

С.И.Бадюк, А.И.Лещенко

АНАЛИЗ СХЕМ СОВМЕЩЕНИЯ МНЛЗ И ПРОКАТНОГО СТАНА В ЛИТЕЙНО–ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТАХ

Целью исследования является выявление достоинств и недостатков известных конструктивных схем совмещения машин непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) и прокатного стана для разработки рекомендаций по их использованию. Рассмотрены и проанализированы конструктивные особенности совмещенных агрегатов, предложены рекомендации по использованию совмещения МНЛЗ и прокатного стана в проектируемых литейно–прокатных агрегатах (ЛПА). Показано, что предлагаемые схемы позволяют строить ЛПА с минимальными размерами и массой оборудования, минимизировать расход энергии на осуществление технологического процесса.

МНЛЗ, прокатный стан, литейно–прокатный агрегат, схемы

Современное состояние вопроса. Совмещение процессов литья и деформации при производстве металлопродукции и металлических изделий позволяет получить значительные технические и экономические выгоды. Так, в работе [1] говорится о том, что совмещение непрерывной разливки с прокаткой позволяет сократить цикл получения готовой продукции от нескольких суток до нескольких часов; уменьшить массу оборудования примерно в 1,5 раза и объем строительно–монтажных работ на 20–30%; сократить численность трудящихся на 30%; снизить сметную стоимость строительства на 20–25%; увеличить выход годного на 2%; повысить производительность труда на 25%.

К настоящему времени в мировой практике предложено большое количество проектов литейно–прокатных агрегатов (ЛПА), некоторые из которых реализованы. Однако ряд технических трудностей препятствует массовому внедрению совмещенных процессов разливки и прокатки. Главной проблемой, стоящей на пути практической реализации совмещенных процессов литья и прокатки, является различие рабочих скоростей МНЛЗ и прокатного стана. Скорость прокатки в первых клетях традиционных прокатных станов (≥ 30 м/мин), обеспечивающая надежную эксплуатацию валков и оборудования стана, значительно превышает максимально достигнутую в настоящее время скорость разливки заготовок на традиционных МНЛЗ с качающимся гильзовым кристаллизатором (≤ 6 м/мин). В различных проектах ЛПА проблемы состыковки МНЛЗ и прокатного стана решались различными способами.

Целью настоящего исследования является выявление достоинств и недостатков предлагаемых конструктивных схем совмещения МНЛЗ и прокатного стана для разработки рекомендаций по их использованию в проектируемых литейно–прокатных агрегатах

Изложение основных материалов исследования. Способ решения проблем состыковки МНЛЗ и прокатного стана необходимо считать главным отличительным признаком различных конструкций ЛПА. Известные способы состыковки МНЛЗ и прокатного стана можно разделить на пять групп: прямая (условно–совмещенная) состыковка; состыковка с использованием сляба либо профильного слитка, разрезаемого на части в продольном направлении на сортовые заготовки; состыковка с редуцированием непрерывнолитого сляба до заготовки квадратного либо близкого ему сечения; состыковка с использованием машин повышенного обжата в голове прокатного стана; состыковка с использованием высокоскоростных МНЛЗ. Рассмотрим особенности этих способов совмещения МНЛЗ и прокатного стана.

1. Прямая (условно–совмещенная) состыковка.

В соответствии с этой схемой предусматривается: разливка слитка на МНЛЗ; резка слитка на заготовки мерной длины; нагрев заготовок в печи; прокатка заготовок на прокатном стане. Это наиболее простая и очевидная схема совмещения МНЛЗ и прокатного стана. Данная схема была использована в листовом ЛПА типа CSP фирмы SMS [2], в сортовом ЛПА процесса Luna фирмы Danieli [4] и в ряде других ЛПА. Разновидностью данной схемы состыковки является схемы ЛПА проекта ISP фирмы Mannesman–Demag [3]. Особенностью данной схемы является предварительное обжатие слитка, имеющего начальные размеры 80–60 мм, в линии кристаллизатора и в специальной группе высокообжимных клеток до размера 35–15 мм, после чего раскат разрезается и сматывается в рулон.

Во всех действующих листовых ЛПА основанных на схеме условно–совмещенной состыковки используются тонкослябовые МНЛЗ с толщиной отливаемого слитка 50–90 мм. Основной продукцией этих ЛПА является горячекатаный лист толщиной 1–16 мм. В сортовом ЛПА процесса Luna фирмы Danieli отливается слиток размерами 160×160 и 160×200 мм. Он предназначен для производства круглого проката диаметром 15–50 мм и квадратного проката со стороной 40–100 м.

Первоначально для листовых ЛПА использовалась одноручьевая МНЛЗ, хотя при этом прокатный стан загружен не полностью. Один ручей имели первые ЛПА CSP, при этом его производительность составляла около 900 тыс. т в год. В дальнейшем строились двухручьевые ЛПА, годовая производительность которых достигает 2 млн. т. Для сортовых ЛПА, при условно–совмещенной состыковке, количество ручьев МНЛЗ, для обеспечения достаточной загрузки прокатного стана, должно быть не менее двух. Например, ЛПА проекта Luna имеет два ручья, производительность этого ЛПА составляет 500 тыс. т в год. Два ручья также имеет МНЛЗ, которой оснащается ЛПА проекта СВР фирмы SMS для производства крупных балок [5]. Однако, число ручьев МНЛЗ может быть и значительно больше. К примеру, в УкрНИИМете

разработан проект литейно–прокатного агрегата с объемом производства 500 тыс. т в год, который предполагается оснастить 5–ти ручьевой радиальной МНЛЗ [6].

Число ручьев МНЛЗ, длина отливаемых заготовок и конструкция нагревательных печей в условно–совмещенных ЛПА между собой тесно связаны. Так, при одно– или двухручьевой схеме листовых ЛПА, а также сортовых ЛПА, предназначенных для производства длинномерной продукции наиболее целесообразным является использование проходных роликовых печей. При этом длина заготовки, для обеспечения производства проката в мотках больших размеров, должна быть достаточно большой – в ЛПА проектов CSP и Luna длина заготовки составляет 45 м. Роликовые проходные печи в такой схеме должны быть достаточно большой длины, например для ЛПА проекта Luna она составляет 125 м, для ЛПА проекта CSP длина печи составляет 150 м. При двухручьевой схеме ЛПА нагревательная печь обязательно должна быть оборудована буфером–накопителем, в котором будут выдерживаться заготовки перед их поступлением в прокатный стан (ЛПА проектов Luna и ISP) или специальным паромом либо поворотной установкой, по которым заготовка из одной печи, не связанной с прокатным станом, будет передаваться к другой печи, которая связана с ним (ЛПА проектов CSP и QSP фирмы Sumitomo [7]). Использование данной схемы для МНЛЗ с количеством ручьев более двух вряд ли целесообразно, поскольку это будет сильно увеличивать капитальные затраты на сооружение нагревательных печей, кроме того, затруднительным является удаление заготовок из средних ручьев МНЛЗ в случае аварийной остановки прокатного стана. Листовые ЛПА с количеством ручьев более двух не разрабатываются.

Для сортовых ЛПА, которые оснащаются многоручьевыми МНЛЗ, или ЛПА, предназначенных для производства крупносортового проката (например балок), наиболее целесообразно использовать методические печи с шагающими балками. Длина заготовки при этом должна быть равной ширине печи. Такая схемы была использована в ЛПА конструкции УкрНИИМета и ЛПА проекта СВР фирмы SMS для производства крупных балок.

К достоинствам ЛПА условно–совмещенной состыковки следует отнести: простота конструкции; технология отливки заготовок и их прокатки на прокатном стане хорошо отработана; возможность использовать МНЛЗ, нагревательные печи и прокатные станы традиционной конструкции. Последнее можно использовать, например, при реконструкции действующих предприятий и создания на базе существующего оборудования литейно–прокатных агрегатов.

Среди недостатков отметим: большие габариты; все еще большие затраты на сооружение ЛПА; ограниченный сортамент продукции.

2. Состыковка с использованием сляба либо профильного слитка,

разрезаемого на части в продольном направлении на сортовые заготовки.

В соответствии с этой схемой предполагается: разливка широкого слитка (сляба или специального профильного слитка) на МНЛЗ; резка слитка в продольном направлении на заготовки мерной длины; нагрев заготовок в печи; прокатка заготовок на прокатном стане. Эта схема состыковки может быть использована только для сортовых ЛПА предназначенных для производства мелко- и среднесортного проката.

Сечение отливаемого слитка может иметь прямоугольную форму (сляб) либо специальную форму, имеющую вид нескольких заготовок, на которые будет разрезан слиток, соединенных между собой тонкими перемычками. Разрезка может быть осуществлена термическими методами, разделением в валках либо комбинацией этих способов. При разделении сляба в валках, сначала из него путем неравномерного обжатия по ширине формируют профиль в виде нескольких сортовых профилей, соединенных перемычками, а затем разделяют полученный профиль путем разрыва перемычек. При комбинированном разделении заготовки, перемычки разрезаются с помощью термической резки [8].

На заводе фирмы Нешнл стил (США), где был реализован один из вариантов данной схемы состыковки МНЛЗ и прокатного стана, экономия энергии составляла 158 ГДж в неделю по сравнению с традиционной технологией производства сортового проката из непрерывнолитых заготовок [9].

К недостаткам способа следует отнести необходимость зачистки зоны резки (удаление заусенцев) вдоль всей поверхности заготовок, что связано с большими затратами; некоторая неоднородность свойств, возникающая из-за неравномерного по ширине обжатия слитков; потери металла при термической резке; значительные затраты на энергоносители, вентиляцию, уборку шлама и ухудшение санитарно-гигиенических условий в цеху при использовании термической резки; большие габариты и масса ЛПА.

Из преимуществ отметим высокую производительность, простоту конструкции; возможность использовать литейного и прокатного оборудование традиционной конструкции, возможность обеспечения высокого уровня автоматизация процесса за счет устранения операций кантовки.

3. Сстыковка с редуцированием непрерывнолитого сляба до заготовки квадратного либо близкого ему сечения.

В соответствии с этой схемой предполагается: разливка широкого слитка (сляба) на МНЛЗ; резка слитка на заготовки мерной длины; выравнивание температуры заготовок в нагревательной печи; прокатка заготовок на реверсивном прокатном стане в положении «на ребро» до получения формы заготовки, близкой к квадратной; резка полученной длинной заготовки на участки мерной длины; подогрев заготовок в печи; прокатка заготовок на прокатном стане. Эта схема состыковки может

быть использована главным образом, для сортовых ЛПА, однако может применяться и для листовых ЛПА, предназначенных для производства неширокой полосы.

Способ редуцирования непрерывнолитых слябов до получения сортовой квадратной заготовки или сляба с малым отношением размеров сторон был впервые предложен Ю.М. Чижиковым и реализован на ряде металлургических предприятий СССР [9]. В составе литейно–прокатного агрегата данный способ был впервые применен на заводе шведской фирмы Lesiofors [10]. Из непрерывнолитых слябов сечением 300x90 мм прокатывались сортовые квадратные заготовки со стороной 50–70 мм. ЛПА оборудован реверсивным трехклетевым станом «Триплет», разработанным шведскими фирмами Metalmill и Metalform. Прокатный стан имеет одну пару горизонтальных редуцирующих валков с калибрами и две пары вертикальных валков с гладкой бочкой, расположенных по обе стороны от редуцирующих валков. Наибольшее обжатие обеспечивается горизонтальными валками; вертикальные валки кроме небольшого обжатия обеспечивают также подачу заготовки в процессе прокатки. Производительность ЛПА составляет 120 т/ч. Для получения оптимального выхода годного, соотношение сторон исходного сляба принимают 3:1.

По результатам исследований, выполненных в СССР под руководством Ю.М. Чижикова, пришли к выводу, что для реализации процесса редуцирования литых слябов крупных сечений в сортовые заготовки могут быть использованы действующие блюминги и обжимные станы [9]. Для производства готового проката из заготовки полученной на ЛПА данного типа могут, быть применены прокатные станы традиционной конструкции. Наиболее рациональным является использование данной схемы состыковки для производства крупносортного проката.

К достоинствам ЛПА с редуцированием непрерывнолитого сляба следует отнести высокую производительность, простоту конструкции, возможность получения широкого сортамента готового проката, высокий выход годного. Технология отливки заготовок хорошо отработана, имеется возможность использовать МНЛЗ, нагревательные печи и прокатные станы традиционной конструкции.

К недостаткам относятся: большие габариты и масса ЛПА; большие затраты на сооружение ЛПА; необходимость в двух подогревах, что будет приводить к большому расходу энергии.

4. Состыковка с использованием машин повышенного обжатия в голове прокатного стана.

В соответствии с этой схемой предполагается: разливка слитка на МНЛЗ; резка слитка на заготовки мерной длины (может не быть); нагрев заготовок в печи (может не быть); деформация заготовок с помощью машин повышенного обжатия; прокатка полученных заготовок на

чистовом прокатном стане. Эта схема состыковки может быть использована в сортовых и листовых ЛПА.

Деформацией с высокими обжатиями можно считать деформацию, при которой достигается вытяжка более 2,5 за один проход [11], что соответствует обжатию по сечению в 60% и более. К настоящему времени разработано много разнообразных конструкций агрегатов, реализующих высокие вытяжки. К ним можно отнести: планетарные станы, станы поперечно-винтовой прокатки, эксцентриковые станы, колебательно-ковочные машины, маятниковые станы, станы шаговой прокатки и др. Почти все конструкции машин повышенного обжатия предусматривают дробную (периодическую) деформацию заготовок. Исключение составляют лишь станы поперечно-винтовой прокатки.

Машины повышенного обжатия работают при низких скоростях входа заготовки, и обеспечивают высокую скорость на выходе после деформации. Поэтому они наилучшим образом подходят для состыковки традиционных МНЛЗ и прокатных станов. Обжатие заготовки может достигать очень высоких величин: 98% (листовые планетарные станы) и 80% (планетарный универсальный сортовой стан конструкции ВНИИМЕТМАШ). Однако в целом, в большинстве конструкций машин повышенного обжатия, оно находится на более низком уровне — обеспечивается вытяжка 6–12. Особенностью деформации заготовок с помощью машин повышенного обжатия является непродолжительность времени контакта деформирующего инструмента с заготовкой, что обеспечивает значительное снижение потерь тепла и даже разогрев заготовки.

Машина повышенного обжатия может находиться как в одной линии с МНЛЗ (ЛПА проекта ВНИИМЕТМАШ с планетарным универсальным станом) так и быть соединенным с ней с помощью нагревательной печи с шагающими балками (ЛПА фирмы Mannesman–Demag со станом поперечно-винтовой прокатки [12, 13]). В первом случае заготовка деформируется на выходе из МНЛЗ, а во втором — заготовка разрезается на участки мерной длины, которые затем подогреваются в нагревательной печи до температуры прокатки. Деформация заготовки на выходе из МНЛЗ ограничивает выбор машины повышенного обжатия, что связано с кристаллизацией слитка в кристаллизаторе. В случае соединения МНЛЗ и машины повышенного обжатия с помощью нагревательной печи можно использовать любую конструкцию машины повышенного обжатия, которая обеспечит получение необходимых прокатных профилей.

К достоинствам ЛПА с состыжкой с помощью машин повышенного обжатия следует отнести высокую производительность; небольшие массу и размеры ЛПА, уменьшение расхода энергии на деформацию, высокий выход годного, возможность использовать МНЛЗ и нагревательных печей традиционной конструкции.

К недостаткам относятся: сложность конструкции машин

повышенного обжатия, их большие габариты и масса; отсутствие надежных критериев выбора конкретной конструкции машины повышенного обжатия и неотработанность технологий деформации заготовок на них. Качество поверхности заготовок полученных с помощью машин повышенного обжатия различно в зависимости от конкретной их конструкции. В некоторых случаях качество поверхности заготовок может быть невысоким, например после прокатки заготовки на листовом планетарном стане возможно образование гребешков на поверхности раската.

5. Состыковка с использованием высокоскоростных МНЛЗ.

В соответствии с этой схемой предполагается: разливка слитка с размерами, близкими к конечным, на высокоскоростной МНЛЗ; прокатка полученных заготовок на чистовом прокатном стане. Эта схема состыковки может быть использована в сортовых и листовых ЛПА.

Впервые способ разливки стали с помощью высокоскоростных МНЛЗ был предложен в 1865 г. Г.Бессемером [14]. Он предложил разливать сталь между двумя вращающимися валками, которая кристаллизуясь, приобретает форму профиля раствора валков

На сегодняшний день предложено и разработано большое число схем высокоскоростных МНЛЗ: валковые, ленточные, гусеничные, роторные (колесно–ленточные) и ряд других конструкций [15–17]. Они имеют небольшие размеры и массу. Их принцип действия основан на движении стенок кристаллизатора совместно с кристаллизующимся слитком. Некоторые из этих разливочных машин были успешно внедрены и эксплуатируются до настоящего времени. Литейно–прокатные агрегаты, оснащенные высокоскоростными разливочными машинами, давно используются для производства проката цветных металлов. Например, в СССР более 80% алюминиевой катанки производилось на литейно–прокатных агрегатах, оснащенных роторными разливочными машинами [18]. В разливке стали с помощью высокоскоростных МНЛЗ наибольшие успехи были достигнуты при использовании двухвалковых кристаллизаторов для производства полосы, например ЛПА проектов Eurostrip [19] и Castrip [20]. Для других конструкций высокоскоростных МНЛЗ уровень технологии разливки пока еще недостаточен.

В силу своих конструктивных особенностей высокоскоростные МНЛЗ могут отливать только слитки небольших сечений, что ограничивает сортамент проката, производимого литейно–прокатным агрегатом. Однако небольшие размеры слитка позволяют значительно сократить число рабачих клетей (вплоть до одной) и уменьшить их размеры и массу, что позволит превратить прокатный стан в компактный агрегат. При этом качество микро– и макроструктуры слитка, вследствие высокоскоростной кристаллизации, будет на значительно более высоком уровне, чем качество микро– и макроструктуры слитка, полученного с помощью традиционной непрерывной разливки. Это позволит получать

качественный прокат при более низких вытяжках.

В процессе работы ЛПА слиток одновременно непрерывно отливается и деформируется. От промежуточного нагрева заготовки можно отказаться, либо ограничиться индукционным нагревом в проходных нагревательных устройствах. Операции отливки, прокатки и смотки готовой продукции будут объединены в едином технологическом потоке.

Хотя производительность валковых ЛПА для производства полосы на сегодняшний день превышает 500 тыс.т. в год [7], достигнуть такую же производительность для сортовых ЛПА с высокоскоростными МНЛЗ не удастся. Скорее всего, она будет находиться на уровне 200 тыс. т. в год. Однако, поскольку размеры ЛПА с высокоскоростными МНЛЗ будут намного меньше, чем размеры традиционных МНЛЗ и прокатного стана, производящих аналогичную продукцию, то удельная производительность, отнесенная к площади занимаемой ЛПА и массе оборудования, такого ЛПА будет много больше. Небольшие капитальные и эксплуатационные затраты сделают выгодной эксплуатацию даже одного такого ЛПА в составе мини-завода.

К достоинствам ЛПА с высокоскоростными МНЛЗ относятся: небольшие габариты и масса ЛПА; высокий выход годного; значительное снижение расхода энергии на всех стадиях технологического процесса.

К недостаткам следует отнести: ограниченный сортамент продукции; невысокая производительность; сложность конструкции высокоскоростных МНЛЗ и необходимость в использовании сложных систем управления технологическим процессом.

Выводы: ЛПА, реализованные с помощью условно-совмещенной состыковки и состыкованных с использованием сляба либо профильного слитка разрезаемого на части в продольном направлении на сортовые заготовки или с редуцированием непрерывнолитого сляба до заготовки квадратного либо близкого ему сечения, более целесообразно строить при реконструкции действующих предприятий с максимальным использованием имеющегося оборудования. Условно-совмещенная состыковка также может быть использована для вновь строящихся ЛПА. Наиболее целесообразна состыковка МНЛЗ и прокатного стана в ЛПА с помощью машин повышенного обжатия и высокоскоростных МНЛЗ. Эти схемы состыковки позволяют строить ЛПА с минимальными размерами и массой оборудования, а также минимизировать расход энергии на осуществление технологического процесса.

1. Молотилев Б.В., Шакалов И.П., Деев А.И. Тенденции развития литейно-прокатных агрегатов // Сталь. – 1991. – №6. – С.71–75.
2. Роде В., Флемминг Г. Современный уровень развития технологии совмещения непрерывного литья и прокатки (CSP) // Черные металлы. – 1996. – №2. – С.57–68.

3. *Технология* поточного производства полосового проката (ISP), ее возможности и первый производственный опыт /Ф.–П.Плешичунинг , Х.–Д.Хопман, Фон И.Хаген, Дж.Гозии// *Черные металлы*. – 1993. – №3. – С.12–23.
4. *Альзетта Ф.* Новая установка совмещенного литья и бесконечной прокатки специальных сталей на заводе фирмы ABS // *Черные металлы*. – 2002. – №5. – С.78–87.
5. *Энгель Г., Мойрер Г., Шульц У.* Новые разработки в области разливки черновых профилей почти с размерами конечной продукции и непосредственная связь рельсобальничных прокатных линий с установками разливки // *МРТ*. – 1993. – С.104–106.
6. *Медведев В.С.* Литейно–прокатный комплекс для производства сортового проката // *Научные труды ДонНТУ. Metallurgy*. Вып. 10 (141). – Донецк, ДонНТУ, 2008. – С.287–293.
7. *Коновалов Ю.В.* Справочник прокатчика. Справочное издание в 2–х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос – М.: Теплотехник, 2008. – 640 с.
8. *Бровман М.Я.* Перспективы совмещения непрерывного литья и прокатки // *Национальная металлургия*. – 2004. – №7. – С.90–93.
9. *Пастерняк З.* Прокатка непрерывно литых заготовок: Вып.. 3 (152). – М.: Черметинформация. – 1986. – 35 с.
10. *Совмещение* непрерывной разливки с прокаткой // *Черные металлы*. – 1977. – №5. – С.36–37.
11. *Копп Р., Туке К.–Х.* Производство прутковой стали путем деформации с высокими обжатиями // *Черные металлы*. – 1977. – №16. – С.3–7.
12. *Новые концепции* мелкосортно–проволочных станов / А.Вильман, Х.Вехаге, В.И.Ренш др. // *МРТ*. – 1996. – С.56–70.
13. *Риит Б., Апрель М.* Ориентированный на перспективу сортовой стан для прокатки специальных качественных и легированных сталей // *МРТ*. – 1990. – С.60–76.
14. *Патент США №49053.* Manufacture of iron and steel / Bessemer H. – Patented 25.07.1865.
15. *Германн Э.* Непрерывное литье – М.: Металлургиздат, 1961. – 815 с.
16. *Райхельт В., Капельнер В., Штеффен Р.* Получение плоских заготовок с размерами, близкими к конечным // *Черные металлы*. – 1988. – №9. – С.3–12.
17. *Бух Э., Фиге Д., Хайнке Р., Нонн Г.* Состояние развития двухленточных МНЛЗ для разливки сортовых заготовок // *Черные металлы*. – 1987. – №3. – С.32–35.
18. *Целиков А.И.* Металлургические машины и агрегаты: настоящее и будущее. – М.: Металлургия, 1979. – 144 с.
19. *Eurostrip* – способ литья полосы на заводе фирмы Thyssen Nirosta GmbH / М.Вальтер, В.Манкау, Х.Ю.Фиге и др. // *Черные металлы*. – 2001. – №10. – С.55–59.
20. *Отливка* стальной полосы в двух валках способом CASTRIP // *Новости черной металлургии за рубежом*. – 2003. – №2. – С.61–64.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук С.А.Воробьев*

С.І. Бадюк, А.І. Лещенко

Аналіз схем суміщення МБЛЗ і прокатного стану в ливарно–прокатних агрегатах

Метою дослідження є виявлення достоїнств і недоліків відомих конструктивних схем поєднання машин безперервного лиття заготовок (МБЛЗ) і прокатного стану для розробки рекомендацій щодо їх використання. Розглянуто і проаналізовано конструктивні особливості суміщених агрегатів, запропоновано рекомендації щодо використання поєднання МНЛЗ і прокатного стану в проєктованих ливарно–прокатних агрегатах (ЛПА). Показано, що запропоновані схеми дозволяють будувати ЛПА з мінімальними розмірами та масою обладнання, мінімізувати витрати енергії на здійснення технологічного процесу.