

Рівняння (5) дозволяє визначити час паузи, що витрачається на переміщення грохоту після його викиду з валків. Помітимо, що маса грохоту і його швидкість в рівнянні (5) входять в підінтегральний вираз, оскільки в загальному випадку вони можуть розглядатися як змінні. При $t = 0$ швидкість заготівлі при викиді дорівнює V_B .

Інтеграцією швидкості за часом можна знайти і шлях, пройдений зливком за час вибігання.

Запропонований алгоритм, заснований на використанні інформації про масу прокатуваного зливка, швидкості його вибігання при викиді з валків в пропуску, силі опору (силі тертя), дозволяє розрахунковим шляхом знайти оптимальну тривалість паузи, яка реалізується оптимальним вибором точки переходу при плющенні у фазу викиду металу.

Управління процесом плющення смуг з оптимізацією фази викиду рас-катів підвищило темп в циклі плющення в середньому на 5-7 %.

Рукопис подано до редакції 21.03.13

УДК 621.771.06

А.В. САТОНИН, д-р техн. наук, проф.,

Донбасская государственная машиностроительная академия,

М.Г. КОРЕНКО, канд. техн. наук, Ю.И. ВИТИТНЕВ, ст. препод.

ГВУЗ «Криворожский национальный университет»,

Н.В. СТАРОСТА, аспирант, Донбасская государственная машиностроительная академия

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ОСНОВНЫХ КОНСТРУКТИВНЫХ ПАРАМЕТРОВ ЧИСТОВЫХ РАБОЧИХ КЛЕТЕЙ И ТОЧНОСТИ ГЕОМЕТРИЧЕСКИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИ ПРОКАТКЕ ПОЛОСОВЫХ ПРОФИЛЕЙ

Уточнена методика и количественные оценки по экспериментальному определению модуля жесткости чистовых рабочих клеток сортопрокатных станов и влияние его на точность горячей прокатки полосовых профилей. На основе критериев Смирнова и Уилкоксона подтверждена достаточная степень достоверности численной математической модели точности результирующих геометрических характеристик при сопоставлении расчетных и экспериментальных данных.

Проблема и ее связь с научными и практическими заданиями. Уже долгое время в мире наблюдается тенденция увеличения доли листового и полосового проката в общем объеме прокатного производства. В настоящее время процессы горячей прокатки сортовых полосовых профилей в чистовых рабочих клетях сортовых прокатных станов, формирующих основные показатели качества готовой металлопродукции, изучены недостаточно полно с точки зрения численных методов расчета [1,2].

Анализ исследований и публикаций. Вопросы, связанные с совершенствованием оборудования процессов горячей прокатки сортовых полосовых профилей на мелкосортных станах были решены в работах [3–5] и в других. Результаты данных исследований способствовали более полному использованию технологических возможностей оборудования конкретных прокатных станов, вместе с тем, с точки зрения расширения сортамента и основных показателей качества готовой металлопродукции, возможности автоматизации проектно-конструкторских и проектно-технологических работ исчерпаны далеко не полностью. Отмеченное свидетельствует о целесообразности проведения дальнейших исследований и разработке конкретных практических рекомендаций, направленных на совершенствование действующего и создание нового оборудования процесса горячей прокатки сортовых полосовых профилей различного сортамента.

Цель работы. Целью настоящих исследований являлось развитие и уточнение методов расчета точности результирующих геометрических характеристик при сопоставлении расчетных и экспериментальных данных.

Задачами экспериментальных исследований являлось: уточнение методики и количественных оценок по экспериментальному определению модуля жесткости чистовых рабочих клеток

сортопрокатных станов; определение влияния модуля жесткости на точность геометрических характеристик горячекатаных полосовых профилей.

Изложение материала и результаты. Основным конструктивным параметром чистовых рабочих клетей для горячей прокатки полосовых профилей является количественная оценка их модуля жесткости $G_{кл}$, определяющая такой важнейший показатель качества готового металлопроката, как величина его продольной разнотолщинности [1, 6–7].

Экспериментальные исследования данного параметра проведено на примере рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА в ее двухвалковом варианте (рис. 1), являющемся близким к конструктивному исполнению чистовых рабочих клетей мелкосортных станов горячей прокатки.

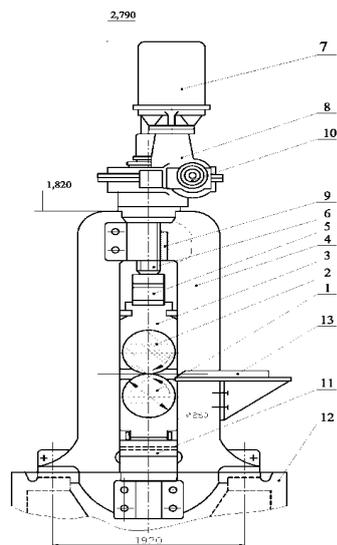


Рис. 1. Конструкция рабочей клетки промышленно-лабораторного прокатного стана 105/260×250 ДГМА при ее двухвалковом исполнении: 1 - нижний рабочий валок; 2 - верхний рабочий валок; 3 - подушки; 4 - узел литых станин закрытого типа; 5 - месдозы с кольцевыми упругими элементами и наклеенными на них тензометрическими датчиками; 6 - нажимные винты двухскоростного электромеханического нажимного механизма; 7 - электродвигатель постоянного тока П-41; 8 - двухступенчатый червячный редуктор; 9 - передача винт-гайка; 10 - сельсиндатчики и дисковые прерыватели электрических сигналов; 11 - проставки; 12 - узел плитовин; 13 - проводковые столы или обводящие ролика

Непосредственно экспериментальную оценку модуля жесткости рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 осуществляли путем многократной прокатки медных (М1) ленточных заготовок с различной величиной абсолютных обжатий, при этом последующий расчет величины указанного параметра $G_{кл}$ проводили на основе известных зависимостей, определяющих конечную толщину заготовки при двух смежных i и $i+1$ технологических режимах обжатия

$$h_{1i} = S_{0i} + P_i / G_{кл} ; \quad (1)$$

$$h_{1(i+1)} = S_{0(i+1)} + P_{(i+1)} / G_{кл} , \quad (2)$$

где S_{0i} , $S_{0(i+1)}$ - величины предварительных межвалковых зазоров; P_i , $P_{(i+1)}$ - экспериментально определяемые значения силы прокатки в каждом из соответствующих проходов.

Вычтя из левой и правой частей уравнения (1), соответственно, левую и правую части уравнения (2) и решив полученное выражение относительно модуля жесткости $G_{кл}$, эмпирическое значение последнего при данных технологических режимах можно определить как

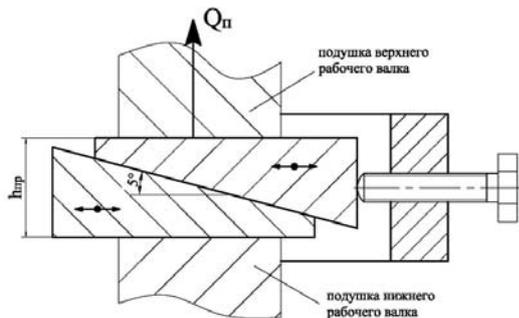
$$G_{кл} = [P_i - P_{(i+1)}] / \{ [h_{1i} - h_{1(i+1)}] - [S_{0i} - S_{0(i+1)}] \} , \quad (3)$$

где разность конечных толщин полосы $[h_{1i} - h_{1(i+1)}]$ определяли при помощи инструментального микрометра путем соответствующих измерений, а разность предварительных величин межвалковых зазоров $[S_{0i} - S_{0(i+1)}]$ определяли на основе регистрируемого изменения показаний сельсиндатчиков нажимного механизма прокатного стана и дисковых прерывателей электрического сигнала.

Анализ результатов проведенных экспериментальных исследований показал, что с увеличением силы прокатки величина модуля жесткости рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА возрастает. В частности, при силе прокатки $P=200$ кН количественная оценка модуля жесткости составила $G_{кл}=400$ кН/мм, а при силе $P=800$ кН $G_{кл}=640$ кН/мм, что обусловлено нелинейным характером развития упругих деформаций на контактах сопряжения таких узлов и деталей силовой линии рабочей клетки, как подшипники качения рабочих валков, цилиндрические опоры подушек нижнего рабочего валка, передачи винт-гайка нажимного механизма и так далее.

Помимо традиционного конструктивного исполнения аналогичные исследования были проведены и применительно к предварительно напряженному состоянию рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА. Непосредственно эффект предварительного напряжения в этом случае создавали при помощи клиновых пар (рис. 2), устанавливаемых между подушками верхнего и нижнего рабочих валков. Анализ полученных в этом случае результатов показал, что использование механизма предварительного напряжения, при прочих равных условиях, позволяет повысить модуль жесткости рабочей клетки на 30-40 (%), где большие значения указанного диапазона соответствуют меньшим значениям силы прокатки.

Рис. 2. Принципиальная конструктивная схема клинового механизма предварительного напряжения рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА



Следует отметить, что при известном значении модуля жесткости рабочей клетки $G_{кл}$ структура зависимости (3) позволяет определить и величину изменения предварительного межвалкового зазора $\Delta S_0 = S_{0max} - S_{0min}$, обусловленную радиальными биениями рабочих валков. В частности, определив максимальные P_{max} и минимальные P_{min} значения силы, действующие на рабочие валки при их предварительном поджатии и отсутствии прокатываемой заготовки искомая величина ΔS_0 может быть определена как

$$\Delta S_0 = (P_{max} - P_{min}) / G_{кл}, \quad (4)$$

где для рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА количественная оценка ΔS_0 , как показали результаты расшифровки соответствующих осциллограмм, была равна 0,035 мм.

Непосредственно экспериментальные исследования точности результирующих геометрических характеристик, получаемых свинцовых полос, были проведены путем прокатки партии в объеме 85-ти исходных образцов номинального типоразмера $h_1 \times B = 4 \times 70$ (мм) с варьируемой в диапазоне $h_0 = 3,6-4,4$ мм исходной толщиной. В соответствии с этими же распределениями и с учетом полученных, согласно (3) значений модуля жесткости рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА $G_{кл} = 84,9$ кН/мм, была осуществлена численная реализация математической модели точности результирующих геометрических характеристик с последующим статистическим сопоставлением результатов теоретических и экспериментальных исследований.

Полученные в этом случае результаты в виде эмпирических и расчетных гистограмм, а также функций распределения конечной толщины h_1 прокатанных свинцовых полос представлены на рис. 3, а сопоставительный анализ данных распределений осуществляли на основе критерия Смирнова [8], аналитическая форма записи которого имеет вид:

$$\Delta \leq [\Delta_\alpha] = \sqrt{0,5(1/n_{вз} + 1/n_{вр}) \ln(2/\alpha)} = 0,208, \quad (5)$$

где $\Delta = 0,111$ - максимальная, имеющая место, разность сопоставляемых эмпирических и расчетных функций распределений конечной толщины прокатанных свинцовых полос (см. рис. 3б); $[\Delta_\alpha] = 0,208$ - максимально допустимая при принятом уровне значимости $\alpha = 0,05$ разность сопоставляемых функций распределения; $n_{вз} = n_{вр} = 85$ - объемы сопоставляемых экспериментальных и расчетных выборок.

а

б

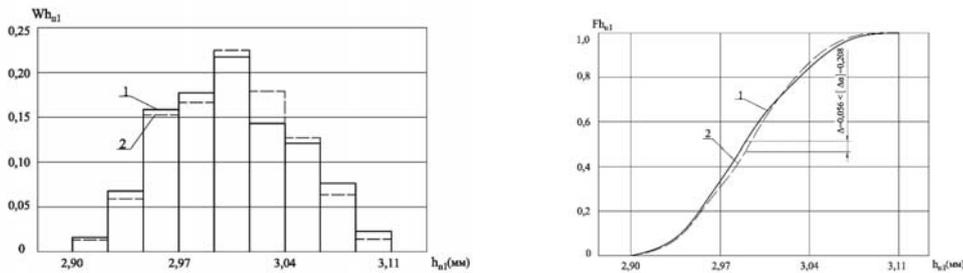


Рис. 3. Эмпирические (1) и расчётные (2) гистограммы a , а также функции b распределений конечной толщины полок h_1 при прокатке свинцовых полос 4×70 мм на промышленно-лабораторном стане 105/260×250 ДГМА

Проведенная в соответствии с (5) критериальная оценка (см. рис. 3б) наряду с результатами дополнительного численного анализа, выполненного на основе критерия Уилкоксона [8, 9], показали на принадлежность эмпирической и расчетной выборок конечной толщины h_1 одной генеральной совокупности, что подтверждает достаточную степень достоверности математической модели точности геометрических характеристик при горячей прокатке полосовых профилей в чистовых рабочих клетях сортопрокатных станов и о возможности ее дальнейшего использования применительно к решению задач технологического и конструкционного плана.

Аналогичные результаты были получены и при прокатке свинцовых полос в предварительно напряженной с использованием специального клинового механизма (см. рис. 2) рабочей клетки промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА. Качественно экспериментальные и расчетные распределения конечной толщины h_1 , полученные с учетом $G_{\text{пр.кл}}=115,5$ (кН/мм), были близки к нормальному закону [8,10], соответствовали рассмотренным ранее (см. рис. 5) и только количественно общий размах изменения ($h_{n1\text{max}}-h_{n1\text{min}}$) в случае создания предварительного напряжения был на 30-40 % меньше. Кроме того, с точки зрения результирующих геометрических характеристик следует указать на то, что абсолютная величина уширения (B_1-B_0) не превысила 1,5 мм, что в относительном измерении соответствует $100(B_1-B_0)/B_0=2\%$.

Выводы и направление дальнейших исследований. На примере промышленно-лабораторного стана 105/260×250 ДГМА уточнена методика и количественные оценки по экспериментальному определению модуля жесткости чистовых рабочих клеток сортопрокатных станов и влияние его на точность горячей прокатки полосовых профилей. Установлено, что создание предварительного напряжения по подушкам рабочих валков позволяет повысить модуль жесткости рабочей клетки на 30-40 %.

Установлено, что, с точки зрения повышения точности прокатки горячекатаных полосовых профилей, наиболее существенным влияние приведенного к единице ширины профиля значения модуля жесткости рабочих клеток имеет место в диапазоне 0-4 кН/мм².

Данные подходы могут быть использованы применительно к расчету модуля жесткости и показателей радиальных биений рабочих валков конкретного промышленного оборудования, а их количественные оценки являются необходимыми, в качестве исходных данных, при математическом моделировании основных показателей качества горячекатаных полосовых профилей.

На основе критериев Смирнова и Уилкоксона подтверждена достаточная степень достоверности численной математической модели точности результирующих геометрических характеристик при сопоставлении расчётных и экспериментальных данных, полученных в лабораторных условиях.

Список литературы

1. **Василев Я. Д.** Теорія позовжньої прокатки: підручник / **Я. Д. Василев, О. А. Мінаєв.** – Донецьк: УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
2. **Ефимов В. Н.** Сопротивление деформации в процессах прокатки / **В. Н. Ефимов, М. Я. Бровман.** – М.: Металлургия, 1996. – 253 с.
3. **Коновалов Ю. В.** Справочник прокатчика. Справочное издание в 2-х книгах. Книга 1. Производство горячекатаных листов и полос / **Ю.В.Коновалов.** – М.: Теплотехник, 2008.–640 с.
4. **Мазур В. Л.** Теория и технология тонколистовой прокатки (Численный анализ и технические приложения) / **В. Л. Мазур, А. В. Ноговицын.** – Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. – 500 с.
5. **Франценюк И. В.** Современное металлургическое производство / **И. В. Франценюк, Л. И. Франценюк.** – М.: Металлургия, 1995. – 528 с.
6. **Николаєв В. О.** Технологія виробництва сортового та листового прокату: підручник / **В. О. Николаєв, В. Л. Мазур.** – Запоріжжя: ЗДІА, 2000. – 257 с.

7. Грудев А. П. Теория прокатки / А. П. Грудев.; изд. 2-е перераб. и доп. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 280 с.
8. Бронштейн И. Н. Справочник по математике (для инженеров и учащихся вузов) / И. Н. Бронштейн, К. А. Семендяев. – М.: Наука, 1981. – 720 с.
9. Корн Г. Справочник по математике (Для научных работников и инженеров) / Г. Корн, Т. Корн. – М.: Наука, 1978. – 831 с.
10. Яблочкин А. Л. Общая теория статистики / А. Л. Яблочкин. – М.: Статистика, 1976. – 344 с.

Рукопись поступила в редакцию 27.03.13

УДК 622.7: 622.333

В.Г. САМОЙЛИК, канд. техн. наук, доц.,

ГВУЗ «Донецкий национальный технический университет»

МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ГРАВИТАЦИОННОГО ОБОГАЩЕНИЯ ТВЕРДОЙ ФАЗЫ ВОДОУГОЛЬНОГО ТОПЛИВА

Разработаны математические модели различных вариантов схем гравитационного обогащения углей крупностью 1-100 мм, которые позволяют получать максимальный выход твердой фазы водоугольного топлива при заданном уровне зольности.

Проблема и ее связь с научными и практическими задачами. В последнее время в связи с ростом цены на газ во многих странах с особой остротой встал вопрос о полной или частичной замене газообразного топлива на альтернативные источники тепла, в частности водоугольное топливо [1-4].

Основными параметрами, определяющими эффективность использования водоугольного топлива (ВУТ) в энергетике, является его теплотворная способность и эффективная вязкость. Как было установлено ранее [5], все эти параметры ВУТ неразрывно связаны с зольностью его твердой фазы. Снижение зольности повышает калорийность топлива. Кроме того, при снижении содержания минеральных примесей в твердой фазе ВУТ уменьшается его эффективная вязкость. Это даёт возможность увеличивать концентрацию твердого в топливе при заданных значениях его текучести, тем самым повышая теплотворную способность топлива.

Однако уменьшение зольности угля связано с ростом затрат на его обогащение. Поэтому определение эффективного уровня обеззоливания твердой фазы ВУТ предусматривает проведение комплексной оценки технико-экономических показателей процессов получения, транспортирования и сжигания водоугольного топлива с различным уровнем зольности при заданных значениях его реологических параметров. В качестве заданных параметров для ВУТ обычно принимается эффективная вязкость $\eta = 1$ Па·с при градиенте скорости сдвига 9с^{-1} и седиментационная устойчивость в течение 30 суток [6].

Для оценки технико-экономических показателей процесса получения твердой фазы ВУТ с различным уровнем зольности необходимо разработать различные варианты схем обогащения угля, определить зависимости между выходом и зольностью угля для каждого варианта. Поэтому моделирование процессов приготовления твердой фазы ВУТ является актуальной задачей с научной и практической точек зрения.

Анализ исследований и публикаций. Технологические решения при создании водоугольного топлива различными производителями в основном связаны с необходимостью получения твердой фазы с заданным максимальным значением крупности частиц и с определенным гранулометрическим составом [7]. При этом обоснованию принятых процессов обогащения, анализу их влияния на текучесть и агрегативную устойчивость ВУТ внимание не уделялось.

Выбор схемы обогащения угля, возможная глубина обеззоливания во многом определяются свойствами исходного угля и влиянием принятых методов обогащения на реологические параметры полученного водоугольного топлива. Высокая исходная зольность углей предопределяет многооперационность процесса получения низкозольной твердой фазы. Наличие в углях большого количества сростков минералов с органической частью затрудняет применение гравитационных методов обогащения, требует использования в качестве подготовительных операций дробления и измельчения для полного раскрытия сростков с последующим выделением органической массы флотационным методом.