УДК 621.746.27:621.771.237

**Критерии обеспечения энергоэффективной работы комплекса МНЛЗ – ШСГП**

**Energy Efficient Criteria of CCM-HSRM Complex Functioning**

**Соловьёв А.Г., Шитов М.В.**

*Россия, Магнитогорск, ФГБОУ «МГТУ им. Г. И. Носова»*

В статье рассматривается комплексный критерий оценки работы системы МНЛЗ-ШСГП и возможные варианты производства горячекатаной продукции, главной целью которых является повышение общей энергоэффективности.

The article deals with comprehensive assessment criteria of CCM-HSRM complex functioning with a special emphasis on possible energy efficient variants of hot-rolled production.

Современные широкополосные станы горячей прокатки (ШСГП) относятся к энергоёмким агрегатам, суммарные затраты энергии на которых достигают 3000 и более МДж/т. С учётом того что практически для всех них исходными заготовками служат непрерывнолитые слябы, отливаемые на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ), согласованная работа двух этих агрегатов представляет огромный резерв для обеспечения энергоэффективного производства проката [1].

Эффективная работа комплекса МНЛЗ – ШСГП затрагивает два аспекта возможного управления энергетическими (расход топлива, электроэнергии и др.) и материальными ресурсами (потери металла в обрезь и в окалину, расход вспомогательных материалов и др.), и один аспект, связанный с обеспечением соответствия программ производства разливки и прокатки (производительность и размерный сортамент). Эти аспекты находятся во взаимной связи между собой, которая не всегда выражена в явном виде. Например, повышение температуры слябов перед посадом их в печь на каждые 100 °С влечёт уменьшение расхода топлива на 2 – 6 кг.у.т/т [2], напротив, однозначного ответа где эффективнее проводить изменение ширины, например на МНЛЗ, ШСГП или на отдельном редуцирующем агрегате, не приводится. Делаются лишь уточнения, что на каждом предприятие решение данного вопроса зависит от его специализации и объёмов производства [3-5].Это обусловлено, прежде всего, тем, что технологический комплекс МНЛЗ – ШСГП включает в свой состав фиксированное количество МНЛЗ и один ШСГП. Соответственно при неограниченной потребности в количестве ширин готовой продукции в линию стана подается фиксированное количество ширин слябов. Поиски рациональных схем технологических комплексов с точки зрения количества и технических характеристик МНЛЗ и ШСГП не производится во-первых, из-за избыточного количества технологических мощностей в мире и во-вторых, из-за огромных капитальных затрат на реконструкцию существующих комплексов. Таким образом, решения задачи энергоэффективного производства замыкаются в действующей технологической системе.

Примем, что изменение ширины сляба происходит либо на МНЛЗ, путём смены кристаллизатора под производственную программу стана, либо на ШСГП – за счет максимального обжатия вертикальными валками. В обоих случаях температура слябов для обеспечения горячего посада находится в пределах 6– 8 ч ожидания после разливки. При разливке слябов под производственную программу стана потребуется постоянно менять кристаллизаторы, и соответственно снижать производительность МНЛЗ и ШСГП, их программы будут не выполнены, хотя температура посада может быть достаточно высокой. Разливка слябов фиксированного количества типоразмеров положительно скажется на серийности МНЛЗ, т.е. её производительность возрастёт, программа ШСГП будет выполнена, но формирование ширины будет возложено на черновую группу ШСГП, а значит, возрастёт концевая обрезь, но температура посада слябов будет меньше, чем в первом варианте.

Получается, предпочтительный вариант находится между двумя крайними, но если рассмотреть комплекс, разбив его на три составные части - МНЛЗ, печи и черновая группа ШСГП, основываясь на трёх предложенных аспектах, применительно к реальному объекту, то результат получается иным.

Для рациональной работы МНЛЗ, с точки зрения производительности и расхода энергоресурсов, в работах [6-8] содержится ряд рекомендаций, согласно которым количество плавок в серии не должно превышать 10 – 15. Причиной снижения производительности является нарушения подаче ковшей к МНЛЗ, а уменьшение снижения расхода газа обусловлено отсутствием необходимости в постоянном подогреве промежуточных ковшей. Напротив, в работе [9] число плавок доходит до 40 и производительность растёт, но для уменьшения протяжённости переходного участка, возникающего при разливки марок разного химического состава, применяют одновременную смену разливочного и промежуточного ковша, так что увеличение серийности, ни как не сказывается на расходе материальных и энергетических ресурсов. Хотя с увеличением серийности обрезь на МНЛЗ снижается, что отмечается всеми единогласно.

Увеличение производительности МНЛЗ возможно при уменьшении длительности смены кристаллизатора и длительности разливки, и увеличение массы разлитого металла и количества плавок. На существующих заводах первый, второй и третий параметры фиксированы либо изменяемы в незначительном интервале, а значит, для повышения производительности нужно повышать серийность, т.е. разливать слябы одной ширины. Но даже при разливке сериями происходит «насыщение», где при разливке последующей плавки увеличение производительности происходит менее чем на 1 % (кривая δ≤1%, рис.1).

Рис. 1 – Зависимость производительности МНЛЗ от времени разливки и количества плавок в серии при длительности смены кристаллизатора 160 мин, массе одной плавки 370 т и толщине отливаемого сляба 250 мм

С учётом того, что могут возникнуть затруднения описанные ранее, роста производительности может не быть, поэтому стремление повысить серийность выглядит не совсем рациональным, кроме того необоснованно происходит загрузка склада , а также отлитые впрок слябы остывают, безвозвратно теряя тепловую энергию. В тоже время программа стана обеспечена с запасом на несколько часов вперёд.

Вторая часть - печи ШСГП, является не только агрегатом доводящим слябы до определённой температуры, но также и буфером между МНЛЗ и ШСГП. Последняя функция заключается в том, что они компенсируют неполную согласованность работы двух агрегатов [10]. Затраты энергии на нагрев напрямую зависят здесь от температуры посада слябов, и если партии слябов сажаемые в печь имеют в своём составе один или несколько слябов отличных от всех остальных своим градиентом температуры, то нагрев происходит по слябу с наименьшей энтальпией и говорить о снижение энергии не проходиться. Поэтому работу комплекса важно выстраивать с целью снижения чередования слябов с разной температурой.

Последняя третья часть – черновая группа клетей ШСГП, которая формирует промежуточный раскат путём обжатия сляба в вертикальных и горизонтальных валках. Слишком большие вертикальные обжатия формируют экономически нецелесообразную концевую обрезь, поэтому на современных ШСГП абсолютное изменение ширины не превышает 100 – 150 мм. При это есть несколько путей решения вопроса с концевой обрезью: это приближение ширины сляба к ширине полосы [11], внедрение новых технических решений в черновой группе, затрагивающих как оборудование, так и технологию[3-5], или изыскание других технологических и технических решений в комплексе МНЛЗ – ШСГП, которые покрывали бы затраты на обрезь. Для этого сведём все энергетические и материальные ресурсы, расходуемые на производство продукции в таблицу 1 и представив комплексный критерий КК как функцию от этих параметров (формула 1).

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Таблица 1 – Возможное изменение параметров в комплексе МНЛЗ - ШСГП | | | | | |
| № п/п | Варьируемые параметры | | Части комплекса МНЛЗ - ШСГП | | |
| Условное обозначение | Расшифровка и ед. измерения | МНЛЗ | Нагревательные печи | Черновая группа |
| 1 | Q | Топливо, кг.у.т/т | 2,5 - 3 | 2 – 61) | -2) |
| 2 | G | Огнеупоры, кг/т | 0,08 – 0,1 | - | - |
| 3 | E | Электроэнергия, МДж/т | - | - | 1 – 3 |
| 4 | g | Обрезь, кг/т | 5 - 25 | - | 5 - 15 |
| 5 | q | Окалина, кг/т | - | 2 - 3 | - |
| 1) – изменение расход топлива для печей считается на каждые 100 °С;  2) – данного параметра либо нет в рассматриваемой части, либо его изменением можно пренебречь. | | | | | |

КК=*f*(Q,G,E,g,q) (1)

Темп работы и саму программу задаёт ШСГП, и все мероприятия должны быть направлены не только на его бесперебойную работу, но и работу с минимальными затратами энергии и материальных ресурсов. Одно из таких компромиссных решений было найдено в комплексе МНЛЗ – ШСГП 2000 ОАО «ММК». Особенность данного комплекса в том, что МНЛЗ отливает слябы не только для стана 2000, но и для стана 2500, который из-за незначительной доли полос больше 2000 мм работает, как стан 2000, и по причине своей удалённости от МНЛЗ лишён возможности осуществлять горячий посад.

Был проанализирован период длиною в год, который показал, что МНЛЗ имеют небольшой резерв в работе, что можно использовать для повышения горячего посада. Продолжительность цикла прокатки монтажных партий составляет 2 – 8 ч, где большая доля приходится на 3 – 4 ч. Соответственно, работа МНЛЗ должна быть направлена на разливку слябов для двух монтажных партий, что создаёт благоприятные условия для обеспечения горячего посада. В то же время на МНЛЗ возникают затруднения с разливкой всех типоразмеров слябов. Для этого нужно интенсифицировать обжатия в черновой группе ШСГП 2000 доведя обжатия некоторых слябов до 150 – 180, за счёт чего доля количества некоторых типоразмеров слябов будет либо уменьшена, либо увеличена.

Для оценки возможного согласования графиков и прочих неучтённых факторов была разработана модель, где на примере реальных монтажных партий просчитаны разные варианты работы всего комплекса. В данной модели изменение параметров Qмнлз и Gмнлз не учитывалось, согласно работе [9].За счёт только этих мероприятий возможно повысить долю горячего посада до 60 – 80 % и сократить затраты на топливо, при этом дополнительные затраты на обрезь незначительны. Внедрение модели на предприятие потребует пересмотреть управление сложившихся режимов и загрузок мощностей комплекса МНЛЗ – ШСГП, что принесёт значительные экономические преимущества и повысить производственную гибкость комплекса в целом.

Литература

1. Средства технического обеспечения энергосберегающей технологии производства листового проката. Ю.В. Коновалов, А.Л. Остапенко, Э.Е Бейгельзимер. и др.//Обзорная информация:Ин-т Черметинформация. Серия.«Прокатное производство». 1988. Вып. 1. 34 с.
2. Остапенко А.Л. Производство проката. Том 3. В 2-х книгах. Книга 1. Информационное и методическое обеспечение проектирования технологии и оборудования листовых и полосовых станов горячей прокатки. Учебно-справочное пособие. М.: Теплотехник 2011. 344 с.
3. Салганик В.М., Кульпин Е.В. Формирование ширины полос при горячей прокатке // Обзорная информация:Ин-т «Черметинформация». Серия «Прокатное производство». 1989. Вып. 2. 24 с.
4. Салганик В.М., Сеничев Г.С., Тверской Ю.А. Проблемы формирования ширины полос и ресурсосбережение при горячей листовой прокатке// Прогрессивные технологические процессы в обработки металлов давлением: Сб. науч. тр./ Под ред. акад. Б.А. Никифорова. Магнитогорск: МГМА. 1997. С. 169-173
5. Коновалов Ю.В. МНЛЗ как многофункциональный агрегат для разливки, модифицирования и деформирования металла (Часть II) // Черная металлургия: Бюл. ин-та «Черметинформация». 2010. № 6. с.41-52.
6. Евтеев Д.П., Колыбалов И.Н. Непрерывная разливка стали. М.: Металлургия. 1984. 200 с.
7. Процессы непрерывной разливки. А.Н. Смирнов, В.Л. Пилющенко, А.А. Минаев и др. Донецк: ДонНТУ. 2002. 536 с.
8. Еронько С.П., Быковских С.В. Разливка стали: Оборудование. Технология. К. Техника. 2003. 216 с.
9. Столяров А.М., Юречко Д.В., Селиванов В.Н. Формирование переходного участка непрерывнолитого сляба из стали различных марок: Монография. Магнитогорск: ГОУ ВПО МГТУ. 2006. 94 с.
10. Тонкослябовые литейно-прокатные агрегаты для производства стальных полос. В.М. Салганик, И.Г. Гун, А.С. Карандаев, А.А. Радионов. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2003. 506 с.
11. Соловьев А.Г., Шитов М.В. Пример повышения энергоэффективности технологической системы МНЛЗ – ШСГП // Моделирование и развитие процессов обработки металлов давлением: Межрегиональный сб. науч. трудов. Магнитогорск: ГОУ ВПО «МГТУ». 2012. с. 178-185.

**Соловьёв Александр Геннадьевич,** ФГБОУ «МГТУ им. Г.И.Носова»,к.т.н., доцент, E-mail: [sag71mgn@yandex.ru](mailto:sag71mgn@yandex.ru)

**Шитов Михаил Викторович,** аспирант ФГБОУ «МГТУ им. Г.И.Носова», E-mail: [mihailschitov@mail.ru](mailto:mihailschitov@mail.ru).