

Bibliography

1. Development of the principles of technological adaptation with the production of metal production product in the multiobject technological systems. Golubchik E.M., Telegin V.E. / «Nonferrous metals 2011» coll. report. III Int. Congress in the composition of VII Symposium «Gold of Siberia» Krasnoyarsk: SFU, JSC «Verso». 2011. P. 597-601.
2. Construction of adaptive models with the design of multiobject technological systems. Golubchik E.M., Telegin V.E., Khohlov A.V. / Control of the large systems: the materials VIII of the school- conference of young scientists. Magnitogorsk: Publishing house Magnitogorsk. State. tech. university named after G.I. Nosova. 2011. P. 318-321.

УДК 621.771

Румянцев М.И., Шубин И.Г., Попов А.О., Шурыгин В.И.

ОСОБЕННОСТИ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ РЕЖИМОВ ПРОКАТКИ НА ШСГП ПРИ РЕШЕНИИ ЗАДАЧИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ СТАБИЛЬНОСТИ КОНТРОЛЬНЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА И ПОЛОСЫ

Описан процесс работы программы автоматизированного проектирования в режиме учета стохастичности процесса прокатки. Выполнено сравнение результативности прокатки в чистовой группе ШСГП 2000 ОАО «ММК» на примере полосы 4x1180 мм из стали 09Г2С при различных вариантах распределения обжатий по клетям и найден режим, обеспечивающий удовлетворительную результативность по комплексу характеристик процесса и прокатанной полосы.

Ключевые слова: автоматизированное проектирование, широкополосный стан горячей прокатки, стохастичность процесса, результативность прокатки, разнотолщинность, энергосиловые параметры, температура конца прокатки.

The process of computer aided design functioning in stochasticity mode is described. The effectiveness comparison in finishing train of wide strip hot rolling mill is performed for the 4x1180 mm strip for the different reduction strategies. Finally, the technology which maintains satisfactory effectiveness for the whole range of both process and profile parameters was developed.

Keywords: computer-aided design, wide strip hot rolling mill, process stochasticity, process effectiveness, polythickness, energy-power parameters, finishing temperature.

При создании новых и совершенствовании существующих режимов горячей прокатки полос широко применяются компьютерные программы автоматизированного проектирования [1]. В известных реализациях, как правило, выполняется точечная оценка параметров процесса и прокатываемого металла без учета стохастичности прокатки [2]. Оценка результатов проектирования без учета объективно существующей вариации параметров может стать причиной ошибочных выводов относительно возможности прокатки по разработанным режимам и особенно выводов относительно качества прокатанных полос. С целью повышения достоверности оценок проектируемых режимов в программе [3] был реализован алгоритм, учитывающий возмущения процесса прокатки (рис. 1).

Алгоритм проектирования начинается с процедуры имитации температурного состояния сляба для каждой точки полосы из числа точек, заданного пользователем. Процесс имитации реализован с использованием процедуры генерации случайного числа по закону нормального распределения:

$$t_{сл(i)} = RndNormal(t_{сл.ном}, s), \quad (1)$$

где $t_{сл.ном}$ – номинальная температура нагрева сляба (математическое ожидание); s – стандартное отклонение.

На основании практических данных установлена взаимосвязь стандартного отклонения с величиной температуры нагрева:

$$s = 0,017t_{сл.ном} - 15,5. \quad (2)$$

Кроме того, с применением процедуры (1) из диапазонов варьирования, настраиваемых пользователем, в каждом проходе для каждой точки на полосе генерируются температуры окружающей среды, охлаждающей воды и рабочих валков. Параметры соответствующих распределений указаны в табл. 1.

Таблица 1

Диапазоны вариаций температур окружающей среды, охлаждающей воды и рабочих валков для имитации возмущений на ШСГП 2000 ОАО «ММК»

Клеть	x_{\min}	x_{\max}	\bar{x}	s
R1	76	81	79	0,7
R2	74	76	75	0,8
R3	68	73	71	1
R4	64	68	66	0,8
R5	55	64	60	0,7
R6	54	60	57	0,7
F1	77	85	81	0,83
F2	77	85	81	0,83
F3	72	80	76	0,83
F4	71	79	75	0,67
F5	65	75	70	0,83
F6	66	75	70	0,83
F7	62	70	66	0,83

На всех участках стана распределение температуры технической воды имеет следующие параметры: $x_{\min} = 15$; $x_{\max} = 35$; $\bar{x} = 20$; $s = 3,3$. Параметры распределения температуры воздуха: $x_{\min} = 15$; $x_{\max} = 20$; $\bar{x} = 17,5$; $s = 0,8$.

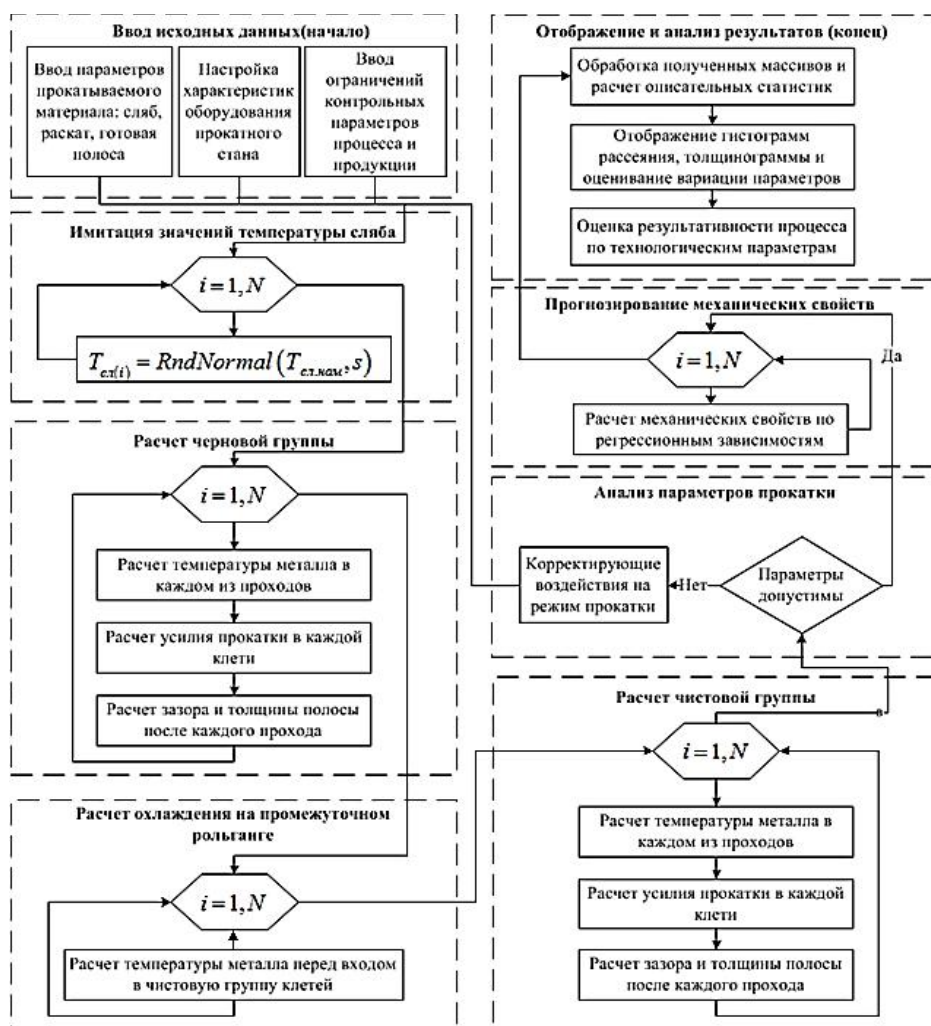


Рис. 1. Схема работы программы автоматизированного проектирования в режиме прогнозирования вариации контрольных параметров процесса и полосы

Также для каждой точки полосы реализуются процедуры расчета параметров процесса и полосы на различных участках линии стана, в результате чего формируются соответствующие массивы значений, которые, в связи с имитацией возмущений указанных выше параметров, являются случайными числами. Массивы, характеризующие состояние полосы после ее обработки на одном участке являются исходными данными для расчетов изменений тех же параметров в результате воздействия на полосу на следующем участке стана.

После расчета параметров процесса и полосы в последней чистой клетии осуществляется проверка выполнения ограничений по энергосиловым и кинематическим параметрам прокатки, а также оценивается соответствие прогнозируемой температуры конца прокатки заданной. Для оценивания используется показатель соответствия q_{pk} . В соответствии с рекомендациями работы [4] принимаются следующие оценки результативности процесса: отличная ($q_{pk} > 1,67$), хорошая ($1,33 < q_{pk} \leq 1,67$), удовлетворительная ($1,00 < q_{pk} \leq 1,33$).

В случае успешной проверки выполняется расчет производительности прокатного стана и последующий переход к расчету температуры скотки. Если по

какому-либо параметру наблюдается невыполнение установленных требований, то принимаются соответствующие корректирующие меры, и расчет повторяется с самого начала.

Для прогнозирования температуры скотки и настройки схемы охлаждения на отводящем рольганге в программе предусмотрен специальный модуль, позволяющий моделировать работу установок охлаждения различного конструктивного исполнения*. При этом возможна вариация количества и расположения секций на отводящем рольганге, а также задание расхода воды по каждой секции и типа верхних коллекторов – струйный или щелевой [3].

С использованием полученной совокупности значений температуры скотки по экспериментальным зависимостям, полученным в ходе множественного регрессионного анализа, осуществляется расчет механических свойств стали. Для учета особенностей того или иного материала и повышения точности прогноза программа позволяет пользователю описывать свои модели анализа механических свойств.

Для оценки качества продукции, прокатываемой по спроектированному режиму, программа выдает пользователю графическое представление вариации контрольных параметров в виде гистограмм распределения и прогнозируемой толщинограммы. Примеры рабочего окна программы с визуальным отображением результатов представлены на рис. 2.

Приведем пример реализации методики поиска наиболее результативной технологии прокатки полосы 2x1250 из стали марки S315 MCв чистой группе ШСГП 2000 ОАО «ММК». С использованием показателя соответствия были рассмотрены и оценены 2 варианта режимов обжатий (рис. 3).

Обжатия по варианту 1 являются фактическими обжатиями, записанными при производстве рассматриваемого профиля. А вариант 2 является скорректированным вариантом обжатий, разработанным для обеспечения необходимой результативности прокатки по всему комплексу показателей. В обоих случаях толщина промежуточного раската (на входе в чистовую группу) 30 мм.

* В работе принимал участие Ветренко А.Г.

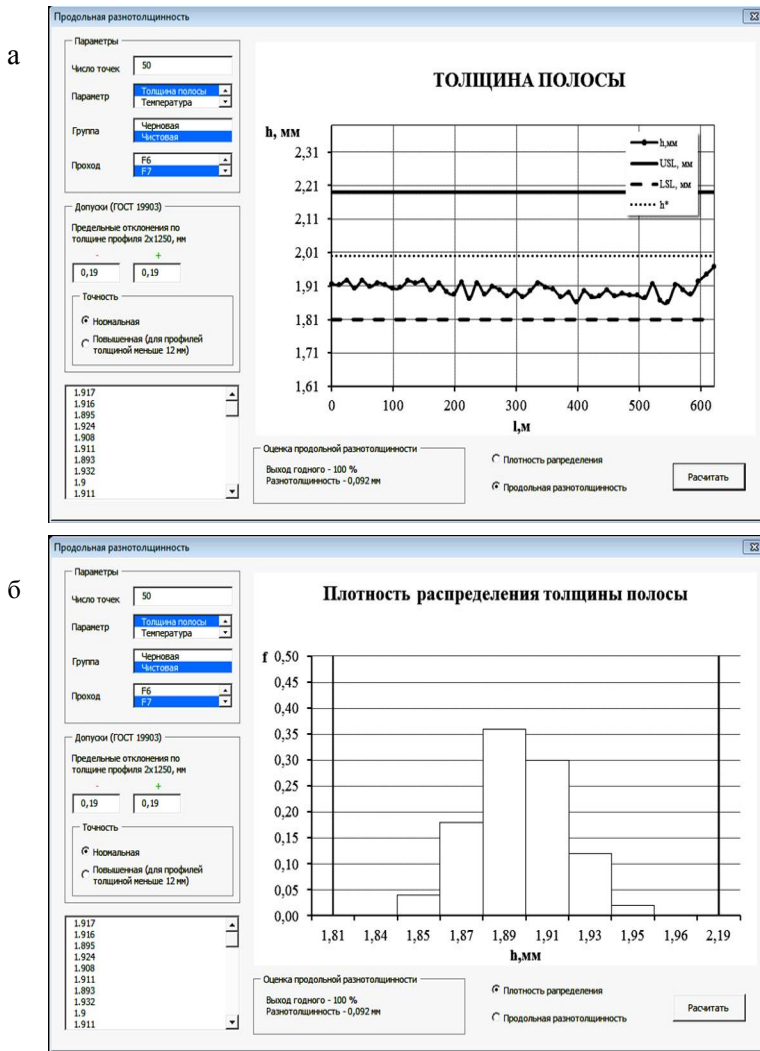


Рис. 2. Пример отображения вариации толщины полосы 2x1250 мм из стали S315MC при прокатке на ШСГП 2000 ОАО «ММК»: а – толщинограмма; б – гистограмма распределения и границы допуска

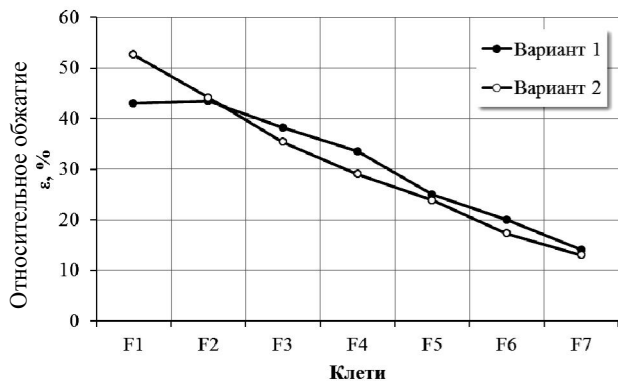


Рис. 3. Распределение обжатий при прокатке в чистовой группе ШСГП 2000 полосы 2x1250 мм из раската толщиной 30 мм

Оценка результативности вариантов проводилась по продольной разнотолщинности прокатанной поло-

сы $\delta_h^=$ и температуре конца прокатки $t_{кп}$. Значения показателей соответствия, а также описательные статистики представлены в табл. 2.

Из результатов видно, что по разнотолщинности результативность обжатий, применяемых на производстве, можно оценить как отличную ($q_{Pk}(\delta h) = 2,635$). Однако их недостатком является неудовлетворительное значение оценки соответствия по температуре конца прокатки ($q_{Pk}(t_{кп}) = 0,666$), что связано со значительной вариацией температуры (рис. 4, а).

Таблица 2

Оценка результативности процесса прокатки при различных вариантах распределения обжатий по толщине готовой полосы и температуре конца прокатки

Параметр	\bar{x}	s	x_{\min}	x_{\max}	R	q_{Pk}
Толщина, мм						
Режим 1	1,95	0,018	1,923	2,000	0,077	2,635
Режим 2	1,91	0,018	1,875	1,957	0,082	1,807
Температура, °C						
Режим 1	830,43	4,790	817,121	838,758	21,637	0,666
Режим 2	824,90	4,844	811,366	833,463	22,097	1,025

Примечание. \bar{x} – среднее выборочное; s – стандартное отклонение; x_{\min} – минимальное значение; x_{\max} – максимальное значение; R – размах; q_{Pk} – показатель соответствия.

Для улучшения результативности процесса по данному параметру коррекцией распределения обжатий был найден режим 2, обеспечивающий удовлетворительное значение показателя соответствия $q_{Pk}(t_{кп}) = 1,025$ (рис. 4, б). Следует отметить, что новый режим имеет несколько меньшую оценку результативности процесса по разнотолщинности полосы ($q_{Pk}(\delta h) = 1,807$), которая, тем не менее, соответствует уровню «отлично».

По совокупности оценок можно ожидать, что с точки зрения выполнения ограничений, предъявляемых как к процессу, так и к полосе, оба режима являются допустимыми. Однако учет стохастического аспекта позволяет получить более полную картину о надежности разрабатываемой технологии. В связи с чем, можно сказать, что лучшая результативность прокатки в чистовой группе ШСГП 2000 полосы 2x1250 мм из стали S315MC будет достигнута в случае использования расчетного режима.

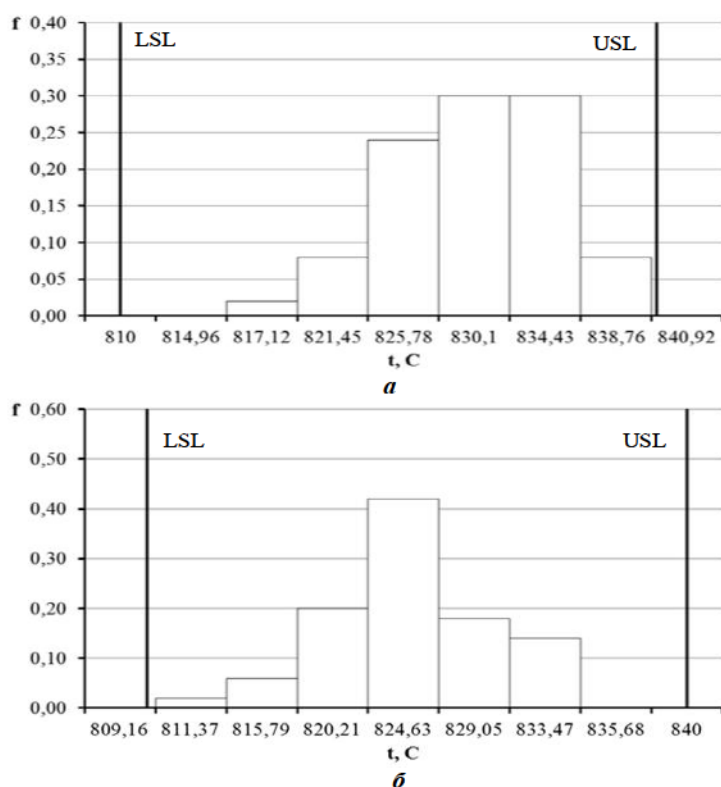


Рис. 4. Распределения температуры конца прокатки полосы 2x1250 при прокатке на ШСГП 2000 ОАО «ММК» по варианту обжатий 1 (а) и 2 (б): USL и LSL – верхняя и нижняя граница допуска указанных параметров

Список литературы

1. Румянцев М.И. Методика разработки режимов листовой прокатки и ее применение // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2003. № 3. С. 35-39.
2. Мазур В.Л., Ноговицын А.В., Добронравов А.И. Рациональный метод расчета на ЭВМ параметров тонколистовой прокатки // Изв. вузов. Черная металлургия. 1977. № 2. С. 54-59.
3. Разработка и опыт применения программы автоматизированного проектирования технологий горячей прокатки высокопрочной широкополосной стали для автомобилестроения на станах различных типов / Румянцев М.И., Шубин И.Г., Попов А.О. и др. // Современная металлургия начала нового тысячелетия: сб. науч. труд. Ч. II. Липецк: Изд-во ЛГТУ, 2011. С. 56-62.
4. Румянцев М.И., Цепкин А.С., Оплачко Т.В. Унифицированный подход к расчету дифференциальных оценок при квалитетическом оценивании качества проката // Вестник МГТУ им. Г.И. Носова. 2007. №3. С. 61-64.

Bibliography

1. Rumyantsev M.I. Methodology of hot strip rolling technology development and its application // Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov. 2003. № 3. P. 35-39.
2. Mazur V.L., Nogovitsyn A.V., Dobronravov A.I. The rational way of thin strip rolling parameters computer calculation // Sci. ferrous metallurgy. 1977. № 2. P. 54-59.
3. Development and experience with the computer aided design of hot rolling technology of wide-strip high-strength steel products production for automobile industry for different types of mills / Rumyantsev M.I., Shubin I.G., Popov A.O. and others // Modern metallurgy of the new millennium beginning: scientific papers. Part II Lipetsk: Publ LSTU, 2011. P. 5-62.
4. Rumyantsev M.I., Tsepkin A.S., Oplachko T.V. Unified approach to differential ratings calculation in their qualitative evaluation of rolled metal quality // Vestnik Magnitogorsk State Technical University named after G.I.Nosov, 2007. №3. P. 61-64.

УДК 621.746.5.047

Мошкун В.В., Столяров А.М.

ВЛИЯНИЕ МЯГКОГО ОБЖАТИЯ НА МАКРОСТРУКТУРУ СЛЯБОВОЙ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ ЗАГОТОВКИ ИЗ ТРУБНОЙ СТАЛИ

Мягкое обжатие слябовых непрерывнолитых заготовок из трубной стали позволяет улучшить качество центральной части сляба и изменить расположение участка осевой рыхлости и осевой химической неоднородности.

Ключевые слова: непрерывнолитой сляб, мягкое обжатие, качество металла.

Soft reduction of continuously cast from tube steel allows to improve the quality of the central part of slab and to change «center segregation» defects location.

Keywords: continuously cast slab, soft reduction, metal quality

В кислородно-конвертерном цехе ОАО «Магнитогорский металлургический комбинат» трубная сталь разливается на слябовой МНЛЗ криволинейного типа с вертикальным участком. Для улучшения качества металла осевой зоны слябовой заготовки на этой машине применяется мягкое обжатие непрерывнолитой заготовки [1–2]. В данной работе исследуется влияние мягкого обжатия сляба на макроструктуру отлитой заготовки.

Для изучения особенностей внутреннего строения непрерывнолитых заготовок, отлитых с применением мягкого обжатия, были отобраны поперечные темплеты в процессе разливки трех плавов трубной стали класса прочности К60. В металле плавов А, В, С со-

держалось 0,07–0,10% углерода, 0,28–0,55% кремния, 1,59–1,63% марганца, 0,002–0,003% серы, 0,09–0,15% фосфора. Слябовые заготовки с размерами поперечного сечения 300×2600 мм отливались со скоростью вытягивания из кристаллизатора 0,70–0,79 м/мин. Величина мягкого обжатия составляла от 5,3 до 5,5 мм.

Для исследования качества отлитых непрерывнолитых слябов по их продольной оси вырезались поперечные темплеты. Подготовка всех темплетов заключалась в проведении стандартных операций:

– фрезерования для снятия слоя металла, подвергнувшегося высокотемпературному воздействию огневого реза машины газовой резки;

– шлифования для выравнивания поверхности