

Управление продольной разнотолщиной листов на толстолистовых станах

Рассмотрена задача управления продольной разнотолщиной листов на толстолистовых станах, не оснащенных гидравлическим нажимным устройством. Задача решается путем выбора обжатий и скоростей в нескольких последних пропусках таким образом, чтобы продольная разнотолщина, формируемая в последнем пропуске вследствие непостоянства температуры по длине проката в очаге деформации, была равна по абсолютной величине и противоположна по знаку продольной разнотолщине, возникающей вследствие непостоянства температуры по длине проката в предыдущих пропусках, с учетом ее выравнивания клетью в последнем пропуске. Таким способом можно получить после окончания прокатки лист с постоянной по длине толщиной.

Ключевые слова: продольная разнотолщина, толстолистовой стан, обжатия, скорости, температура, толщина листа.

Актуальность проблемы. Одним из путей повышения точности прокатки листовой стали является снижение продольной разнотолщины листов. Основными причинами появления продольной разнотолщины на листовых реверсивных станах являются возмущения, действующие на объект управления, которые можно разделить на две группы: возмущения со стороны полосы и возмущения со стороны прокатной клетки. К первой группе относятся изменение жесткости металла вследствие изменений температуры и химсостава, изменение ширины, входной толщины и скорости прокатки, ко второй – эксцентриситет и овальность валков, изменение толщины масляной пленки в подшипниках жидкостного трения вследствие «всплытия» валков и т. д. [1].

Изложение основного материала. Эффективным способом снижения продольной разнотолщины на станах, оснащенных гидравлическими нажимными устройствами (ГНУ), является регулирование толщины и продольной разнотолщины путем изменения раствора валков в процессе прокатки с помощью ГНУ.

Автоматическое регулирование толщины и продольной разнотолщины осуществляется с использованием косвенной оценки толщины, согласно известному выражению Симса-Головина:

$$h = S + \frac{P}{M_k}, \quad (1)$$

где h – толщина раската; S – раствор ненагруженных валков с учетом усилия противоизгиба; P – усилие прокатки; M_k – модуль деформации клетки (зависит от ширины раската).

Регулятор компенсирует возмущения по полосе в замкнутом контуре «по отклонению» и возмущения по клетке – в разомкнутом. Регулятор оценивает изменения усилия прокатки, вызванные возмущениями по полосе, и формирует управляющие воздействия

на привод нажимного устройства с целью их компенсации.

Возмущения по клетке, обусловленные эксцентриситетом валков и изменением толщины масляной пленки в подшипниках жидкостного трения вследствие «всплытия» валков, компенсируются параметрически, согласно экспериментальным характеристикам их изменения в функции угла поворота опорных валков и скорости прокатки.

В систему автоматического регулирования толщины (САТ) поступают уставки на заданную толщину в пропуске $h_{зад}$ от уровня управления режимами, информация о ширине поступающего раската для выбора соответствующей величины модуля клетки M_k и фактической толщине, измеренной после прокатки радиоизотопным толщиномером, для адаптации модели клетки. Гарантированные показатели регулирования толщины определяются быстродействием нажимных механизмов. Примеры разработок САТ для листовых станов описаны в работе [2].

Вопросы взаимодействия задач управления режимами прокатки и регулирования толщины рассмотрены в работе [3].

Поскольку многие действующие листовые станы горячей прокатки не оснащены ГНУ, актуальным является вопрос об использовании других методов управления продольной разнотолщиной.

Одним из эффективных каналов управления геометрией проката посредством управления скоростью главных приводов прокатных станов может быть канал, использующий эффект скоростной асимметрии (СА), который заключается в снижении усилия прокатки при увеличении рассогласования скоростей валков. Это наиболее доступный с точки зрения реализации канал автоматизированного управления геометрией полосы, поскольку его использование не требует капитальных затрат на реконструкцию оборудования [4].

Стоит рассмотреть еще один способ управления продольной разнотолщиной на реверсивных

листовых станах горячей прокатки. В связи с этим актуальным является вопрос о влиянии управлений режимом обжатий и скоростей в пропусках (выбираются перед пропуском на основе прогнозирования результатов управления) на продольную разнотолщинность $\delta h_{\text{вых}}$ и, прежде всего, на составляющую продольной разнотолщинности, вызванную изменением температуры металла по длине раската («температурный клин») δh_i .

При реверсивной прокатке листов после каждого пропуска образуется «температурный клин» по длине раската, величина которого прямо пропорциональна температуре металла в четвертой степени, времени прокатки в данном пропуске и обратно пропорциональна толщине раската. Так как при прокатке толщина раската на выходе из клетки всегда меньше, чем на входе на величину абсолютного обжатия в данном пропуске, то остывание во время прокатки участков раската, находящихся после клетки, будет идти более интенсивно, чем участков раската, находящихся до клетки. Таким образом, выбором величины времени или, что аналогично, скорости прокатки, а также обжатий по пропускам можно воздействовать на величину «температурного клина».

В работе [5] описан способ автоматического регулирования продольной разнотолщинности толстых листов, предусматривающий для получения листов с одинаковой толщиной по длине обеспечение равенства температур по длине раскатов в очаге деформации в последнем пропуске, за счет создания перед последним пропуском обратного «температурного клина», равного падению температуры по длине раската при его прокатке в последнем пропуске.

Условие обеспечения постоянства температуры в очаге деформации по длине раската приведено в работе [5] и описывается следующим уравнением:

$$\frac{L_1}{V_1} \left(\frac{a_2}{h_2} - \frac{a_1}{h_1} \right) - \frac{L_2}{V_2} \left(\frac{a_3}{h_3} - \frac{a_2}{h_2} \right) + \frac{L_3}{V_3} \left(\frac{a_4}{h_4} - \frac{a_3}{h_3} \right) - \frac{L_4}{V_4} \left(\frac{a_5}{h_5} - \frac{a_4}{h_4} \right) + \dots = \frac{L_N}{V_N} - \frac{a_N}{h_N}, \quad (2)$$

где $a_i = 18,2 \cdot 10^{-4} \left(\frac{t_i + 273}{100} \right)^4$ – относительное теплоизлучение перед i -м пропуском, $^{\circ}\text{C} \cdot \text{мм}/\text{с}$; t_i – температура металла перед i -м пропуском, $^{\circ}\text{C}$; L_i – длина раската после i -го пропуска, м; V_i – скорость прокатки в i -м пропуске, м/с; h_i – толщина раската перед i -м пропуском, мм; N – число пропусков в цикле прокатки.

Следует, однако, отметить, что обеспечение равенства температур по длине раската в очаге деформации в последнем пропуске не обеспечивает одинаковую толщину раската по его длине после окончания прокатки. Продольная разнотолщинность раската после i -го пропуска определяется как непостоянством температуры раската по его длине в данном пропуске (δh^I), так и непостоянством температуры по его длине в предыдущих пропусках (δh^{II}) и описывается уравнением [6]:

$$\delta h_{ti} = b \frac{P_i}{M_{ni} + M_k} \delta t_i + \frac{\alpha M_{ni}}{M_{ni} + M_k} \delta h_{i-1}, \quad (3)$$

где P_i – усилие прокатки в i -м пропуске; b – коэффициент изменения сопротивления деформации полосы при изменении температуры на 1°C , для углеродистых сталей $b = 0,0025 \div 0,003 \text{ 1}/^{\circ}\text{C}$; M_{ni} – жесткость

полосы в i -м пропуске, $M_{ni} = \frac{\delta P_i}{\delta h_i}$ тс/мм; M_k – модуль

жесткости клетки, тс/мм; δt_i – «температурный клин» в i -м пропуске относительно моментов прохождения очага деформации головным и хвостовым участком раската, $^{\circ}\text{C}$; δh_{i-1} – продольная разнотолщинность перед i -м пропуском (входная продольная разнотолщинность), мм; α – постоянный коэффициент, $\alpha = 0,95$.

Для снижения продольной разнотолщинности δh обжатия и скорости в нескольких последних пропусках следует выбирать таким образом, чтобы δh , формируемая в последнем пропуске вследствие непостоянства температуры по длине раската в очаге деформации, была равна по абсолютной величине и противоположна по знаку продольной разнотолщинности δh , возникающей вследствие непостоянства температуры по длине раската в предыдущих пропусках, с учетом ее выравнивания клетью в последнем пропуске. Это соответствует уравнению:

$$\delta h_{tN} = b \frac{P_N}{M_{nN} + M_k} \delta t_N + \frac{\alpha M_{nN}}{M_{nN} + M_k} \delta h_{N-1}, \quad (4)$$

где $\delta t_N = \sum_{i=1}^N \frac{L_i}{V_i} \cdot \frac{a_i}{h_i} (-1)^i + \sum_{i=1}^{N-1} \frac{L_i}{V_i} - \frac{a_i + 1}{h_{i+1}} (-1)^{i+1} -$

«температурный клин» в последнем пропуске.

Величина $\delta h_{t(N-1)}$ вычисляется по формуле (4) при замене индексов N на $N-1$, аналогично определяется δh_{ti} для других пропусков.

Деформационный и скоростной режимы прокатки для уменьшения δh изменяются снижением (повышением) скорости прокатки в однонаправленных пропусках и соответствующим увеличением (уменьшением) обжатий в этих пропусках.

В работе [5] представлены варианты температурно-деформационных и скоростных режимов прокатки раската размерами $10 \times 2000 \times 30000$ мм для условий толстолистового стана (ТЛС) 3600. Вариант 1 соответствует принятой на стане технологии. Вариант 2 обеспечивает в соответствии с предложенным в [5] способом равенство температур по длине раскатов в очаге деформации в последнем пропуске. Рассчитан также вариант 3, обеспечивающий в соответствии с уравнением (4) компенсацию продольной разнотолщинности в последнем пропуске [7]. Расчеты упомянутых трех вариантов приведены в таблице, где P_i , M_{ni} , а также M_k соответствуют реальным условиям прокатки и оборудования стана 3600.

Приведенные расчеты подтверждают, что изменение режима прокатки с целью устранения «температурного клина» в последнем пропуске (вариант 2) не позволяет устранить δh_i .

Варианты режимов прокатки для ТЛС 3600

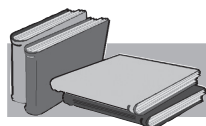
Вариант	Пропуск	h_i , мм	V , м/с	δt_i , °С	M_{ni} , тс/мм	P_i , тс	δh^I , мм	δh^{II} , мм	δh_{ti} , мм
1	1	45	3,4	+3	239	3102	+0,034	0	+0,034
	2	32	3,4	-7	357	3924	-0,087	+0,014	-0,073
	3	21	3,4	+17	588	4115	+0,176	-0,039	+0,137
	4	14	3,4	-28	1005	3818	-0,196	+0,090	-0,106
	5	10,2 9,8	3,4	+36	1414	565	+0,029	+0,077	-0,048
2	1	45	3,4	+3	239	3102	+0,034	0	+0,034
	2	32	3,4	-7	357	3924	-0,087	+0,014	-0,073
	3	21	1,34	+40	588	4115	+0,414	-0,039	+0,375
	4	14	5,8	-31	1005	2512	-0,143	+0,247	+0,103
	5	11,5 9,8	5,8	0	1274	2165	0	+0,073	+0,073
3	1	45	3,4	+3	239	3102	+0,034	0	+0,034
	2	32	3,4	-7	357	3924	-0,087	+0,014	-0,073
	3	21	3,4	+17	588	4115	+0,176	-0,039	+0,137
	4	14	3,4	-28	588 1005	3818	-0,196	+0,090	-0,106
	5	10,2 9,8	1,2	+96	1414	565	+0,077	+0,077	0

Таким образом, выбирая режим прокатки, удовлетворяющий условию (4), можно получить лист с постоянной по длине толщиной. Для исключения долговременных (на весь цикл прокатки) прогнозов параметров по априорным данным при расчете таких режимов целесообразно для партии одинаковых заготовок начинать прокатку по принятому на стане режиму и сначала компенсировать δh изменением режима только в последнем пропуске. При этом используются зафиксированные фактические параметры прокатки (раствор валков, усилие, температура металла), а прогноз P производится только на один пропуск вперед. При невозможности полной компенсации δh в последнем пропуске для следующей за-

готовки изменяется режим прокатки в двух последних пропусках и т. д. При этом усилие на два и более пропусков целесообразно прогнозировать по рекуррентной модели, которая использует фактические параметры прокатки как текущего, так и предшествующего циклов прокатки [7].

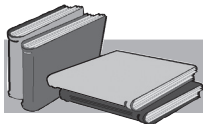
Выводы

Изложенное выше подтверждает эффективность предложенного метода управления продольной разнотолщиной листов при реверсивной прокатке с помощью математической модели (4).



ЛИТЕРАТУРА

1. Грабовский Г. Г., Иевлев Н. Г. Управление продольной разнотолщиной листов на реверсивных листовых станах горячей прокатки // Автоматизация виробничих процесів. – 2000. – № 2 (11). – С. 65–74.
2. Кузнецов Б. И., Опрышко И. А., Богаенко И. Н., Коновалов Ю. В., Сбитнев А. И., Рюмшин Н. А. Автоматизация управления листовыми прокатными станами. – К.: Техніка, 1992. – 231 с.
3. Иевлев Н. Г. Стратегии выбора дискретных управлений режимами прокатки на толстолистовых станах с учетом непрерывного регулирования геометрических размеров проката // Автоматизация листовых прокатных станов. – К.: Институт автоматизи, 1983. – С. 80–87.
4. Горелик В. С., Будакова А. А., Гринчук П. С. Освоение прокатки толстых листов со скоростной асимметрией на стане 3600 // Сталь. – 1984. – № 12. – С. 31–33.
5. А. с. СССР № 833333. Способ производства горячекатаных толстых листов / Ф. Е. Долженков, В. А. Арцыбашев, Г. Н. Шамаков; Бюл. № 20. – 1981.
6. Меерович И. М., Герцев А. И., Горелик В. С., Классен Э. Я. Повышение точности листового проката. – М.: Металлургия, 1969. – 262 с.
7. Иевлев Н. Г., Грабовский Г. Г. Математические модели и алгоритмы управления в АСУ ТП толстолистовых прокатных станов. – К.: Техніка, 2001. – 248 с.



REFERENCES

1. Grabovskii G. G., Ievlev N. G. (2000). Upravlenie prodol'noi raznotolshchinnost'iu listov na reversivnykh listovykh stanakh goryachei prokatki [Controlling the longitudinal shearing of sheets on reversible hot-rolled sheet-rolling mills]. Avtomatizatsiia vyrobnychikh protsesiv, no. 2 (11), pp. 65–74 [in Russian].
2. Kuznetsov B. I., Opryshko I. A., Bogaenko I. N., Konovalov Yu. V., Sbitnev A. I., Riumshin N. A. (1992). Avtomatizatsiia upravleniia listovymi prokatnymi stanami [Automation of control of sheet rolling mills]. Kyiv: Tekhnika, 231 p. [in Russian].
3. Ievlev N. G. (1983). Strategii vybora diskretnykh upravlenii rezhimami prokatki na tolstolistovykh stanakh s uchetom nepreryvnogo regulirovaniia geometricheskikh razmerov prokata [Strategies for selecting discrete controls by rolling modes on plate mills taking into account the continuous regulation of the geometric dimensions of rolled products]. Avtomatizatsiia listovykh prokatnykh stanov, Kyiv: Institut avtomatiki, pp. 80–87 [in Russian].
4. Gorelik V. S., Budakva A. A., Grinchuk P. S. (1984). Osvoenie prokatki tolstykh listov so skorostnoi asimmetriiei na stane 3600 [The development of rolling thick plates with high-speed asymmetry at the mill 3600]. Stal', no. 12, pp. 31-33 [in Russian].
5. Dolzhenkov F. E., Artsybashev V. A., Shmakov G. N. (1981). Sposob proizvodstva goriachekatannykh tolstykh listov [Method of production of hot-rolled thick plates]. A. s. no. 833333, Biul. no. 20 [in Russian].
6. Meerovich I. M., Gertsev A. I., Gorelik V. S., Klassen E. Ya. (1969). Povyshenie tochnosti listovogo prokata [Increase the accuracy of sheet metal]. Moscow: Metallurgiiia, 262 p. [in Russian].
7. Ievlev N. G., Grabovskii G. G. (2001). Matematicheskie modeli i algoritmy upravleniia v ASU TP tolstolistovykh prokatnykh stanov [Mathematical models and control algorithms in the automated process control system of thick-plate rolling mills]. Kyiv: Tekhnika, 248 p. [in Russian].

Анотація

Ієвлєв М. Г.

Управління поздовжньою різнотовщинністю листів на товстолистових станах

Розглянуто задачу управління поздовжньою різнотовщинністю листів на товстолистових станах, не оснащених гідравлічним натискним пристроєм. Задача вирішується шляхом вибору обтискань і швидкостей в декількох останніх пропусках таким чином, щоб поздовжня різнотовщинність, яка формується в останньому пропуску внаслідок непостійності температури по довжині прокату в осередку деформації, дорівнювала за абсолютною величиною і була протилежна за знаком поздовжній різнотовщинності, що виникає внаслідок непостійності температури по довжині прокату в попередніх пропусках, з урахуванням її вирівнювання кліттю в останньому пропуску. Таким способом можна отримати після закінчення прокатки лист з постійною по довжині товщиною.

Ключові слова

Поздовжня різнотовщинність, товстолистовий стан, обтискання, швидкості, температура, товщина листа.

Summary

Ievlev N.

Controlling the longitudinal thickness of sheets at sheared plate mills

The problem of controlling the longitudinal thickness of sheets at sheared plate mills not equipped with a hydraulic pressing device was considered. The problem is solved by selecting the compressions and speed in the last few passes in such way that the longitudinal difference in thickness that formed in the last pass due to the temperature variability along the length of the rolling in the deformation zone was equal in magnitude and opposite in sign to the longitudinal differentness resulting from the temperature variability along the mill length in previous passes, taking into account its adjustment by the stand in the last pass. In this way, it is possible to obtain a sheet with a constant thickness along the length after rolling.

Keywords

Longitudinal thickness, sheared plate mill, compression, speed, temperature, sheet thickness.

Поступила 14.03.18