

УДК 621.774.6

Завгородний А. В.
Стриченко С. М.
Левченко О. К.

**АВТОМАТИЗИРОВАННОЕ ПРОЕКТИРОВАНИЕ И РАЗРАБОТКА
РЕКОМЕНДАЦИЙ ПО СОВЕРШЕНСТВОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЙ ПРОЦЕССОВ
ОБРАБОТКИ ДАВЛЕНИЕМ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ПРИ НЕПРЕРЫВНОМ ЛИТЬЕ
СОРТОВЫХ ЗАГОТОВОК**

В условиях жесткой конкуренции перед отечественными производителями сортового металлопроката, широко используемого в машиностроении, в строительной индустрии и в целом ряде других отраслей, одной из основных является проблема расширения сортамента, повышения качества и снижения себестоимости данного вида готовой металлопродукции, в том числе и за счет совершенствования технологий и оборудования производства сортовой заготовки [1; 2].

Существующая программа развития металлургического комплекса Украины включает в себя существенное изменение структуры сталеплавильного передела, а именно снижение доли мартеновской стали и разливки металла в изложницы при одновременном повышении объемов заготовок, получаемых на машинах непрерывного литья заготовок (МНЛЗ) [2–4]. Ведь свыше 93 % всей отливаемой в мире стали приходится на МНЛЗ. При этом следует отметить, что этот промышленный метод получения стальных заготовок появился не так уж давно. Процесс непрерывной разливки, как показывает практика, не только соответствует всем основным требованиям прокатного передела, но и имеет ряд достоинств, среди которых основную роль играет высокая экономическая эффективность [5].

Для того чтобы выдержать жесткую конкуренцию среди крупнейших поставщиков сортовой заготовки и длинномерного металлопроката на мировой рынок, металлургическому комплексу Украины следует решить проблему качества металлопродукции, получаемой на МНЛЗ, в том числе и таких показателей, как прямолинейность формы в вертикальной и горизонтальной плоскостях [1, 2].

Целью данной работы является сформулировать и решить задачу по автоматизированному проектированию технологических режимов работы и настройки оборудования тянуще-правильных устройств машин непрерывного литья сортовых заготовок радиального или криволинейного типов.

Как показали существующие теоретические [6; 7] и экспериментальные [8] исследования, одним из способов повышения качества металлопродукции, получаемой на МНЛЗ, является выполнение среднего ролика тянуще-правильной машины (ТПМ) регулируемым по высоте. Таким образом, на участке ТПМ производят правку непрерывнолитой заготовки (рис. 1), тем самым повышая такие показатели как прямолинейность формы в вертикальной и горизонтальной плоскостях.

В качестве критериальных оценок при автоматизированном проектировании технологических режимов и настройки оборудования процесса правки изгибом непрерывнолитых сортовых заготовок были использованы условия соответствия с требуемой степенью точности расчетных и заданных значений остаточной кривизны χ_{ocm} .

Аналитически, следуя структуре метода целенаправленного перебора вариантов [9], данное решение формализовано следующим образом

$$W_{(k+1)} = W_k + A_w \text{sign}\{\chi_{ocmk} - [\chi_{ocm}]\}, \quad (1)$$

где k – порядковый номер очередного цикла и итерационной процедуры решения;
 W_k , $W_{(k+1)}$ – величина перекрытия третьего опорного ролика тянуще-правильной машины

в данном и в последующем цикле итерационной процедуры решения, при этом в качестве начального условия при $k = 1$ количественная оценка данного показателя была принята равной $W_k|_{k=1} = 0,0$; A_w – шаг изменения величины перекрытия третьего опорного ролика тянуще-правильной машины, принятый равным $A_w = 0,01$ мм; $sign\{\chi_{ocm} - [\chi_{ocm}]\}$ – функции знака, характеризующие векторную направленность процедуры итерационного решения, соответствующие аналитическим выражениям вида

$$sign\{\chi_{ocm} - [\chi_{ocm}]\} = \begin{cases} +1 \text{ при } \chi_{ocmk} > [\chi_{ocm}]; \\ 0 \text{ при } \chi_{ocmk} \leq [\chi_{ocm}]; \end{cases} \quad (2)$$

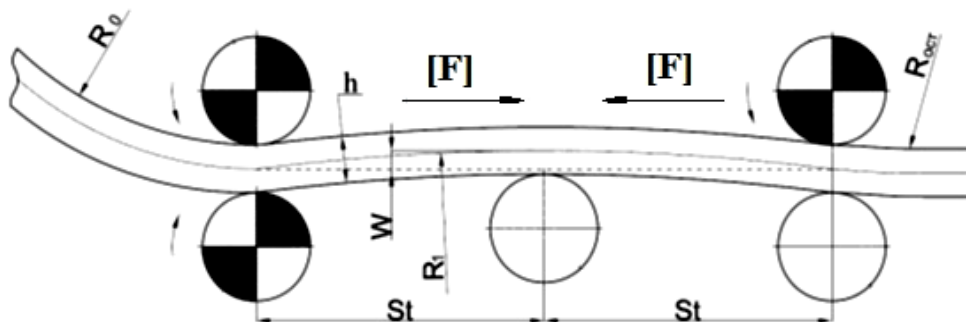


Рис. 1. Расчетные схемы применительно к численному математическому моделированию напряженно-деформированного состояния металла при правке непрерывнолитых заготовок на участке тянуще-правильных устройств МНЛЗ радиального или криволинейного типов

Помимо собственно самого оптимизационного решения автоматизированное проектирование настройки рабочих роликов тянуще-правильных устройств машин непрерывного литья заготовок включало в себя расчет степени деформации ϵ_p на границе раздела жидкой и кристаллизовавшейся фаз с последующим использованием данных результатов в качестве дополнительных ограничений. В частности, при невыполнении условия $\epsilon_p < [\epsilon_p]$ (рис. 2) программа имеет возможность корректировки исходных данных в сторону снижения скорости разливки V_n , обеспечивающего снижение геометрических характеристик жидкой фазы металла в осевой зоне поперечного сечения, а также за счет некоторого уменьшения величины перекрытия третьего опорного ролика W (см. рис. 1).

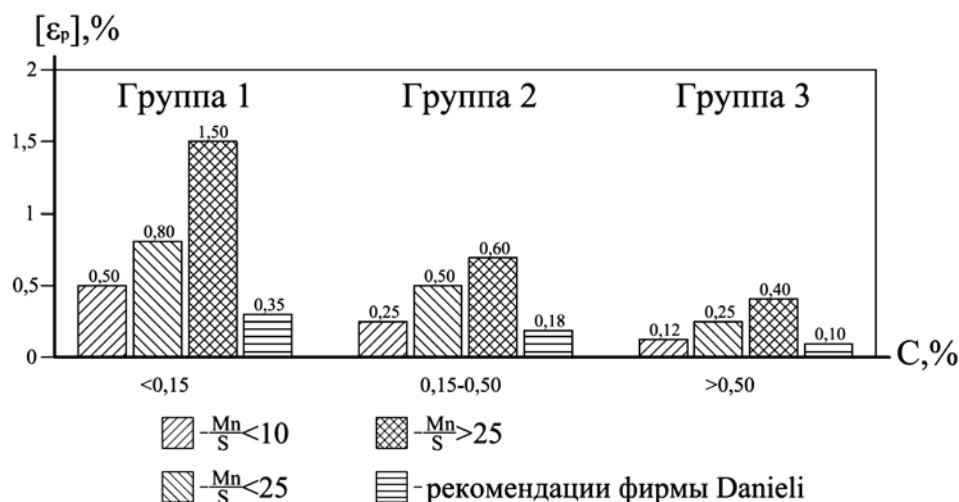


Рис. 2. Рекомендуемые значения предельной степени деформации $[\epsilon_p]$ металла на границах его жидкой и твердой фаз в зависимости от содержания углерода C, марганца Mn и серы S

Полученная с учетом изложенного выше укрупненная блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологических и конструктивных режимов правки непрерывнолитых сортовых заготовок изгибом представлена на рис. 3, при этом, в качестве внутреннего контура в рамках рассматриваемого автоматизированного проектирования был использован расчет остаточной кривизны $\chi_{ост}$ в зависимости от варьируемой величины перекрытия рабочих роликов W (см. рис. 1), а в качестве ограничений – условие не превышения расчетными ε_p предельно допустимых $[\varepsilon_p]$ значений деформаций растяжений в плоскости сопряжения жидкой и кристаллизовавшейся фаз, а также количественные оценки энергосиловых параметров процесса правки, вытекающие из условия обеспечения требуемой работоспособности оборудования тянуще-правильных устройств. В случае невыполнения хотя бы одного из ограничений, корректировку исходных данных осуществляли в диалоговом режиме (см. рис. 3).

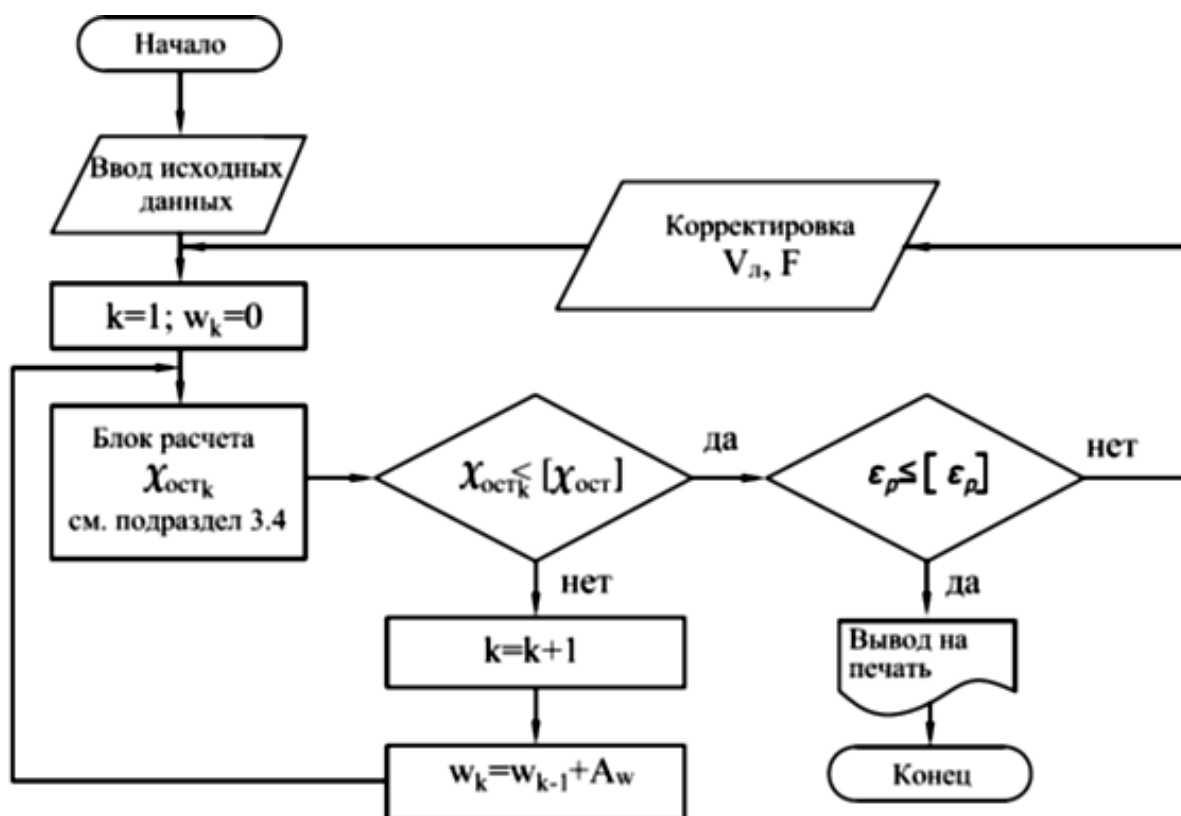


Рис. 3. Укрупненная блок-схема алгоритма автоматизированного проектирования технологических режимов работы и настройки оборудования тянуще-правильных устройств машин непрерывного литья сортовых заготовок радиального или криволинейного типов

В качестве примера результатов автоматизированного проектирования технологических режимов работы и настройки оборудования тянуще-правильных устройств машин непрерывного литья сортовых заготовок ПАО «Енакиевский металлургический завод» на рис. 4 представлены расчетные значения требуемой величины перекрытия W рабочих роликов, полученные применительно к различным типоразмерам $h \times b$ сортовых заготовок температурам их поверхности t_{ny} и скоростям литья V_l . Из анализа представленных результатов следует, что требуемая величина W изменяется в диапазоне 8–15 мм, при этом с учетом перешлифовки третьего опорного ролика по диаметру количественные оценки данного диапазона могут быть увеличены.

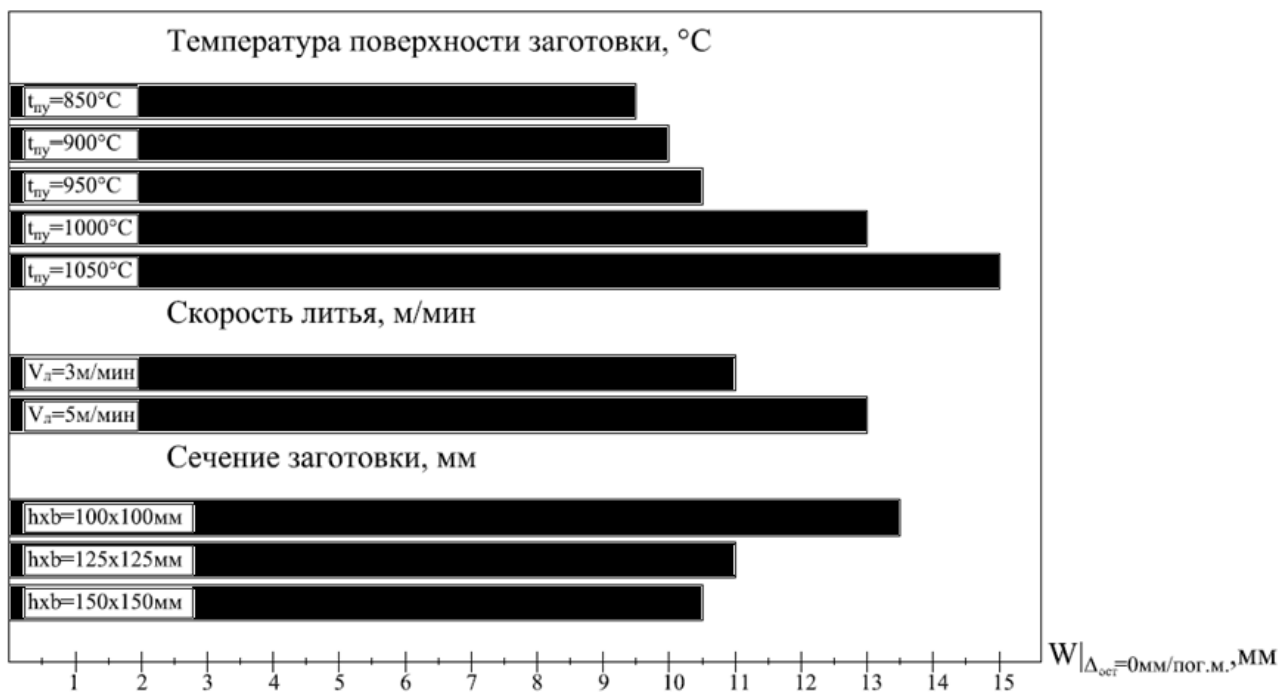


Рис. 4. Расчетные значения эффективной величины перекрытия опорного ролика W тянуще-правильного устройства (см. рис. 1) при различных температурах поверхности заготовки $t_{пy}$, скорости литья $V_{л}$, а также геометрических параметрах поперечного сечения непрерывнолитой сортовой заготовки $h \times b$

ВЫВОДЫ

Проанализировав результаты теоретических и экспериментальных исследований, а также решив задачу автоматизированного проектирования, можно сделать вывод о целесообразности применения правки непрерывнолитой сортовой заготовки на участке тянуще-правильной машины. Все это в совокупности позволяет решить проблему качества металлопродукции, получаемой на МНЛЗ.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Мазур В. Л. Анализ тенденций развития горно-металлургического комплекса Украины / В. Л. Мазур, А. К. Голубченко // *Сталь*. – 2007. – № 4. – С. 83–93.
2. Минаев А. А. Совмещенные металлургические процессы : монография / А. А. Минаев. – Донецк : Технопарк ДонГТУ УНИТЕХ, 2008. – 552 с.
3. Процессы непрерывной разливки : монография / А. Н. Смирнов [и др.]. – Донецк : ДонНТУ, 2002. – 536 с.
4. Бровман М. Я. Непрерывная разливка металлов / М. Я. Бровман. – М. : ЭКОМЕТ, 2007. – 484 с.
5. Смирнов А. Н. 50 лет непрерывной разливке стали в Украине / А. Н. Смирнов // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 7. – С. 3–8.
6. Сатонин А. В. Напряженно-деформированное состояние металла при правке непрерывнолитых заготовок изгибом / А. В. Сатонин, А. В. Завгородний, С. М. Стриченко // *Теоретичні і прикладні задачі обробки металів тиском та автотехнічних експертиз : зб. тез. докл. міжнародн. наук.-техніч. конф.* – Вінниця : ВНТУ, 2011. – 244 с.
7. Конечно-элементное моделирование напряженно-деформированного состояния металла при правке непрерывнолитых заготовок / В. А. Федоринов, А. В. Завгородний, С. М. Стриченко, Е. Г. Литвинова // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 2 (27). – С. 58–62.
8. Федоринов В. А. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния металла применительно к условиям реализации процессов правки непрерывнолитых заготовок / В. А. Федоринов, О. А. Гаврильченко, А. В. Завгородний // *Обработка материалов давлением : сборник научных трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 202–205.
9. Калиткин Н. Н. Численные методы / Н. Н. Калиткин. – М. : Наука, 1978. – 512 с.

REFERENCES

1. Mazur V. L. *Analiz tendencij razvitija gorno-metallurgicheskogo kompleksa Ukrainy* / V. L. Mazur, A. K. Golubchenko // *Stal'*. – 2007. – № 4. – S. 83–93.
2. Minaev A. A. *Sovmeshhennye metallurgicheskie processy : monografija* / A. A. Minaev. – Doneck : Tehnopark DonGTU UNITEH, 2008. – 552 s.
3. *Processy nepreryvnoj razlivki : monografija* / A. N. Smirnov [i dr.]. – Doneck : DonNTU, 2002. – 536 s.
4. Brovman M. Ja. *Nepreryvnaja razlivka metallov* / M. Ja. Brovman. – M. : JeKOMET, 2007. – 484 s.
5. Smirnov A. N. *50 let nepreryvnoj razlivke stali v Ukraine* / A. N. Smirnov // *Metall i lit'e Ukrainy*. – 2010. – № 7. – S. 3–8.
6. Satonin A. V. *Naprjazhenno-deformirovanoe sostojanija metalla pri pravke nepreryvnolityh zagotovok izgibom* / A. V. Satonin, A. V. Zavgorodnij, S. M. Strichenko // *Teoretichni i prikladni zadachi obrobki metaliv tiskom ta avtotehnichnih ekspertiz : zb. tez. dokl. mizhnarodn. nauk.-tehnic. konf.* – Vinnicja : VNTU, 2011. – 244 s.
7. *Konechno-jelementnoe modelirovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija metala pri pravke nepreryvnolityh zagotovok* / V. A. Fedorinov, A. V. Zavgorodnij, C. M. Strichenko, E. G. Litvinova // *Obrabotka materialov davlenim : sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2011. – № 2 (27). – S. 58–62.
8. *Fedorinov V. A. Jeksperimental'noe issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija metalla pri menitel'no k uslovijam realizacii processov pravki nepreryvnolityh zagotovok* / V. A. Fedorinov, O. A. Gavril'chenko, A. V. Zavgorodnij // *Obrabotka materialov davleniem : sbornik nauchnyh trudov.* – Kramatorsk : DGMA, 2012. – № 1 (30). – S. 202–205.
9. Kalitkin N. N. *Chislennye metody* / N. N. Kalitkin. – M. : Nauka, 1978. – 512 s.

Завгородний А. В. – канд. техн. наук, ст. преп. каф. АММиО ДГМА;
Стриченко С. М. – ведущий инженер ПАО ЕМЗ;
Левченко О. К. – студент ДГМА.

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;
ПАО ЕМЗ – ПАО «Енакиевский металлургический завод», г. Енакиево.

E-mail: amm@dgma.donetsk.ua

Статья поступила в редакцию 15.09.2015 г.