

С.А.Воробей, С.И.Бадюк*Институт черной металлургии НАН Украины им.З.И.Некрасова***МЕТОД КОМПЛЕКСНОЙ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ
ПРОИЗВОДСТВА ПОЛОСОВОГО ПРОКАТА В РАЗЛИЧНЫХ ЛИТЕЙНО-
ПРОКАТНЫХ АГРЕГАТАХ**

Целью работы является создание комплексного метода оценки эффективности технологических и конструктивно-структурных схем производства листового проката из непрерывнолитой заготовки. В работе использованы разработанные авторами методы расчета параметров деформации на базе выявленных закономерностей формирования показателей качества продукции. Показан метод определения рациональных конструктивных и структурных схем литейно-прокатных комплексов и агрегатов для производства полосового проката из непрерывнолитых заготовок. Методика учитывает заданную производительность агрегата, сортамент и требования к показателям качества готовой продукции. Приведены результаты математического моделирования температурных и энергосиловых параметров прокатки, прогнозирования механических свойств и точности геометрических размеров готового проката. Предложенный метод оценки целесообразно использовать при разработке технико-экономических обоснований и проектировании литейно-прокатных агрегатов и комплексов для производства полосового проката.

Ключевые слова: литейно-прокатных агрегаты и комплексы, листовой прокат, схемы производства, математическое моделирование

Постановка задачи.

Приоритетным направлением мирового развития производства стального проката является переход на применение непрерывнолитой заготовки, в том числе малых сечений, что позволяет снизить капитальные и эксплуатационные расходы. Это направление является одним из главных для металлургического комплекса Украины. При этом наибольшая экономия капитальных и эксплуатационных затрат достигается при объединении непрерывной разливки и прокатки в едином комплексе - литейно-прокатном агрегате (ЛПА). К настоящему времени разработано достаточно много типов ЛПА для производства полосового проката. Однако влияние различных конструктивно-структурных схем литейно-прокатных комплексов и агрегатов на технологические параметры производства проката и особенности формирования показателей качества различных видов проката в технической литературе отражено недостаточно. Поэтому актуальным становится определение рациональных схем производства проката для проектируемых объектов в зависимости от сортамента, объема производства и требований к показателям качества готовой продукции.

Цель настоящей работы - создание комплексного метода оценки эффективности различных технологических и конструктивно-

структурных схем производства листового проката из непрерывнолитой заготовки на основе разработанных методов расчета параметров деформации и выявленных закономерностей формирования показателей качества продукции.

Изложение основных материалов.

В исходные данные на разработку технологии и проектирование литейно-прокатных агрегатов (ЛПА) и комплексов (ЛПК) заказчик, как правило, включает следующие основные требования:

- размерный и марочный сортамент проката;
- объем производства (общий и по сортаментным группам);
- требования к показателям качества проката, включая требования стандартов, технических условий и специальные требования, обеспечивающие конкурентоспособность продукции;
- ограничения по энергоносителям;
- технические параметры выплавки стали и показатели ее качества (при наличии действующего сталеплавильного производства);
- максимально возможные размеры производственной площади;
- этапы ввода в эксплуатацию.

Как правило, существует несколько вариантов схем производства и конструкций литейно-прокатных комплексов, обеспечивающих основные требования заказчика. Поэтому важным является определение критериев, которые позволят из всех возможных схем выбрать наиболее рациональную. В некоторых случаях заказчик предлагает выполнить детальную технико-экономическую проработку нескольких возможных вариантов. Однако это увеличивает стоимость предпроектных работ. Поэтому наиболее часто заказчик объявляет тендер на проектирование и строительство литейно-прокатных комплексов, привлекая различные фирмы, имеющие реализованные проекты в данной области. В тоже время, при определении наиболее выгодного предложения зачастую основное внимание уделяется стоимости объекта и значительно меньше – особенностям технологии, условиям эксплуатации оборудования и возможным перспективам расширения сортамента, дальнейшего увеличения производства и повышения показателей качества продукции.

Достаточно глубокий анализ указанных выше параметров целесообразно проводить с применением надежных математических моделей прогнозирования температурно-скоростных, энергосиловых параметров прокатки, режимов эксплуатации оборудования и показателей качества готовой продукции. Комплекс таких моделей разработан в Институте черной металлургии [1-5]. На рис.1 показана укрупненная блок-схема алгоритма расчета параметров прокатки и прогнозирования показателей качества полосового горячекатаного проката.

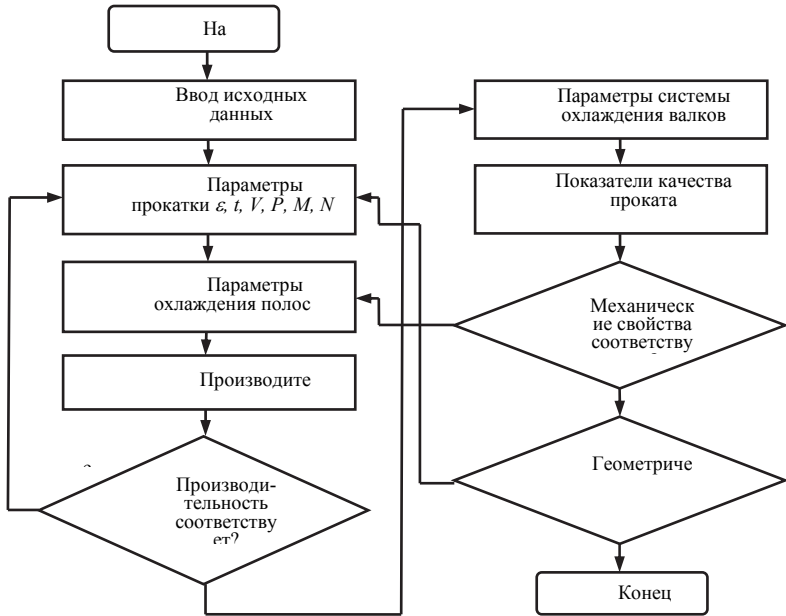


Рис. 1. Укрупненная блок-схема алгоритма определения рациональных технологических и конструктивных параметров полосовых ЛПА и ЛПК

Для упрощения в блок-схеме не показано определение рациональных размеров слэбов и требований к точности их геометрических размеров. Кроме того, в блок-схеме не показано, что по результатам расчетов энергосиловых и температурно-скоростных параметров прокатки определяется необходимое количество рабочих клеток и диаметры валков.

В качестве основных частных показателей процесса производства полосового проката целесообразно использовать следующие:

- стоимость агрегата, удельные расходы энергоносителей и себестоимость продукции;
- общее количество рабочих клеток;
- ориентировочная длина технологической линии прокатного стана, включая нагревательные устройства и установку последеформационного охлаждения перед смоткой полос в рулоны;
- дополнительное технологическое оборудование;
- максимальная скорость прокатки полос;
- производительность стана при прокатке полос различного (представительного) сортамента и годовая производительность в соответствии с программой производства;
- максимальные значения энергосиловых параметров прокатки;
- средний удельный расход энергии на нагрев (подогрев) и деформацию;

- максимальный расход воды на охлаждение полос и валков;
- уровень и стабильность температурного режима эксплуатации валков;
- допустимый диапазон колебаний толщины, ширины и температуры слэбов с позиций обеспечения заданных показателей качества продукции и эффективности работы систем автоматизации;
- возможность дальнейшего расширения размерного и марочного сортамента;
- максимальный годовой объем производства при возможной дальнейшей модернизации ЛПК.

Конечно, наличие информации о стоимости агрегата, удельных расходах энергоносителей и себестоимости продукции значительно облегчают задачу выбора предпочтительного варианта. Однако довольно часто достоверных данных по этим показателям нет. А в некоторых случаях, даже при наличии такой информации необходим более глубокий анализ особенностей технологии и эксплуатации оборудования. Такой анализ можно провести на основе результатов, полученных методами математического моделирования технологических параметров процесса прокатки. Это позволяет определить численные значения приведенных выше показателей.

Определить предпочтительный вариант ЛПК на основе частных показателей процесса производства можно с применением методов принятия решений [6-8]. При этом зачастую вводят дополнительные (как правило, качественные) показатели. Наиболее часто учитывают следующие:

- опыт эксплуатации аналогичного оборудования;
- возможное количество поставщиков-конкуренентов сменного оборудования.

Данные показатели целесообразно оценивать в баллах.

Наиболее простым и достаточно надежным является метод весовых коэффициентов [7]. В качестве примера приведем анализ возможных вариантов одного из планируемых литейно-прокатных комплексов.

Согласно требованиям Заказчика проектируемый ЛПК предназначен для производства горячекатаных полос толщиной 1,5-12 мм шириной 1000-1280 мм в рулонах массой до 20 т. Объем производства – 1 млн.т в год по жидкой стали. Прокатываемые полосы являются товарной продукцией и подкатом для стана холодной прокатки. Исходя из объема производства и сортамента проката, нами проанализированы три основные схемы производства: полунепрерывный широкополосный стан с промежуточным перемоточным устройством (ШСГП), а также ЛПА типа CSP и ISP. В табл.1 приведены результаты расчетов основных показателей процесса производства полос по этим схемам. Значения показателей определены без учета возможных колебаний технологических параметров прокатки и необходимого запаса на регулирование.

Таблица 1. Основные показатели процесса производства полос

Наименование показателей	Значения показателей		
	ШСГП	CSP	ISP
Толщина слябов, мм	180-250	50	70-90/50*
Общее количество горизонтальных рабочих клетей, шт.	6	5	8
Общее количество вертикальных рабочих клетей, шт.	1	0	0
Длина технологической линии стана, м	340	270	150
Дополнительное технологическое оборудование	ППУ**	-	ППУ
Необходимая максимальная скорость прокатки, м/с	8,7	6,0	8,2
Максимальные значения силы прокатки, МН/м	24,7	29,3	23,6
Максимальные значения момента прокатки, МН·м/м	1,3	2,2	1,2
Максимальные значения мощности прокатки, МВт/м	6,4	5,5	5,8
Удельный расход энергии на нагрев (подогрев), МДж/т	500	30	70
Удельный расход энергии на деформацию, МДж/т	280	290	240
Суммарный удельный расход энергии, МДж/т	780	320	310
Максимальный расход воды на охлаждение валков, м ³ /ч/м	2300	2100	2500
Максимальный расход воды на охлаждение полос, м ³ /ч/м	1800	1300	1600
Расчетная разнотолщинность полос, мм	0,03	0,03	0,03
Расчетная максимальная разноширинность полос, мм	6	8	7
Допустимое отклонение профиля поперечного сечения слябов, мм	- 2,0...+5,0	- 0,2...+0,9	- 0,4...+1,5
Допустимое отклонение ширины слябов, мм	+70	+5	+5
Допустимое отклонение температуры слябов, °С	±25	±17	±15
Минимально возможная толщина полос, мм	1,2	1,0	0,8
Максимальный объем производства прокатного стана при увеличении количества линий разливки, млн.т/год	2,6	1,9	2,2

Примечания: * - толщина слябов после «мягкого обжатия» в линии МНЛЗ;

** - ППУ – промежуточное перемоточное устройство.

Основные показатели процесса производства полос определены по результатам моделирования параметров прокатки следующих представительных типоразмеров полос:

- полосы минимальной толщины (для определения максимальной скорости прокатки и расхода воды на охлаждение валков);
- полосы, при прокатке которых ожидаются максимальные значения энергосиловых параметров;
- полосы, для охлаждения которых требуется максимальная длина отводящего рольганга и максимальный расход воды в установке ускоренного последеформационного охлаждения;
- полосы средневзвешенной толщины и ширины (для определения производительности стана и ЛПК).

Для анализа используем наиболее важные факторы. Показатели, имеющие числовое значение, рассчитывали как отношение к наилучшему из рассмотренных агрегатов (принимается за 10 баллов). Для показателей, не имеющих числовое значение, использовали метод оценки в баллах (по десятибалльной шкале). Весовые коэффициенты назначали по собственному опыту. Перечень показателей и результаты сопоставительного анализа приведены в табл. 2.

Таблица 2 – Результаты сопоставительного анализа эффективности производства полос по разным схемам

Наименование	Доля влияния, %	Баллы с учетом доли влияния		
		ШСПП	CSP	ISP
Общее количество рабочих клетей	14	1,0	1,4	0,9
Длина технологической линии стана	22	1,0	1,2	2,2
Дополнительное технологическое оборудование	5	0,0	0,5	0,0
Максимальные значения силы прокатки	5	0,5	0,4	0,5
Суммарный удельный расход энергии	12	0,5	1,2	1,2
Расход воды на охлаждение валков	7	0,6	0,7	0,6
Расход воды на охлаждение полос	7	0,5	0,7	0,6
Минимально возможная толщина полос	5	0,3	0,4	0,5
Максимальный объем производства	5	0,5	0,4	0,4
Опыт эксплуатации аналогичного оборудования	10	1,0	0,6	0,4
Возможное количество поставщиков-конкурентов сменного оборудования	8	0,8	0,3	0,2
Итого	100	6,7	7,8	7,4

Результаты анализа показывают, что для производства горячекатаных полос заданного сортамента и объема предпочтительным является ЛПА типа CSP. Следует отметить, что, чем более полно Заказчиком сформированы исходные данные для проектирования ЛПК,

тем более надежным будет результат определения его основных технологических и конструктивных параметров.

Выводы.

Предложен метод определения рациональных конструктивно-структурных схем (типов) литейно-прокатных комплексов и агрегатов для производства полосового проката из непрерывнолитых заготовок в зависимости от заданной производительности, сортамента и требований к показателям качества готовой продукции. Он основан на анализе результатов математического моделирования температурных и энергосиловых параметров прокатки, прогнозирования механических свойств и точности геометрических размеров готового проката. Предложенный метод целесообразно использовать при разработке технико-экономических обоснований и проектировании литейно-прокатных агрегатов и комплексов для производства полосового проката.

1. Воробей С. А. Особенности расчета энергосиловых параметров горячей прокатки тонких полос / С. А. Воробей, Г. В. Левченко // Теория и практика металлургии. – 2007. – № 2–3. – С. 86–91.
2. Воробей С. А. Прогнозирование стабильности показателей качества горячекатаных полос / Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – № 7. – С. 148–152.
3. Определение рациональной длины отводящего рольганга широкополосного стана горячей прокатки / С. А. Воробей, А. Ю. Путнок, В. Т. Гилик, Г. В. Левченко // Металл и литье Украины. – 2004. – № 6. – С. 22–24.
4. Воробей С. А. Моделирование температурного режима рабочих валков широкополосного стана горячей прокатки / С. А. Воробей, И. Ю. Приходько // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів. – Тр. 7-й Междунар. научно-технич. конф. «Пластическая деформация металлов». – Дніпропетровськ: «Системні технології». – 2005. – Т. 8. – С. 232–235.
5. Воробей С. А. Анализ режимов прокатки полос на литейно-прокатных агрегатах / С. А. Воробей, С. И. Бадюк // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2012. – № 5. – С. 28–31.
6. Емельянов С. В. Многокритериальные методы принятия решений / С. В. Емельянов, О. И. Ларичев. – М.: Знание, 1985. – 32 с.
7. Ларичев О. И. Теория и методы принятия решений: Учебник. Изд. Второе, перераб. и доп. – М.: Логос, 2002. – 392 с.
8. Экспертные оценки в квалиметрии машиностроения / Р. М. Хвастунов, О. И. Ягелло, В. М. Корнеева, М. П. Поликарпов. – Учебное пособие. – М.: АНО «Технонефтегаз», – 2002. – 142 с.

*Статья рекомендована к печати
докт. техн. наук. И. Ю. Приходько*

С.О.Воробей . С.І.Бадюк

Метод комплексної оцінки ефективності виробництва смугового прокату в різних ливарно- прокатних агрегатах

Метою роботи є створення комплексного методу оцінки ефективності технологічних і конструкційно - структурних схем виробництва листового прокату з безперервнолітної заготовки. У роботі використано розроблені авторами методи розрахунку параметрів деформації на базі виявлених закономірностей формування показників якості продукції . Показано метод визначення раціональних конструкційних і структурних схем ливарно-прокатних комплексів і агрегатів для виробництва смугового прокату з безперервнолітних заготовок. Методика враховує задану продуктивність агрегату , сортамент і вимоги до показників якості готової продукції . Наведено результати математичного моделювання температурних і енергосилових параметрів прокатки , прогнозування механічних властивостей і точності геометричних розмірів готового прокату. Запропонований метод оцінки доцільно використовувати при розробці техніко -економічних обґрунтувань і проектуванні ливарно-прокатних агрегатів і комплексів для виробництва смугового прокату.