

УДК 669.02/.09

Минаев А. А.
Коновалов Ю. В.

СОВМЕЩЕНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ – ОДНО ИЗ ГЛАВНЫХ НАПРАВЛЕНИЙ РАЗВИТИЯ МЕТАЛЛУРГИИ

Сложно предсказуемое развитие мировой металлургии и наметившийся застой в металлургии, расположенной на территории Украины, требуют постоянного глубокого анализа происходящих в ней процессов, что позволит выработать конкретные рекомендации по стратегии и тактике развития металлургических переделов предприятий будущего.

В работах [1, 2] представлены материалы по тенденциям развития чёрной металлургии, обращено внимание на то, что совмещение технологических процессов позволяет снизить затраты на капитальное строительство, расход материалов и энергоресурсов, повысить качество продукции и производительность предприятий, снизить себестоимость и сроки выполнения заказов.

Авторы этой статьи уже отмечали в работе [3], что ориентация предприятий в основном на экспорт заготовки обусловила некоторую модернизацию доменного и сталеплавильного переделов. Прокатный передел, за очень редкими исключениями, модернизации не подвергался.

Целью работы является анализ результатов реализации совмещения процессов на участках: сталь-прокат и холоднокатаный передел листовой продукции, а также предложение новой технологической схемы металлургического предприятия будущего, базирующегося на максимальном совмещении операций и процессов.

Первый из этих участков характерен тем, что на него поступает жидкий металл, после МНЛЗ он становится твёрдым, но имеет ещё достаточно высокую температуру. Идеальным агрегатом для совмещения процесса разлива стали и прокатки её в листовую или сортовую продукцию является литейно-прокатный модуль (или лучше – агрегат – ЛПА).

Идея совмещения процессов разлива и прокатки металла возникла в XIX веке, но практическая реализация этой идеи произошла лишь в 40-х годах прошлого века, когда способ беслитковой прокатки был реализован для получения алюминиевой проволоки.

Впервые в мировой практике в 1978 г. введён в промышленную эксплуатацию ЛПА для производства катанки из специальных сталей и сплавов на металлургическом заводе «Электросталь» (Россия). Создан ЛПА во ВНИИМетмаше и действует до сих пор. Схема расположения основного оборудования, размерные и температурные параметры по линии агрегата показаны на рис. 1.

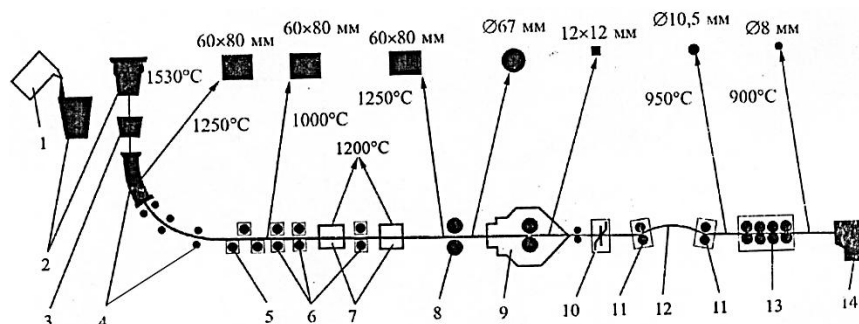


Рис. 1. Схема расположения основного оборудования, температуры и сечения раската по технологической линии ЛПА [4]:

1 – индукционная плавильная печь; 2 – сталеразливочный ковш; 3 – промежуточный ковш; 4 – МНЛЗ; 5 – правильно-тянущее устройство; 6 – подающие ролики; 7 – индукционные подогреватели; 8 – обжимно-задающая клеть; 9 – планетарная клеть; 10 – летучие ножницы; 11 – прокатные клетки; 12 – автоматический петлерегулятор; 13 – четырехклетевой чистовой блок; 14 – моталка

Основной особенностью ЛПА является применение планетарной клетки с горизонтальным и вертикальным расположением рабочих и опорных валков (рис. 2). Применение планетарной клетки позволило непосредственно совместить МНЛЗ и прокатный стан (при относительно низкой скорости выхода металла из МНЛЗ – 1,5-4 м/мин и достаточно высокой скорости прокатки – до 5 м/с). Важно и то, что в ЛПА получают готовый прокат – катанку диаметром 8-10,5 мм. Годовое производство – 70 тыс. т.

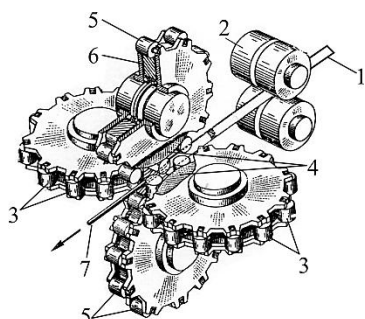


Рис. 2. Схема расположения валков в обжимно-задающей и планетарной клетях [4]:

1 – прямоугольная заготовка; 2 – обжимно-задающие валки; 3, 4 – рабочие и опорные вертикальные валки соответственно; 5, 6 – рабочие и опорные горизонтальные валки соответственно; 7 – периодический квадратный раскат

В условиях завода «Электросталь» применение совмещённого процесса по сравнению с традиционной многоступенчатой технологией позволило сократить технологический цикл в 100 раз, в 3 раза снизить расход энергии на подогрев металла, а себестоимость продукции – на 20 % [4].

Долгое время описанный ЛПА был единственным в мире, в котором организовано прямое совмещение процессов разливки и прокатки. Лишь в 2000 г начал работать ЛПА в Италии, получивший название «Luna». Схема расположения основного оборудования этого агрегата показана на рис. 3.

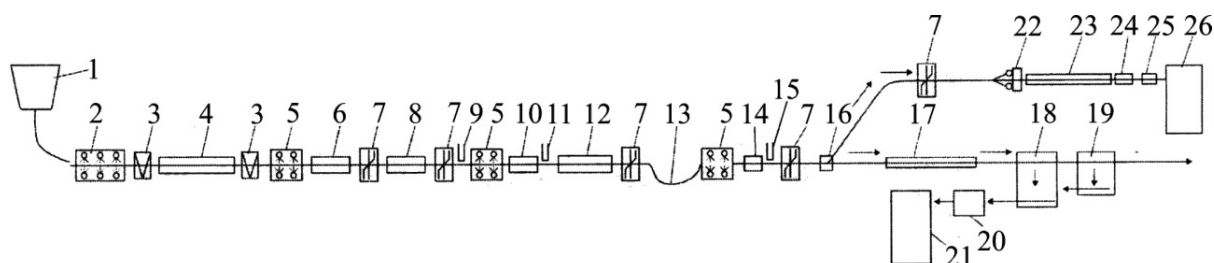


Рис. 3. Схема расположения основного оборудования ЛПА «Luna» [5]:

1 – МНЛЗ; 2 – закалочные установки; 3 – устройства механического реза непрерывнолитого слитка; 4 – проходная печь; 5 – гидросбивы окалины; 6 – черновая группа клетей; 7 – летучие ножницы; 8 – промежуточная группа клетей; 9 – дефектоскоп; 10 – предчистовая группа клетей; 11 – измеритель размеров раската; 12 – душирующая установка; 13 – петлерегулятор; 14 – обжимной блок трехвалковых клетей; 15 – датчики контроля размеров проката и качества поверхности раскатов; 16 – переключатель направления движения металла; 17 – многоцелевая душирующая установка (участок окончательного охлаждения); 18 – холодильник; 19 – печь отжига и отпуска; 20 – установка дробеструйного удаления окалины; 21 – участок отделки прутков; 22 – моталки; 23 – конвейер с воздушным охлаждением; 24 – печь отжига; 25 – весы; 26 – участок отделки бунтов

Агрегат производительностью 500 тыс. т/год предназначен для производства круглых (диаметром 15–100 мм) и квадратных (со стороной 40–100 мм) профилей, поставляемых в прутках и бунтах, из углеродистых и легированных марок стали. Скорость литья заготовок сечением 200 × 160 мм, в зависимости от марки стали, 3,5–6,2 м/мин.

После МНЛЗ непрерывнолитой слиток разрезают на заготовки длиной 7–45 м. То есть, одновременно в МНЛЗ, печи и прокатном стане заготовка не находится.

В ЛПА предусмотрена комбинированная термическая обработка (закалка и отпуск для улучшения дальнейшей обработки и смягчающий отжиг).

По сравнению с ЛПА, работающего на ОАО «Электросталь», ЛПА «Luna» имеет более широкий сортамент, но тоже только простых профилей (круглого и квадратного поперечных сечений). Имеются сведения о введении в эксплуатацию ЛПА фирмы «Mannesmann-Demag» для производства прутков, полос и катанки [4].

Пока ЛПА для производства сортовой продукции в мире действует немного. Это связано с трудностями объединения МНЛЗ с мелко- и среднесортными станами из-за большой зависимости производительности последних от прокатываемого профиля при мало изменяющейся производительности МНЛЗ.

Обычно создание ЛПА для производства листовой продукции связывают с развитием мини-заводов, которые первое время имели годовую производительность не более 1 млн т. Такой уровень производительности не позволял использовать на них традиционные широкополосные станы горячей прокатки (ШСГП), на которых рентабельным производство становится при объёме не менее 3 млн т/год.

Решение было найдено в разработке совмещённого процесса разливки стали на МНЛЗ и прокатке непрерывнолитого слитка малой толщины (50–70 мм) в непрерывно расположенной группе клетей. Решающий вклад в разработку ЛПА для производства горячекатаных полос и листов внесли фирмы «Schloemann-Siemag» (SMS) и «Nucor Steel». Первая – как разработчик технологии и оборудования тонкослябового ЛПА, вторая – как фирма, решившаяся на промышленное внедрение ЛПА, прошедшего лишь опробования и исследования на пилотной установке.

Первый в мире листовой ЛПА введён в эксплуатацию в США в 1989 г. Схема расположения основного оборудования ЛПА многократно публиковалась и хорошо известна.

Важным этапом в развитии ЛПА стало создание и введение в эксплуатацию тонкослябового ЛПА на заводе фирмы «Thyssen Krupp» в Германии. Принципиально новым является то, что ЛПА установлен не на мини-заводе, а на крупном интегрированном предприятии в привязке к мощному кислородно-конвертерному цеху при ёмкости разливочного ковша 400 т. Схема расположения основного оборудования ЛПА показана на рис. 4.

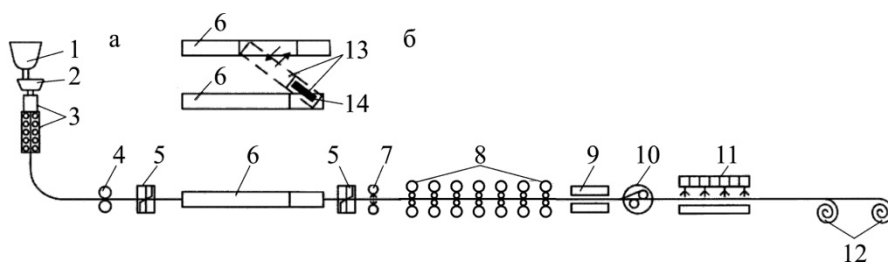


Рис. 4. Схема расположения основного оборудования ЛПА, действующего на заводе фирмы «Thyssen Krupp Stahl AG»:

а – общая схема ЛПА; б – участок печей с поворотным устройством; 1 – разливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – МНЛЗ; 4 – тянущие ролики; 5 – ножницы; 6 – проходная роликовая печь; 7 – гидросбив окалины; 8 – непрерывная группа клетей кварто; 9 – установка быстрого охлаждения полосы; 10 – карусельная моталка; 11 – ламинарная установка охлаждения полосы; 12 – подпольные моталки; 13 – поворотное печное устройство; 14 – раскат

Основными новыми техническими решениями были: поворотное печное устройство (а не «паром» с поперечным перемещением непрерывнолитого сляба), что создало благоприятные условия для подвода газа и отвода продуктов горения к и от устройства; применение двух установок охлаждения полос на отводящем рольганге и карусельной моталки, близко расположенной к последней клетке ШСГП. Первая из установок быстрого охлаждения, установленная в комплексе с карусельной моталкой (позволяет захватывать передний конец

полосы на скорости до 15, а не 10 м/с, как на традиционных моталках) обеспечивает аустенитную прокатку. Вторая установка душирования ламинарного типа и в комплексе с традиционной моталкой обеспечивает ферритную прокатку.

Опыт эксплуатации описанного ЛПА показал, что тонкослябовые ЛПА можно применять не только на мини-заводах, а и на интегрированных комбинатах.

Например, такой вариант может быть рекомендован для ПАО «АрселорМиттал Кривой Рог», специализирующемся на производстве катанки и мелкого сорта. Организация производства высококачественной листовой продукции позволит расширить сортамент выпускаемой продукции на комбинате, что повысит его конкурентоспособность.

Одновременно с фирмой SMS над созданием ЛПА работали и работают фирмы «Mannesmann-Demag» (MD), «Danieli», а несколько позже начали работать фирмы «VOEST-Alpine», «Sumitomo», ВНИИМетмаш.

Впервые на территории стран СНГ в 2008 г. введен в действие ЛПА фирмы «Danieli» на Выксунском металлургическом заводе (Россия). Он предназначен для прокатки полос толщиной 1–12,7 мм и шириной 800–1800 мм. Масса рулонов 36 т, удельная масса 25 кг/мм ширины. Марки стали: углеродистые (типа Ст. 3сп; 10; 20), низколегированные (типа 09Г2С; X60; X65; X70; 17Г1С-У; 13Г1С-У; 22ГЮ).

Схема расположения основного оборудования ЛПА приведена на рис. 5.

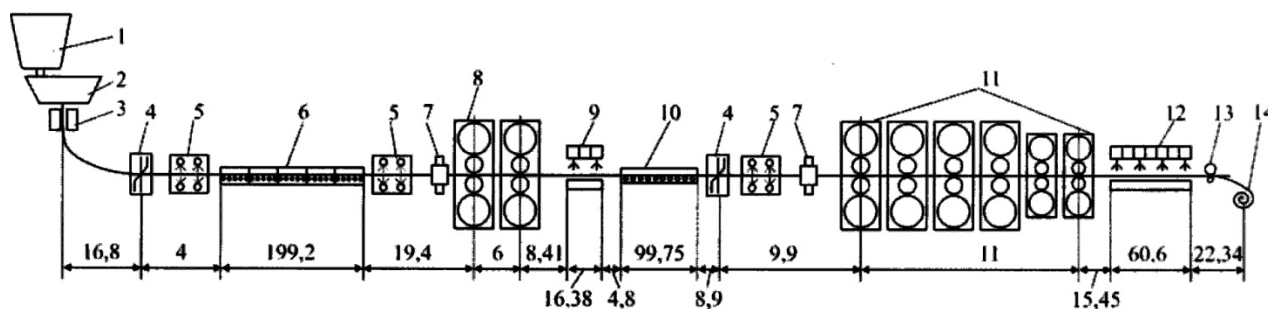


Рис. 5. Схема расположения основного оборудования ЛПА фирмы «Danieli», действующего на ОАО «Выксунский металлургический завод» (Россия):

1 – разливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор; 4 – маятниковые ножницы; 5 – гидросбив; 6 – нагревательная туннельная печь; 7 – эджер; 8 – черновые клетки; 9 – установка для промежуточного охлаждения; 10 – теплоизолированный рольганг; 11 – чистовая непрерывная группа клеток; 12 – установка ускоренного охлаждения; 13 – задающие ролики; 14 – моталка

На МНЛЗ отливают слябы толщиной 110/90 мм, «мягким» дожатием доводят их до толщины 90/70 мм, шириной 800-1800 мм. Емкость разливочного ковша 160 т, промежуточного ковша 38 т, скорость литья 2,5–6 м/мин.

Все клетки чистовой группы имеют возможность осевого смещения рабочих валков на ± 150 мм. Они также оборудованы системами противоизгиба и дополнительного изгиба валков. В чистовой группе действуют системы регулирования толщины, стабилизации межклетевых натяжений и регулирования теплового профиля валков дифференцированной по длине бочки подачей воды. Хвостовая часть ЛПА традиционная.

Продукция ЛПА используется на самом предприятии и ОАО «Альметьевский трубный завод» для изготовления электросварных труб.

Подводя общий итог, можно с уверенностью говорить о том, что, во-первых, качество горячекатаных полос с тонкослябовых ЛПА по механическим свойствам не хуже, а в ряде случаев и лучше, чем полос, прокатанных на ШСП; во-вторых, в ЛПА можно производить продукцию практически из любых марок стали; в-третьих, на ЛПА возможно устойчиво прокатывать полосы толщиной 0,8–1 мм, а в будущем – и 0,7 мм.

Уже в первые годы разработки и реализации тонкослябовых ЛПА их авторы – фирмы SMS и MD – предусматривали возможность применения в ЛПА клеток Стеккеля, но из-за присущих им недостатков эти планы реализованы не были.

Появление станов Стеккеля третьего поколения позволило к этой идее вернуться. Так, фирма «Tippins» (США) и «Samsung» (Южная Корея) разработали процесс, получивший название Tippins-Samsung Process (TSP), базирующийся на применении в качестве прокатного агрегата стана Стеккеля. С использованием процесса TSP разработан ЛПА, получивший название среднеслябового (по средней толщине используемых слябов 100-125 мм). Первая реализация проекта произошла в 1997 г. на заводе фирмы «IPSCO Steel» в Монтпелере (США) – одноручьевого ЛПА с отливкой слябов толщиной 125–150 мм и прокаткой полос минимальной толщины 1,5 мм в одной клетке Стеккеля. Годовое производство ЛПА 1,2 млн. т (рис. 6).

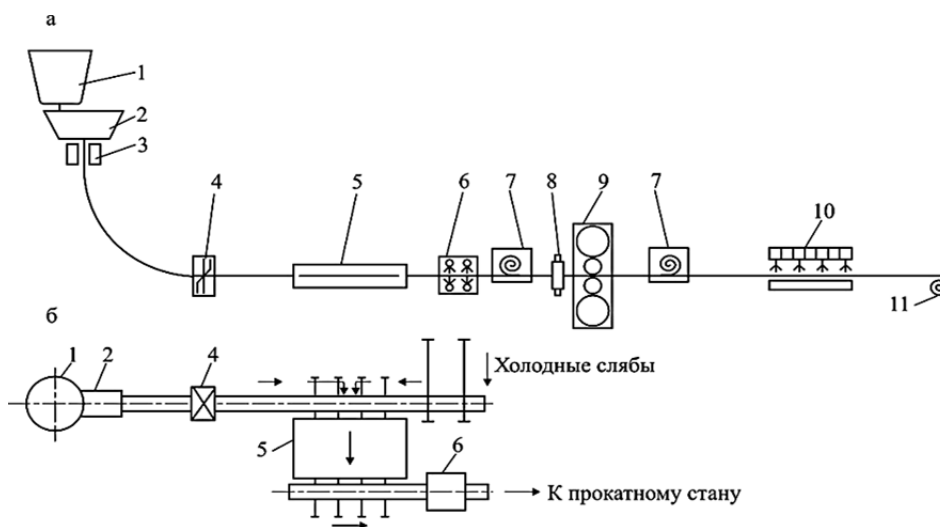


Рис. 6. Схема расположения основного оборудования среднеслябового ЛПА:

(а – вид сбоку; б – вид сверху участка МНЛЗ и печи); 1 – разливочный ковш; 2 – промежуточный ковш; 3 – кристаллизатор; 4 – маятниковые ножницы; 5 – методическая печь; 6 – гидросбив; 7 – печные моталки; 8 – эджер; 9 – клеть кварто; 10 – установка ускоренного охлаждения; 11 – моталка

Особенностями ЛПА являются применение методической печи с шагающими балками в качестве агрегата для выравнивания температуры и подгрева слябов перед прокаткой и наличие эджера для устранения косины слябов по толщине, образующейся при перестройке кристаллизатора на отливку слябов другой ширины.

Впервые термин «толстослябовый ЛПА» прозвучал в докладе ученых ДонНТУ на Международной конференции «Черная металлургия России и стран СНГ в XXI веке», состоявшейся в Москве в 1994 г. Такой ЛПА был предложен в качестве агрегата для производства подката для цеха жести в составе комплекса на ОАО «Енакиевский металлургический завод» (ЕМЗ).

Схема расположения основного оборудования разработанного ЛПА показана на рис. 7.

В ЛПА применена МНЛЗ традиционной конструкции с кристаллизатором с параллельными стенками. Размеры отливаемых слябов $H_{сл} = 200$ мм; $B_{сл} = 900-1350$ мм, длина до 12 м, масса до 25 т (удельная масса до 18,5 т/м). МНЛЗ может быть одно- или двухручьевого. При двухручьевого МНЛЗ годовая производительность ЛПА – 1,7 млн т (скорость разливки стали до 1,5 м/мин).

МНЛЗ расположена вблизи методической нагревательной печи с шагающими балками с торцевой (для холодных и теплых слябов) и боковой (для горячих слябов) посадкой и торцевой выдачей. Для обеспечения температуры посадка слябов в печь 1050–1100 °С предусмотрена теплоизоляция после машины газовой резки (МГР), при поперечной передаче и перед

посадкой в печь. Горячий посад предусмотрен в объеме до 95–97 % от общего посада. Температура нагрева слябов 1150–1250 °С (последняя при редуцировании слябов). Печь одновременно является и «буфером» при возникновении нештатных ситуаций на стане или моталках.

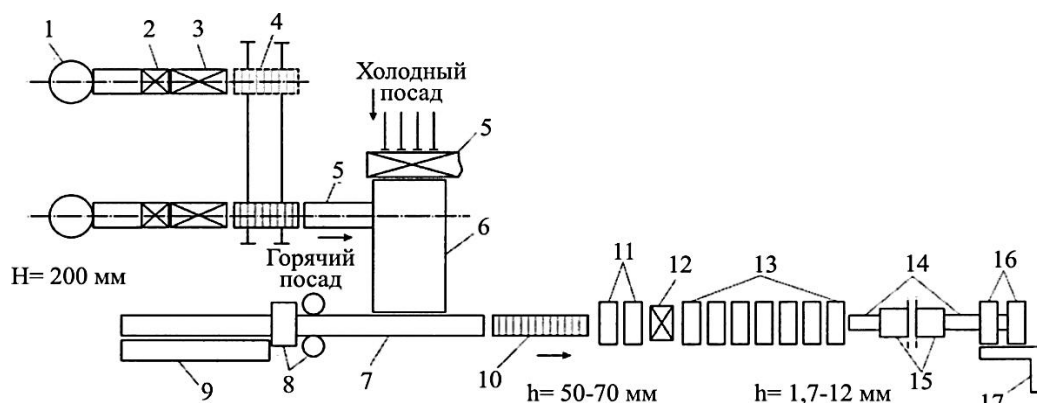


Рис. 7. Схема размещения основного оборудования толстослябового ЛПА, разработанного в ДонНТУ:

1 – МНЛЗ; 2 – машина газовой резки; 3 – рольганг-термостатирующие устройства; 4 – передаточная рольганг-тележка; 5 – загрузочный рольганг с теплоизолирующей крышкой; 6 – методическая печь с шагающими балками; 7 – приемно-промежуточный рольганг; 8 – универсальная черновая реверсивная клеть; 9 – участок разделки недокатов; 10 – проходная печь-термостат; 11 – окалиноломатель, совмещенный с гидросбивом; 12 – летучие ножницы; 13 – клетки чистовой группы; 14 – отводящий рольганг; 15 – душирующая установка; 16 – моталки; 17 – уборочная группа

В качестве прокатного стана принят полунепрерывный ШСГП, а длина бочки валков стана 1500 мм обусловлена тем, что максимальная ширина прокатываемой жести в мировой практике не превышает 1200 мм. Непосредственно стан состоит из черновой универсальной реверсивной клетки, в которой производят подкат для чистовой группы клеток $h_n = 50–70$ мм за 4–6 проходов, и семиклетевой чистовой группы клеток. Возможно уменьшение ширины слябов (редуцирование в универсальной клетке) на 100–200 мм.

Особенностью схемы является расположение печи между черновой клетью и чистовой группой клеток, то есть в одном рольганге совмещены функции рольганга, подающего слябы от нагревательной печи к черновой клетке, и промежуточного (между черновой клетью и непрерывной группой клеток) рольганга.

Перед чистовой группой клеток имеется проходная печь-термостат, снижающая тепловые потери раскатом и позволяющая отказаться от ускорения чистовой группы клеток. Летучие ножницы для обрезки концов раската установлены перед первой клетью чистовой группы. Толщина полос после чистовой группы клеток 1,7–12 мм, ширина 800–1350 мм.

Марочный сортамент ЛПА – низко- и среднеуглеродистые общего назначения и конструкционные марки стали.

Достоинства толстослябового ЛПА: возможность отсортировки, последующего ремонта и холодного посада слябов, имеющих после МНЛЗ дефекты; увеличение времени задержки слябов в печи (без остановки МНЛЗ) до 24–30 мин; возможность редуцирования слябов по ширине вплоть до её изменения на 200 мм и «проработка» боковых граней слябов, что предотвращает возникновение дефекта «рваная кромка», а также поэтапный ввод в эксплуатацию оборудования ЛПА с отгрузкой потребителям по этапам – слябов, толстого и тонкого листа (или полос).

Идея использования методической нагревательной печи с шагающими балками, впервые предложенная ДонНТУ (как уже видно из изложенного материала), нашла применение в среднеслябовых ЛПА, а также в ЛПА, которые успешно работают для прокатки крупных фасонных и простых профилей.

На рис. 8 показаны схемы прокатки крупносортовых балок по технологии СВР (Compact Beat Production – компактная технология производства балок) и по традиционной технологии.

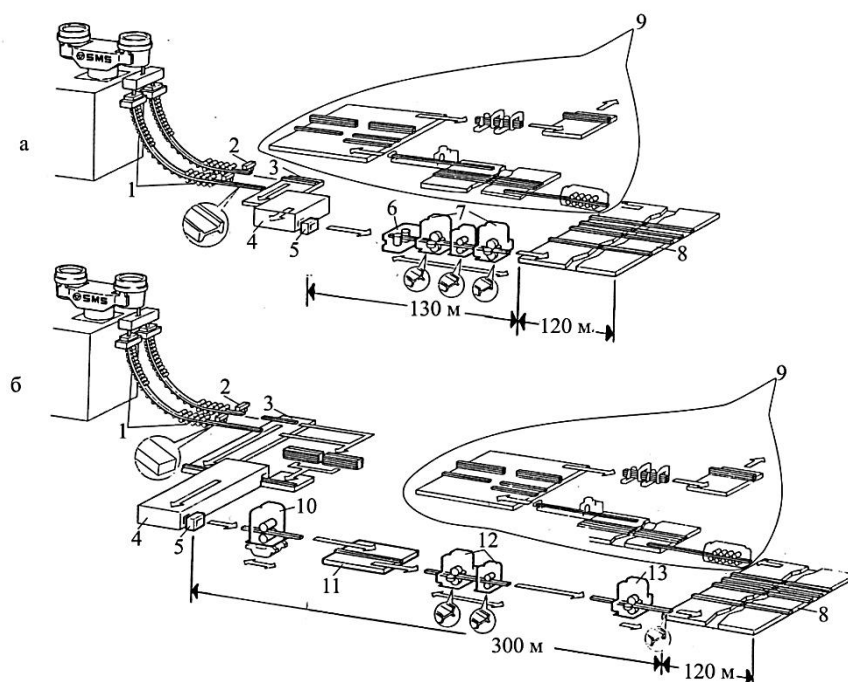


Рис. 8. Схемы размещения основного оборудования технологических линий для производства балок по технологии СВР (а) и по традиционной технологии (б) [6]:

1 – МНЛЗ; 2 – установки для порезки слябов; 3 – устройство совмещения двух потоков слябов в один; 4 – нагревательные печи; 5 – гидросбивы; 6 – черновая вертикальная клеть; 7 – реверсивная группа клетей; 8 – холодильники; 9 – адьюстажи; 10 – черновая реверсивная клеть; 11 – шлеппер; 12 – реверсивная двухклетевая группа; 13 – чистовая нереверсивная универсальная клеть

При обычной технологии (см. рис. 8, б) из МНЛЗ выходит заготовка прямоугольного сечения (сечение показано в кружке после МНЛЗ). При этом имеется возможность использовать, помимо горячего, холодный посад заготовок в нагревательную печь. Для объединения двух потоков металла, выходящих из двух ручьев МНЛЗ, в один служит передаточное устройство.

После подогрева горячих или нагрева холодных заготовок (с посадкой в печь справа) в проходной методической печи прямоугольная заготовка за 5–7, а иногда и больше проходов обжимается в черновой клетии, приобретая балочный профиль. Далее раскат подвергается реверсивной прокатке в черновой линии, а последний нереверсивный проход выполняют в универсальной чистовой клетии.

При технологии СВР (см. рис. 8 а) отливают заготовку балочного профиля (см. профиль в кружке после МНЛЗ). Холодный посад отсутствует.

Вместо черновой обжимной клетии в схеме СВР используется меньших размеров клеть с вертикальными вальками, предназначенная для обжатия высоты стенки заготовки в первом проходе. В реверсивной непрерывной группе имеется либо две (как показано на рис. 8, б), либо три клетии: две универсальных и одна горизонтальная промежуточная. В первом случае имеется чистовая отдельно стоящая клеть, во втором случае отдельно стоящей чистовой клетии нет.

В отдельную группу обычно выделяют ЛПА с вальковыми кристаллизаторами – ВЛПА. В отличие от обычных непрерывной разливки и прокатки, при вальковой разливке имеют место два совмещенных процесса: кристаллизация расплава и пластическая деформация закристаллизовавшейся части или всей полосы.

Для исследований процесса и создания опытно-промышленных установок ВЛПА были организованы объединения фирм и начата разработка проектов «Eurostrip» и «Castrip».

Участниками проекта «Eurostrip» стали фирмы «Krupp Thissen Stahl» (KTS – Германия), «Usinor Sacilor» (Франция), «Assian Special Terni» (Италия), «VOEST-Alpine» (Австрия).

Схемы ВЛПА показаны на рис. 9.

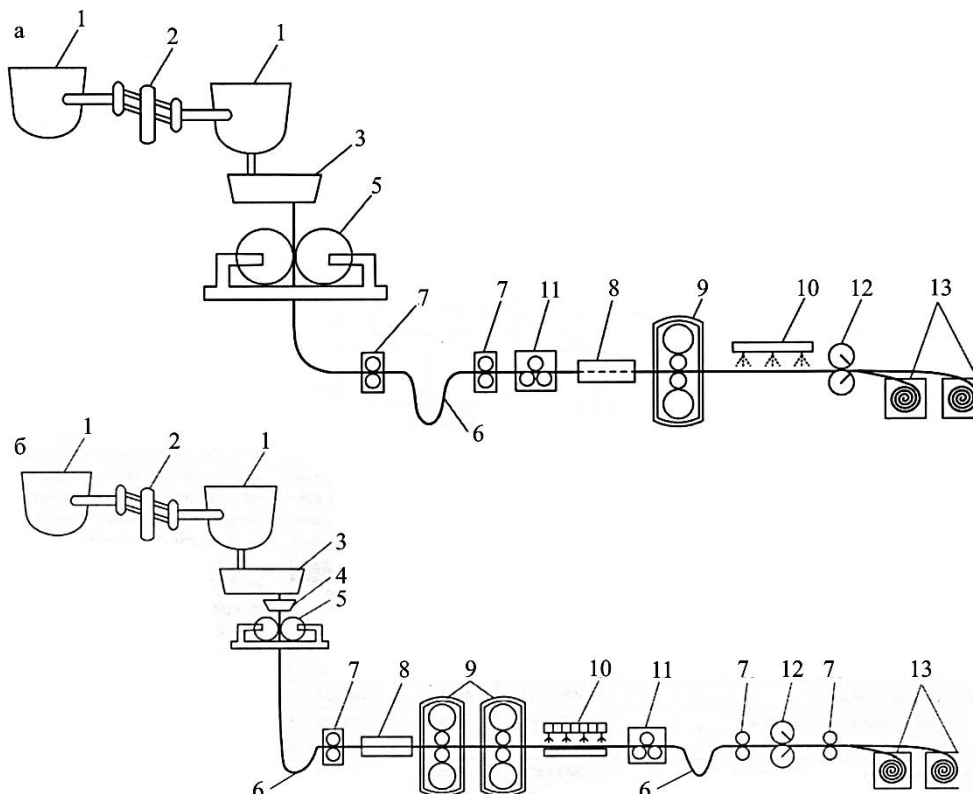


Рис. 9. Схемы ВЛПА [7, 8]:

а – технология «Eurostrip» (г. Крефельд, Германия); б – технология «Castrip» (г. Крофордсвилл, США; 1 – разливочные ковши; 2 – поворотные стенды; 3 – промежуточные ковши; 4 – малый промежуточный ковш; 5 – литейно-прокатные машины; 6 – петленакопители; 7 – тянущие ролики; 8 – индукционные подогреватели; 9 – прокатные клетки; 10 – установки ламинарного охлаждения; 11 – правильно-тянущие устройства; 12 – ножницы; 13 – моталки

Участниками разработки технологии «Castrip» были фирмы Японии, Австралии и США.

Основное отличие «Castrip» от «Eurostrip» в диаметре разливочных валков – всего 500 мм против 1500 мм у «Eurostrip» при существенно большей ширине полосы. Считается, что при меньшем диаметре валков снижаются капитальные затраты и издержки производства. Материал валков – медь. Стоимость ВЛПА 100 млн долл., и 500 млн долл. было затрачено на его разработку.

В ВЛПА производят полосы из низкоуглеродистой ($C < 0,05\%$) кремниймарганцовистой, нержавеющей стали, а также из сталей, микролегированных ниобием и ванадием. Разработчики проекта «Castrip» считают, что двухвалковые установки становятся рентабельными уже при годовом объеме производства 300–400 тыс. т.

ВЛПА, работающие в промышленности, позволяют получать полосы толщиной 0,5–3 мм, шириной до 2000 мм. Широкое внедрение ВЛПА требует решения ряда технологических и технических задач: стабилизация ширины отливаемых полос, создание надёжного оборудования и средств для защиты жидкой ванны металла, освоение процесса для отливки полос из среднеуглеродистых марок стали, повышение уровня качества поверхности отливаемых полос.

Ещё менее проработаны вопросы реализации оборудования и технологий таких процессов получения заготовок или готовых полос: с применением процессов прямого литья полосы на транспортную ленту, инверсионного литья стали через вертикальный гусеничный кристаллизатор и ряд других.

Часто приводят цифры долей производства горячекатаных полос на ШСГП и в ЛПА. В 1994 г. в ЛПА было произведено 2 % горячекатаных полос, в 2004 г – 5–6 %, в 2012 г должны приблизиться к 15 %.

Причинами медленного замещения ШСГП ЛПА следует считать следующее: действующие ШСГП имеют высокую остаточную стоимость, а их замена требует также больших капитальных вложений; ЛПА пока не обеспечивают производство всего сортамента ШСГП по уровню качества, менее гибки по размерному сортаменту; производительность ШСГП в 2–3 раза выше производительности ЛПА.

Пока ЛПА приносят быстрый успех там, где нет дешевого сырья кроме металлолома, где оборудование устарело и его быстро надо заменить, где нет крупных потребителей металлопродукции.

Процесс холодной прокатки полос прошёл путь от листовой, рулонной, бесконечной прокатки до совмещения процессов – травления, прокатки, очистки, непрерывного отжига, разделки и упаковки.

Совмещение процессов травления и прокатки произошло в начале 90-х годов прошлого века. Причём на первом этапе оно происходило в действующих комплексах и сопровождалось модернизацией всего как травильного, так и прокатного оборудования. Объединение уже установленных ранее агрегатов требовало применения сложных транспортных схем движения полосы. На рис. 10 показана схема расположения оборудования комплекса совмещённых НТА и НСХП, применённая при строительстве нового цеха холодной прокатки на заводе фирмы «Bethlehem Steel Corporation» (США) на свободной площадке.

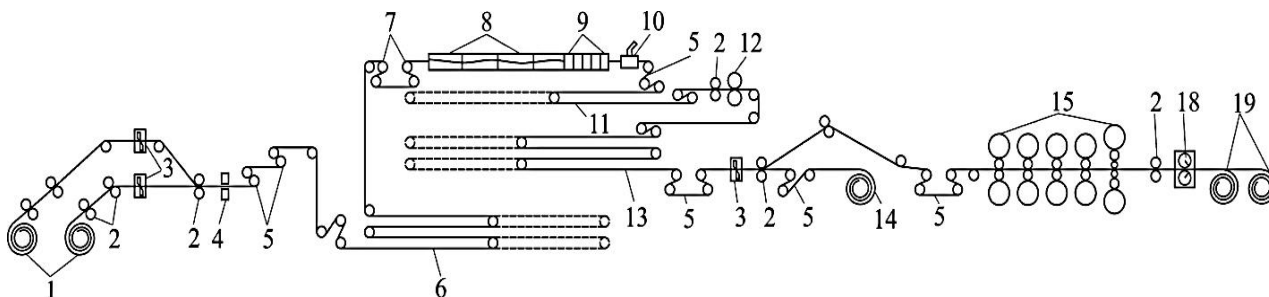


Рис. 10. Схема расположения основного оборудования комплекса совмещённых НТА и НСХП на заводе фирмы «Bethlehem Steel Corporation»:

1 – размотчики; 2 – тянущие ролики; 3 – ножницы поперечной резки; 4 – стыкосварочная машина; 5 – натяжные станции; 6 – входной накопитель; 7 – устройство правки полос растяжением; 8 – травильные ванны; 9 – ванны промывки; 10 – сушильное устройство; 11 – промежуточный накопитель; 12 – кромкообрезные ножницы; 13 – выходной накопитель; 14 – моталка горячекатаных травленых полос; 15 – НСХП; 18 – летучие ножницы; 19 – моталки холоднокатаных полос

Головная часть НТА традиционная. Изменение направления движения полосы происходит только в петлевых накопителях, которые расположены под травильными и промывочными ваннами. Три имеющихся накопителя (для обеспечения стабильной работы как НТА, так и НСХП) расположены друг над другом. Все это обеспечивает компактное расположение оборудования комплекса и минимальное применение вспомогательного оборудования. НСХП пятиклетевой. Четыре клетки четырехвалковые, последняя – шестивалковая.

Применение объединенных комплексов НТА+НСХП позволяет достичь: повышения производительности на 20–50 %; снижения обреза на концах полос и брака по дефектам, возникающим при заправке и выходе полосы из валков НСХП с 1,4 % до 0,45 %; уменьшения числа перевалок и перешлифовок валков на 45 %, а, следовательно, и парка валков; снижения численности обслуживающего персонала на участке травления и прокатки на 30–50 %; уменьшения расходов на ремонты на 25 %; сокращения длительности цикла производства продукции до двух суток; уменьшения площадей, занимаемых цехом, за счет промежуточных складов, которые необходимы для хранения протравленных рулонов, снижается число крановых операций по снятию травленных рулонов с НТА, транспортировке их на склад и со склада к ЦХП, а главное, устраняется трудоемкая операция заправки полосы в стан.

Для снятия упрочнения, вызванного наклепом металла при холодной прокатке и получения требуемых механических и технологических свойств холоднокатаные полосы подвергают светлomu отжигу либо в одностопных колпаковых печах (для получения свойств особо сложной, сложной и весьма глубокой вытяжки), либо в агрегатах непрерывного действия (для промежуточной термической обработки, а также для получения свойств нормальной и глубокой вытяжки).

Основными недостатками технологии отжига холоднокатаного металла в колпаковых печах продолжают оставаться значительная длительность термической обработки и большие площади, занимаемые участком колпаковых печей, а также неравномерность нагрева рулонов (значительно сокращаемая при использовании усовершенствованных по конструкции колпаковых печей и печей с водородной защитной атмосферой).

Отжиг холоднокатаных полос в агрегатах непрерывного отжига стал кардинальным шагом в направлении совершенствования как технологии термообработки рулонов, так и совмещения ряда процессов.

В АНО производят очистку и сушку поверхности полосы, её термообработку, травление, дрессировку, промасливание и смотку полосы. Входной и выходной накопители полосы обеспечивают постоянство скоростного режима движения полосы.

В случаях отгрузки продукции без нанесения защитных покрытий в АНО предусматривает разделку и упаковку полос и рулонов.

За рубежом примерно 50 % произведенных холоднокатаных полос подвергают нанесению различного вида защитных покрытий. Это происходит в непрерывных линиях, в которых совмещены процессы очистки поверхности полосы, сушки, нанесения покрытия, его термической обработки, правки, измерения толщины, осмотра, маркировки, порезки, промасливания, а в ряде случаев и упаковки.

Традиционная технологическая линия интегрированного металлургического предприятия, родившаяся в XIX веке, представляет собой цепочку следующих друг за другом технологических операций, раздвинутых во времени: подготовка сырых материалов, производство чугуна, выплавка и разливка стали, производство проката.

Горячий металл появляется в доменной печи, тепло этого передела используется во всех видах сталеплавильного производства. На этих переделах металл остаётся в жидком виде. После разливки стали появляется твёрдый металл, но ещё в горячем виде он может поступать в прокатное производство и прокатка его происходит сначала в горячем, а потом и в холодном состоянии. Эта традиционная схема в привязке к производству листовой продукции изображена на рис. 11, а.

Представленные материалы, а также сведения, приведенные в работе [9] по бездоменному производству первичного металла из руд и новым технологиям производства и разливки стали позволяют предложить схему металлургического предприятия будущего, в которой в максимальной степени использовано совмещение металлургических процессов (рис. 11, б).

Применённые в схеме процессы «Midrex» и «Corex» позволяют исключить проблему использования высококачественного кокса в доменном производстве, хотя возможно и сохранение доменного процесса при интенсивном использовании пылеугольного топлива.

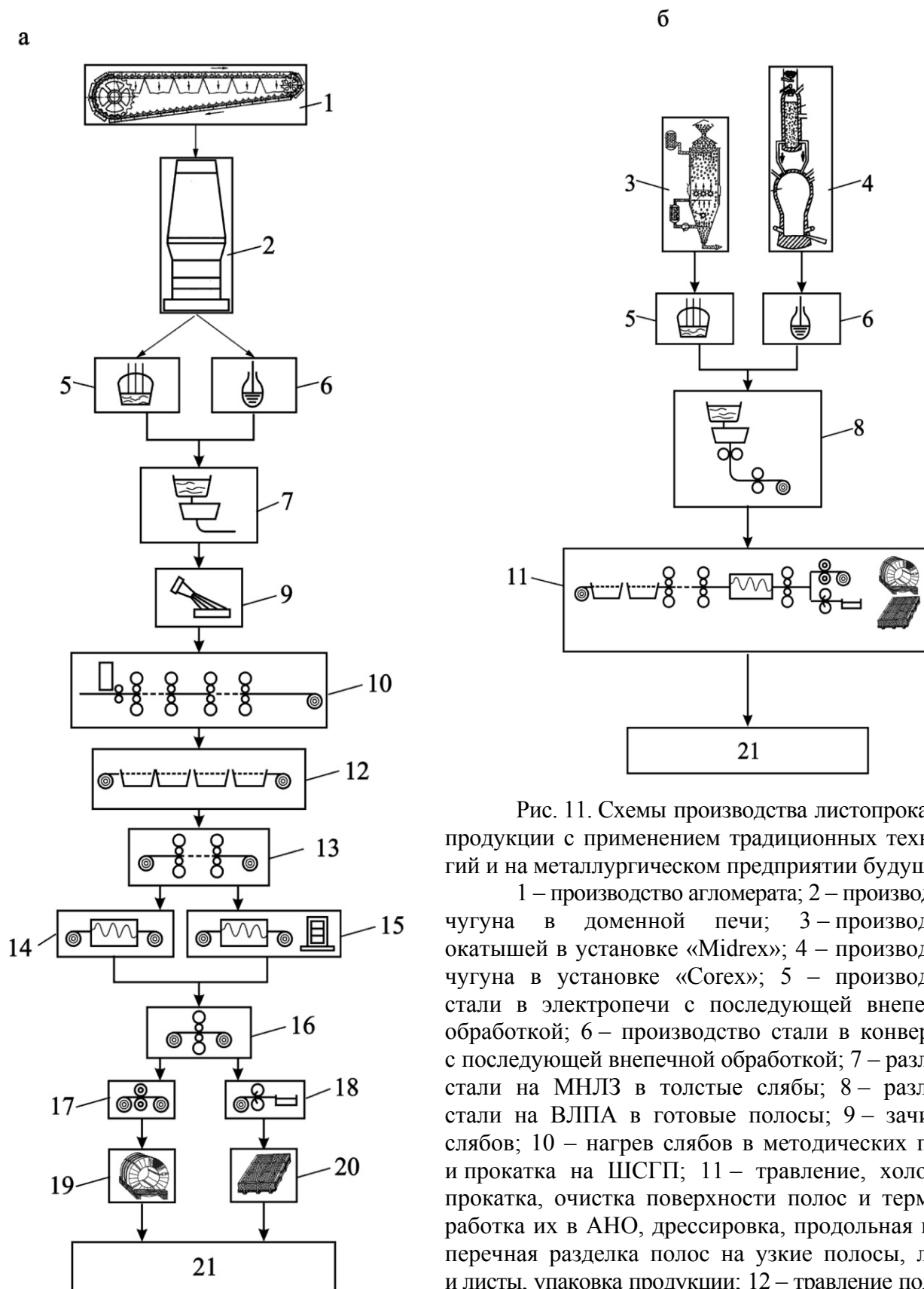


Рис. 11. Схемы производства листопрокатной продукции с применением традиционных технологий и на металлургическом предприятии будущего:

1 – производство агломерата; 2 – производство чугуна в доменной печи; 3 – производство окатышей в установке «Midrex»; 4 – производство чугуна в установке «Corex»; 5 – производство стали в электропечи с последующей внепечной обработкой; 6 – производство стали в конвертере с последующей внепечной обработкой; 7 – разливка стали на МНЛЗ в толстые слябы; 8 – разливка стали на ВЛПА в готовые полосы; 9 – зачистка слябов; 10 – нагрев слябов в методических печах и прокатка на ШСГП; 11 – травление, холодная прокатка, очистка поверхности полос и термообработка их в АНО, дрессировка, продольная и поперечная разделка полос на узкие полосы, ленту и листы, упаковка продукции; 12 – травление подката в НТА; 13 – холодная прокатка полос на НСХП;

14 – отжиг холоднокатаных полос в АНО; 15 – очистка поверхности холоднокатаных полос и отжиг рулонов в колпаковых печах; 16 – дрессировка; 17 – разделка холоднокатаных полос на узкие полосы; 18 – разделка на листы; 19 – упаковка рулонов; 20 – упаковка пачек листов; 21 – отгрузка готовой продукции

В качестве основных сталеплавильных агрегатов сохраняются конвертерный и электросталеплавильный процессы с обязательной внепечной обработкой стали. Непрерывная разливка и горячая прокатка полос заменяются ВЛПА для получения как готовых горячекатаных полос и листов, так и подката для НСХП. Это в настоящее время наиболее проблемная позиция. Холоднокатаный передел наиболее подготовлен для схемы рис. 11, б.

Основными преимуществами новой схемы металлургического предприятия будущего по сравнению с традиционной технологией являются: резкое сокращение энергозатрат и материальных ресурсов, уменьшение массы оборудования, площадей, трудозатрат, сокращение цикла производства; улучшение экологии, а, следовательно, и очень серьёзное сокращение капитальных и текущих затрат.

На обеих схемах отсутствуют операции по нанесению на полосу защитных покрытий. Агрегаты, на которых производится нанесение защитных покрытий, достаточно сложны, многооперационны, в зависимости от вида наносимых покрытий они имеют разные элементы. Вряд ли их удастся включить в общую технологическую схему.

Не вписывается в новую схему и производство толстых листов. Оно будет и в дальнейшем базироваться на ТЛС. Основные параметры ТЛС достигли предела (длина бочки валков, диаметры опорных и рабочих валков, размеры и масса станины) и на обозримое будущее увеличиваться не будут.

ВЫВОДЫ

К настоящему времени металлурги уже прошли долгий путь, основными этапами которого были: замена слиткового передела непрерывной разливкой стали, переход на выплавку стали в кислородных конвертерах или дуговых печах вместо мартеновского производства, перенос значительной части операций по доводке стали из сталеплавильных агрегатов в ковш, совмещение непрерывной разливки и прокатки металла, совмещение операций: травления-прокатки; прокатки-очистки поверхности; очистки поверхности-отжига-дрессировки, разделки и упаковки продукции.

Решение задачи, схематически изображённой на рис. 11, в руках нового поколения металлургов, и есть надежда, что они с ней справятся.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Минаев А. А. *Совмещенные металлургические процессы* / А. А. Минаев. – Донецк : Технопарк Дон НТУ УНИТЕХ, 2008. – 522 с.
2. Смирнов А. Н. *Металлургические мини-заводы* / А. Н. Смирнов, В. М. Сафонов, Л. В. Дорохова, А. Ю. Цупрун. – Донецк : Норд-Пресс, 2005. – 469 с.
3. Минаев А. *Идеи на прокат. Пути реструктуризации прокатного производства в чёрной металлургии Украины* / А. Минаев, Ю. Коновалов // *Металлургический компанс.* – Украина-Мир, 2009. – № 7. – С. 2–12.
4. *Литейно-прокатный агрегат для производства катанки* / В. А. Вердеревский, В. П. Степанов, Г. С. Никитин, О. К. Храпченко // *Сталь.* – 1995. – № 2. – С. 37–41.
5. Альзетта Ф. *Мини-завод «Липа» для литья и бесконечной прокатки сорта из специальных сталей* / Ф. Альзетта, Д. Андреатта, М. Тонидандел, В.-Д. Руза // *MPT.* – 2001. – С. 60–72.
6. Энгель Г. *Новые разработки в области разлива черновых профилей почти с размерами конечной продукции и непосредственная связь рельсобалочных прокатных линий с установками разлива* / Г. Энгель, Г. Мойрер, У. Шульц // *MPT.* – 1993. – С. 104–106.
7. Вальтер М. *EUROSTRIP – способ литья полосы на заводе фирмы «Krupp Thyssen Nirosta GMBL»* / М. Вальтер, В. Манкау, Х.-Ю. Фиггс и др. // *Чёрные металлы.* – 2001, октябрь. – С. 55–59.
8. *Edelman D. G. Recent Developments With Ultrathin Cast Strip Products Produced by the Castrip Process* / D. G. Edelman, P. C. Campbell, C. R. Killmore et al. // *Iron and Steel Technology.* – 2009. – № 10. – P. 47–58.
9. Коновалов Ю. В. *Металлургия : учебное пособие в 3 кн. К. 1. Производство чугуна, железа, стали и ферросплавов* / Ю. В. Коновалов, А. А. Троянский, С. Н. Тимошенко. – Донецк : ГВУЗ «ДонНТУ», 2011. – 431 с.

Минаев А. А. – д-р техн. наук, проф., ректор ДонНТУ, чл.-кор. НАН Украины;
Коновалов Ю. В. – д-р техн. наук, проф. ДонНТУ.

ДонНТУ – Донецкий национальный технический университет, г. Донецк.
НАН Украины – Национальная академия наук Украины, г. Киев.

E-mail: maa@dgtu.donetsk.ua; luda@donix-ua.com

Статья поступила в редакцию 20.10.2012 г.