomo // Stahl und Eisen. – 1995. – 115. - №12. - P.26.

9. *Bobig P., Borsi R., Rotti M.* Innovation in hot rolling equipment modern high performance mills // Rev. met. (Fr.). – 1999. - 96. - №6. - P.749…756.

10. *Pietryka J., Capriotti A.* A new approach to the production of flat rolled steel // Rev.met. (Fr.). – 1995. –92. - №7,8. - P.883…892.

11. *Verfahran* zun Gieben und Walzen dunner Brammen und Bander // Bander – Bleche – Rohre. - 1992. –33. - №12. - P.76.

12. *Thin* hot strip using a planetary mill // Steel Times Int. – 1995. – 19. - №5. - P.33…35.

13. *CONROLL* – Technology for the production of thin hot strip // Steel Times Int. – 1997. – 21. - №3. - P.15,16,18.

14. *Corus* opens Ijmuiden thin slab plant // Steel Times. - 2000. – 228. - №5.- P.186.

15. *Линденберг Х.-У., Генрион Ж., Шваха К.* Новая технология Eurostrip // Сталь. - 2002. - №4. - С.61…62.

16. *Okamoto Toyohiko, Hayashi Chihiro* Manufacture of deepdraminq sheet by warm rollinq // Sheet Metal Ind. – 1973. – 50. - №5. – P.297…302.

17. *Исследование* технологии горячекатаной особотонкой листовой стали для холодной штамповки / А.Ю.Путноки, В.Т.Тилик, О.Н.Штехно и др. // В сб. научн. тр. «Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии». Выпуск 4. К.: Наукова думка. - 2001. – С.193…197.

18. *Особотонкая* горячекатаная травленая листовая сталь / А.Ю.Путноки, В.Т.Тилик, О.Н.Штехно и др. // Труды IV конгресса прокатчиков. Том 1 (Магнитогорск, 16…19 октября 2001г.) – М. – 2002. - С.110…112.

19. *Разработка* технологии производства горячекатаных полос толщиной 1,5 мм методом прямой транзитной прокатки на станах слябинг-НТЛС 1680 / В.Т.Тилик, О.Н.Штехно, А.Ю.Путноки и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2002. - №8,9. – С.84…87.

20. *Условия* производства особотонкой горячекатаной полосовой стали на комбинате «Запорожсталь» / А.И.Молчанов, С.Л.Солтан, В.П.Яланский и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. - 2002. - №8,9. - С.11…14.

21. *Производство* особотонкой горячекатаной полосовой стали / В.А.Сацкий, А.Ю.Путноки, О.Н.Штехно и др. // Теория и практика металлургии. Изд-во Днепропетровск РИА «Днепр-VAL». - 2003. - №3(35). - С.50…55.

22. *Направления* повышения эффективности производства и применения конструкционной тонколистовой стали / А.Ю.Путноки, В.Т.Тилик, В.И.Калабухов и др. // Металл и литье Украины. – 2003. - №9-10. – С.13…15.

23. *Данченко В.Н., Василев Я.Д.* Эффективные технологии производства тонкостенной длинномерной металлопродукции в Украине // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. - №4. – С.45…48.

24. *Мазур В.Л., Мазур С.В.* Анализ развития трубосварочного производства Украины // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2003. - №3. – С.52…56.

25. *Korabi T., Johnson H.B.* New development in Coilbox applications // MPT: Met. Plant and Technol. – 1994. – 17. №6. - P.64…66,68,69.

26. *Новые* разработки в области применения промежуточных перемоточных устройств // Новости черной металлургии за рубежом. – 1995. - №4. - С.102…107.

27. *Теплосохраняющая* установка для промежуточного рольганга стана 2000 АО НЛМК / В.Н.Хлопонин, А.Д.Белянский, А.Н.Корышев, А.Д.Тищенко // Черная металлургия: Бюллетень НТН. – 1999. №1,2. - С.52,53.

28. *Kazimirovici E., Angelescu L., Cinca I.* Present tendencies in strip rolling // Sci. Bull. B. Politehn. Univ. Bucharest. [Sci. Bull. Chem. and Mater. Sci.]. – 1993. – 55. №3,4. - P.135…140.

29. *Разработка* теплосохраняющих экранов для промежуточного рольганга стана горячей прокатки / В.Н.Хлопонин, А.Д.Белянский, А.Н.Корышев, А.В.Мельников // Сталь. – 1994. - №5. - С.52…55.

30. *Разработка* системы экранирования промежуточного рольганга широкополосного стана / А.Л.Остапенко, М.Д.Тесля, В.Е.Зеленский и др. // Сталь. – 1997. - №2. - С.51,52.

31. *Ginzburg V.B.* Thinner hot strip by improving control on conventional mills // Steel Times Int. – 1995. – 19. №5. - P.22,28.