

УДК 621.771.06

Сатонін О. В.
Коренко М. Г.
Коробко Т. Б.
Присяжний А. Г.

РОЗРОБКА ПРАКТИЧНИХ РЕКОМЕНДАЦІЙ З УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКЦІЙ ЧИСТОВИХ РОБОЧИХ КЛІТЕЙ ДРІБНОСОРТНИХ ПРОКАТНИХ СТАНІВ

В даний час спостерігається тенденція збільшення частки смугового прокату в загальному обсязі прокатного переділу. Для подальшого підвищення ефективності виробництва і якості даного виду готової металопродукції [1, 2], забезпечення прийняття вискоєфективних технічних рішень необхідно підвищення ступеня їх наукової обґрунтованості. Процеси гарячої прокатки сортових смугових профілів в чистових робочих клітках сортових прокатних станів вивчені досить повно в працях [3–5] та інших. Разом з тим, різноманіття використовуваних в цьому випадку можливих технологічних схем, поряд з підвищенням рівнів вимог до основних техніко-економічних показників, робить актуальним проведення подальших комплексних теоретичних і експериментальних досліджень.

Метою роботи є підвищення якості готової металопродукції та забезпечення економії матеріальних ресурсів при гарячій прокатці сортових смугових профілів на основі розвитку методів автоматизованого розрахунку і проектування відповідних технологій та обладнання. Для досягнення зазначеної мети в роботі необхідно уточнити вихідні передумови, а також математичні моделі основних показників якості при гарячій прокатці сортових смугових профілів [6–9].

Основним виробником гарячекатаних смугових профілів в Україні є безперервний дрібносортний прокатний стан 250 першого покоління, склад обладнання якого представлено на рис. 1, і включає в себе 15 горизонтальних і 8 вертикальних робочих кліток, що утворюють 3 безперервні групи: чорнову – 7 горизонтальних робочих кліток та 2 чистові групи по 8 у кожній з чергуванням вертикальних і горизонтальних робочих кліток.

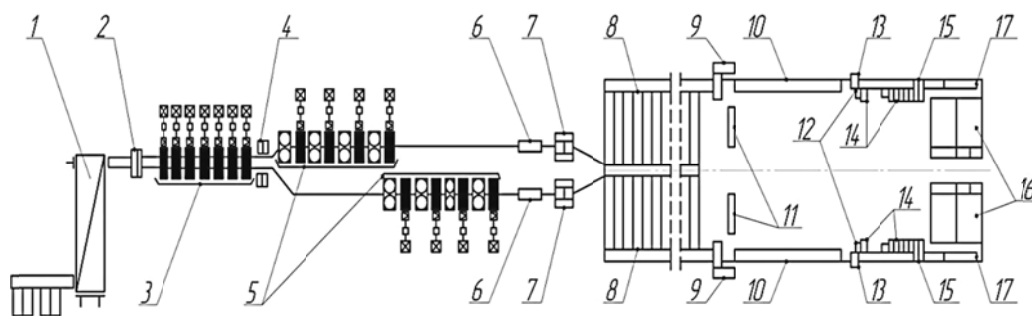


Рис. 1. Схема складу обладнання дрібносортного прокатного стану 250:

1 – методична нагрівальна піч; 2 – аварійні ножиці; 3 – горизонтальні робочі клітки чорнової групи; 4 – аварійні ножиці; 5 – вертикальні і горизонтальні робочі клітки чистових груп; 6 – водоохолоджувальний пристрій для термозміцнення металопродукату; 7 – летючі ножиці; 8 – рейковий холодильник; 9 – ножиці холодного різання; 10 – накопичувальний рольганг; 11 – правильна машина; 12 – збиральний рольганг; 13 – пересувний упор; 14 – ваги з кишнями; 15 – упор; 16 – лінія по упаковці прутків; 17 – упор

Конструкції двовалкових робочих кліток чорнової групи стану включають в себе: вузол робочих валків з подушками, розміщений у вікнах станин відкритого типу; натискний механізм у вигляді передачі гвинт – гайка з ручним приводом; механізм встановлення нижнього валка на рівень прокатки, а також механізм осьового налаштування робочих валків. Аналогічні

конструктивні виконання мають і горизонтальні робочі кліті чистової групи даного безперервного дрібносортового стану. Основним недоліком таких горизонтальних робочих клітей є низька жорсткість.

Основними конструктивними параметрами механічного обладнання станів для гарячої прокатки сортових смугових профілів є радіуси робочих валків R , показники їх радіального биття δR , а також узагальнене значення модуля жорсткості робочої кліті $G_{кл}$.

У самому загальному випадку збільшення радіусів робочих валків R призводить до збільшення і сили P , і моменту M прокатки. Поряд з підвищенням рівня сили прокатки, в цьому випадку, має місце і збільшення модуля жорсткості заготовки при її пластичній формозміні, що негативно позначається на точності результуючих геометричних характеристик з точки зору спадкової поздовжньої різновтовщинності, обумовленої впливом стохастичної зміни вихідної товщини і ширини, температури, механічних властивостей, коефіцієнта зовнішнього тертя, а також величини переднього і заднього натягнення. У той же час, вплив радіального биття робочих валків, який обумовлює стохастичну зміну величини попереднього міжвалкового зазору, зі збільшенням радіусів R знижується [8, 9].

Аналіз впливу модуля жорсткості робочої кліті $G_{кл}$ і радіальних биттів робочих валків δR чистових клітей сортових прокатних станів виконаний з використанням числової математичної моделі основних показників якості [8–10], які ілюстровані на рис. 2–4. Зокрема, на рис. 2, а, б представлено розподіл вихідної товщини h_{0j} і температури t_{0j} , які використовуються в якості вихідних даних при розгорнутому числовому математичному моделюванні процесу гарячої прокатки сортових профілів в подальших розрахунках, результати яких розглянуті на рис. 2 в, г, відповідно. На рис. 3 представлено узагальнений розподіл показників точності результуючих геометричних характеристик, а на рис. 4 – показники ступеня стабільності сили та сумарного моменту прокатки залежно від приведенного значення модуля жорсткості $G_{кл}/B$ і показника навіпілрозмаху радіального биття робочих валків δR .

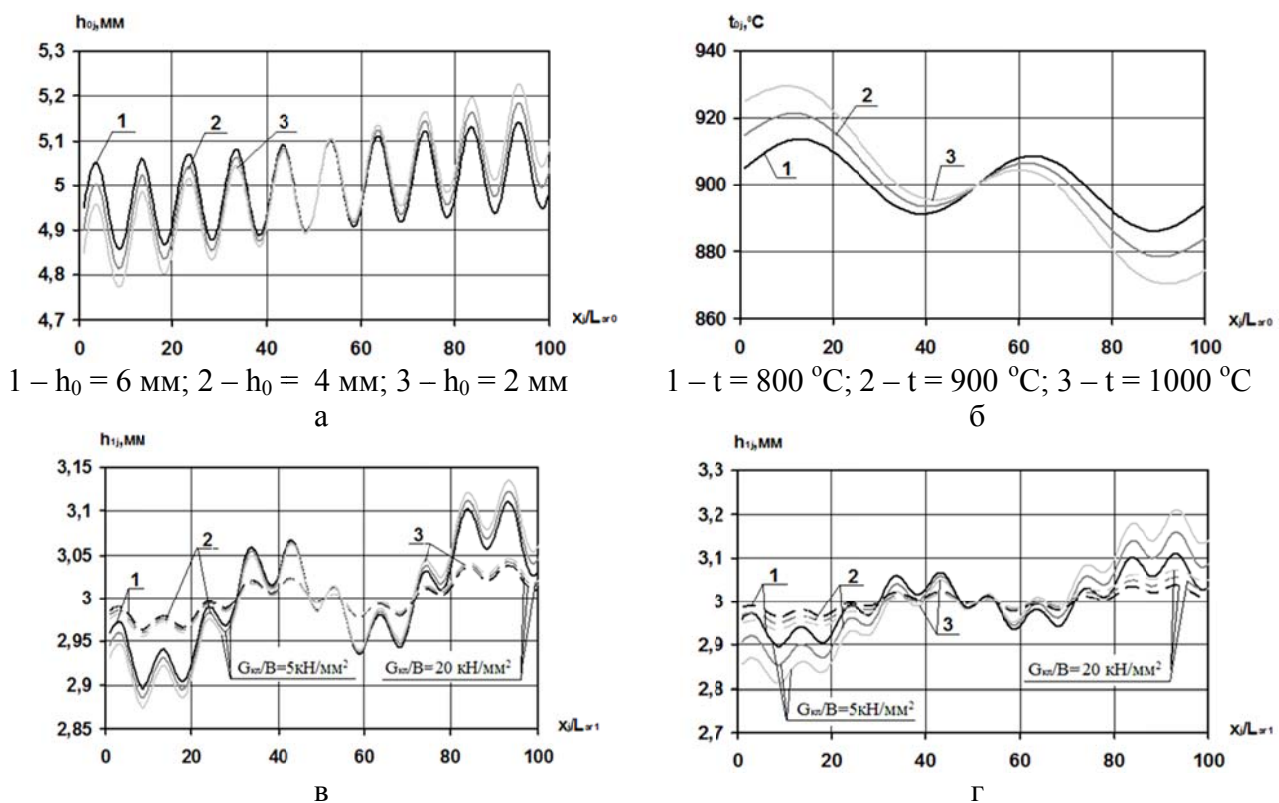


Рис. 2. Розрахунковий розподіл початкової товщини h_{0j} (а) і температури t_{0j} (б) по відносній довжині x_j/L_{zr0} заготовки, що прокатується, а також кінцевої товщини h_{1j} (в) залежно від розподілу вихідної товщини h_{0j} і кінцевої товщини h_{1j} (г) залежно від розподілу вихідної температури t_{0j} по довжині гарячекатаних смуг і приведеного значення модуля жорсткості чистової робочої кліті $G_{кл}/B$

Узагальнюючи результати аналізу поданих розрахункових розподілів, необхідно відзначити наступне:

- збільшення розмаху стохастичної зміни вихідної товщини h_{0j} (див. рис. 2, а) і температури t_{0j} (див. рис. 2, б) однозначно призводить до збільшення результуючої поздовжньої різнотовщинності, при цьому інтенсивність даного збільшення при більш високих значеннях модуля жорсткості робочої кліти $G_{кл}$ істотно знижується (див. рис. 2, в; г);

- збільшення розмаху зміни вихідної товщини h_{0j} і температури t_{0j} (див. рис. 2), а також збільшення модуля жорсткості робочої кліти $G_{кл}$ обумовлюють підвищення розмаху зміни енергосилових параметрів процесу гарячої прокатки сортових смугових профілів (див. рис. 4);

- збільшення показника радіального биття робочих валків δR однозначно призводить до зниження точності результуючих геометричних характеристик готового металопрокату (див. рис. 3) при одночасному підвищенні ступеня нестабільності енергосилових параметрів даного процесу (див. рис. 4), при цьому найбільш істотним вплив даного чинника є у разі високих значень модуля жорсткості $G_{кл}$;

- з точки зору підвищення точності результуючих геометричних характеристик гарячекатаних сортових смугових профілів найбільш істотним вплив приведенного до одиниці ширини B значення модуля жорсткості $G_{кл}$ є в діапазоні $G_{кл}/B = 0-4 \text{ кН/мм}^2$, подальше ж підвищення даного показника є малоефективним (див. рис. 3).

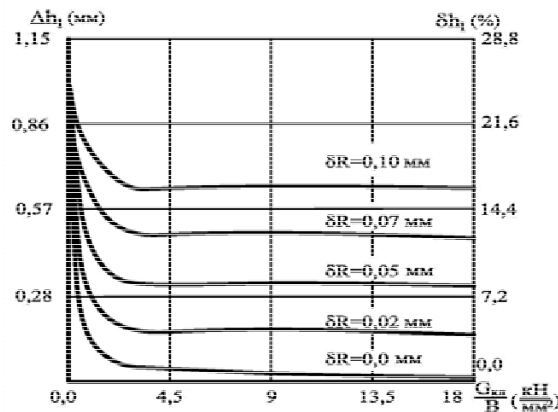


Рис. 3. Розрахунковий розподіл абсолютних і відносних показників розмахів зміни кінцевої товщини Δh_1 і δh_1 гарячекатаних сортових смугових профілів перетином 4×70 мм зі сталі 10 залежно від приведенного значення модуля жорсткості чистової робочої кліти $G_{кл}/B$ дрібносортного стану 250 при різних показниках радіального биття робочих валків δR

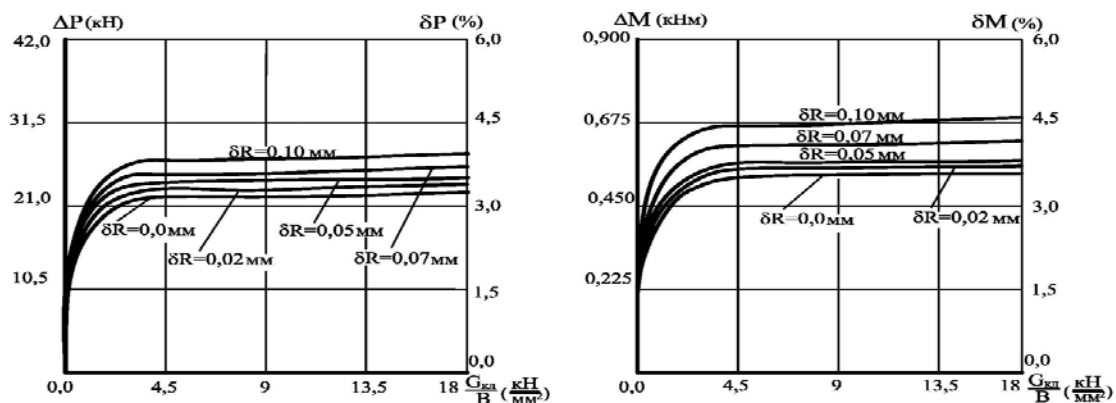


Рис. 4. Розрахунковий розподіл абсолютних і відносних показників розмахів зміни сили ΔP , δP (а) і моменту ΔM , δM (б) при гарячій прокатці сортових смугових профілів перетином 4×70 мм зі сталі 10 залежно від приведенного значення модуля жорсткості чистової робочої кліти $G_{кл}/B$ дрібносортного стану 250 при різних показниках радіального биття робочих валків δR

З урахуванням отриманих градієнтних оцінок впливу модуля жорсткості чистових робочих клітей $G_{кл}$ на основні показники точності результуючих геометричних характеристик гарячекатаних сортових смугових профілів, а також виходячи з того, що збільшення

$G_{кл}$ пов'язано зі збільшенням питомої металоємності механічного устаткування і підвищенням її цінових показників, сформульована і вирішена програмно задача з автоматизованого вибору ефективного значення даного параметра.

Програмно рішення даної задачі здійснено на основі методу цілеспрямованого перебору варіантів за наступною схемою:

$$(G_{кл} / B)_{(t+1)} = (G_{кл} / B)_t + A_{G_{кл}} \text{sign}(\Delta h_{1t} - [\Delta h_1]), \quad (1)$$

де t – порядковий номер чергового циклу ітераційної процедури вирішення;

$A_{G_{кл}}$ – крок збільшення наведеного значення модуля жорсткості робочої кліти, прийнятий рівним $0,1$ (кН / мм²);

Δh_{1t} – розрахункові в рамках даного t -ого кроку ітераційної процедури вирішення значення абсолютної поздовжньої різнотовщинності;

$[\Delta h_1]$ – необхідне відповідними нормативними документами максимально можливе значення абсолютного розмаху кінцевої товщини;

$\text{sign}(\Delta h_{1t} - [\Delta h_1])$ – функція знака, яка відповідає умовам:

$$\text{sign}(\Delta h_{1t} - [\Delta h_1]) = \begin{cases} +1 & \text{при } \Delta h_{1t} > [\Delta h_1]; \\ 0 & \text{при } \Delta h_{1t} \approx [\Delta h_1]; \\ -1 & \text{при } \Delta h_{1t} < [\Delta h_1]. \end{cases}$$

Слід зазначити, що рішення (1) є прийнятним при створенні нового механічного обладнання чистових робочих клітей або за наявності можливості зниження ширини сортових смугових профілів, що піддаються гарячій прокатці. В іншому випадку, виконання умови $\Delta h_{1t} \leq [\Delta h_1]$ може бути забезпечено за рахунок відповідної зміни показника радіального биття робочих валків δR , а також за рахунок зменшення розмаху стохастичної зміни вихідних технологічних параметрів процесу, в якості яких слід розглядати вихідну подовжню різнотовщинність Δh_0 , їх різноширинність, а також збільшення температур Δt і механічних властивостей $\Delta \sigma_t$ по довжині розкату. З урахуванням умовного позначення даних параметрів через ΔX аналітична форма запису, який використовується в цьому випадку, додаткового циклу рішення узагальнено може бути представлена як:

$$\Delta X_{(t+1)} = \Delta X_t - A_x \text{sign}(\Delta h_{1t} - [\Delta h_1]), \quad (2)$$

де A_x – крок прирощення показника биття робочих валків або розмаху зміни відповідного вихідного технологічного параметра.

З урахуванням аналітичних форм запису поставлених завдань і їх подальших рішень, заснованих на використанні загальної концепції методу граничних оцінок, величина результуючої поздовжньої різнотовщинності δh_1 гарячекатаних сортових смугових профілів, отриманих при створенні попередньої напруги по подушках робочих валків [11], може бути визначена як

$$\delta h_1 = \frac{\delta h_0 G_{пл} (G_{vy} G_{ст} + G_{пн} G_{кл}) + \delta S_0 G_{кл} G_{vy} (G_{ст} + G_{пн})}{(G_{пл} + G_{кл}) G_{vy} G_{ст} + (G_{пл} + G_{vy}) G_{пн} G_{кл}}, \quad (3)$$

де δh_0 , δS_0 – кількісна оцінка поздовжньої різнотовщинності вихідної заготовки і розмах зміни величини попереднього міжвалкового зазору, обумовленого радіальним биттям робочих валків;

$G_{пл}$ – модуль жорсткості сортових смугових профілів при пластичному формозмінненні, який визначається як відношення приросту сили прокатки до величини приросту абсолютного обтиску;

G_{vy} – модуль жорсткості валкового вузла, що характеризується величиною пружних деформацій по відношенню до вісей натискних механізмів при відповідному значенні сили прокатки;

$G_{ст}$ – узагальнене значення модуля жорсткості подушок робочих валків, натискного механізму і вузла станин;

$G_{пн}$ – модуль жорсткості механізму попереднього напруження робочої кліті.

Тому, зі збільшенням модуля жорсткості смуг при їх пластичному формозмінненні $G_{пн}$ спадкова складова зростає, а вносима – знижується. Аналогічний ефект має місце при зменшенні модуля жорсткості $G_{кл}$ чистових робочих клітей. Використання попереднього напруження робочих валків по їх подушкам призводить до зниження спадкової і збільшення вносимої складових, при цьому інтенсивність зазначених змін зі збільшенням модуля жорсткості механізму попереднього напруження $G_{пн}$ зростає.

Доцільним з погляду підвищення модуля жорсткості $G_{кл}$ і, як наслідок, підвищення точності результуючих геометричних характеристик гарячекатаних сортових смугових профілів є створення попередньо напружених конструкцій чистових робочих клітей, що забезпечують досягнення необхідного ефекту без істотного збільшення їх питомої металоємності [11, 12].

Створення попереднього напруження по подушках валків стає можливим за рахунок використання гідروприводів, клинових пар, передач гвинт-гайка та інших деталей. Основною перевагою такої конструкції є відсутність додаткових навантажень безпосередньо на робочі валки і їх підшипникові опори.

ВИСНОВКИ

Для підвищення точності прокатки гарячекатаних сортових смугових профілів найбільш істотним є вплив приведенного до одиниці ширини значення модуля жорсткості робочих клітей, яке має місце в діапазоні від 0 до 4 кН/мм².

Обґрунтована доцільність застосування попередньо напружених чистових робочих клітей, що дозволяє цілеспрямовано змінювати їх модуль жорсткості в широкому діапазоні (30–50 %).

Виконані стосовно до гарячої прокатки сортових смугових профілів в умовах дрібно-сортного стану 250 розрахунки показали зниження поздовжньої різнотовщинності готового металопрокату на 15–25 %, що підтверджує ефективність запропонованих технічних рішень.

Для діючих в Україні дрібно-сортних станів першого покоління, до яких і відноситься дрібно-сортний стан 250, необхідна заміна малопотужних механічних натискних пристроїв на комбіновані гідромеханічні натискні пристрої чистових робочих клітей, що дозволить розвантажити низькошвидкісні і малопотужні натискні механізми, а також впровадити в умовах дрібно-сортного стану 250 систему автоматизації САРТ, забезпечивши можливість регулювання кінцевої товщини безпосередньо в процесі прокатки в автоматичному режимі.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. ГОСТ 7419-90. Прокат стальной горячекатаный для рессор. Сортамент. – Введ. 01.01.1992.-М. : Изд-во стандартов, 1991. – 18 с.
2. ГОСТ 103-2006. Прокат сортовой стальной горячекатаный полосовой. Сортамент. – Введ. 01.07.2009. – М. : Стандартинформ, 2009. – 12 с.
3. Николаев В. А. Параметры деформации металла в гладких валках и простых калибрах / В. А. Николаев, Н. Ш. Босхамджиев, В. П. Полухин. – К : Освіта України, 2010. – 235 с.
4. Сталь на рубеже столетий. Колл. авторов ; под научной редакцией Ю. С. Карabasова. – М. : МИСИС, 2001. – 664 с.
5. Василев Я. Д. Теория поздовжньої прокатки : підручник / Я. Д. Василев, О. А. Мінаєв, – Донецьк : УНІТЕХ, 2009. – 488 с.
6. Повышение точности листового проката / И. М. Меерович, А. Н. Герцев, В. С. Горелик, Э. Я. Классен. – М.: Металлургия, 1969. – 264 с.
7. Рокотян С. Ё. Теория прокатки и качество металла / С. Ё. Рокотян. – М.: Металлургия, 1981. – 223 с.
8. Федоринов В. А. Математическое моделирование напряжений, деформаций и основных показателей качества при прокатке относительно широких листов и полос: монография / В. А. Федоринов, А. В. Сатонин, Э. П. Грибков. – Краматорск : ДГМА, 2010. – 243 с.

9. Математическое моделирование напряжений, деформаций и точности геометрических характеристик при горячей прокатке полос и лент в предварительно напряжённых чистовых рабочих клетях / А. В. Сатонин, Н. Н. Бережной, М. Г. Коренко, Н. В. Староста // *Обработка материалов давлением: сборник научных трудов – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 4 (33). – С. 65–71.*

10. Математическое моделирование точности при горячей прокатке сортовых профилей / А. В. Сатонин, Ю. И. Вититнёв, М. Г. Коренко, Н. В. Староста // *Вісник Національного технічного університету : зб. наук. пр. – серія : Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків : ХПІ, 2013. – № 47(953). – С. 172–177.*

11. Мериин И. М. Точность прокатки в предварительно напряжённых клетях / И. М. Мериин. – Ижевск: Удмуртия, 1970. – 120 с.

12. Исследование точности прокатки в объёмно-напряжённых клетях стана 250 / А. М. Литвак, В. П. Полушкин, В. М. Беленко [и др.] // *Сортопрокатное производство: сб. научн. тр. – Харьков: УкрНИИМет, 1975. – Вып. 3. – С. 136–141.*

REFERENCES

1. GOST 7419-90. Prokat stal'noj gorjachekatanyj dlja ressor. Sortament. – Vved. 01.01.1992.-M. : Izd-vo standartov, 1991. – 18 s.

2. GOST 103-2006. Prokat sortovoj stal'noj gorjachekatanyj polosovoj. Sortament. – Vved. 01.07.2009. – M. : Standartinform, 2009. – 12 s.

3. Nikolaev V. A. Parametry deformacii metalla v gladkih valkah i prostyh kalibrah / V. A. Nikolaev, N. Sh. Boshamdzhiev, V. P. Poluhin. – K : Osvita Ukraïni, 2010. – 235 s.

4. Stal' na rubezhe stoletij. Koll. avtorov ; pod nauchnoj redakciej Ju. S. Karabasova. – M. : MISIS, 2001. – 664 s.

5. Vasilev Ja. D. Teorija pozdovzhn'oi prokatki : pidruchnik / Ja. D. Vasilev, O. A. Minaev, – Donec'k : UNITEH, 2009. – 488 s.

6. Povyshenie tochnosti listovogo prokata / I. M. Meerovich, A. N. Gercev, V. S. Gorelik, Je. Ja. Klassen. – M. : Metallurgija, 1969. – 264 s.

7. Rokotjan S. Jo. Teorija prokatki i kachestvo metalla / S. Jo. Rokotjan. – M.: Metallurgija, 1981. – 223 s.

8. Fedorinov V. A. Matematicheskoe modelirovanie naprjazhenij, deformacij i osnovnyh pokazatelej kachestva pri prokatke odnositel'no shirokikh listov i polos: monografija / V. A. Fedorinov, A. V. Satonin, Je. P. Gribkov. – Kramatorsk : DGMA, 2010. – 243 s.

9. Matematicheskoe modelirovanie naprjazhenij, deformacij i tochnosti geometricheskikh harakteristik pri gorjachej prokatke polos i lent v predvaritel'no naprjazhjonnyh chistovyh rabochih kletjah / A. V. Satonin, N. N. Berezhnoj, M. G. Korenko, N. V. Starosta // *Obrabotka materialov davleniem: sbornik nauchnyh trudov – Kramatorsk : DGMA, 2012. – № 4 (33). – С. 65–71.*

10. Matematicheskoe modelirovanie tochnosti pri gorjachej prokatke sortovyh profilej / A. V. Satonin, Ju. I. Vititnjov, M. G. Korenko, N. V. Starosta // *Visnik Nacional'nogo tehničnogo universitetu : zb. nauk. pr. – serija : Novi rishennja v suchasni tehnologijah. – Harkiv : HPI, 2013. – № 47(953). – S. 172–177.*

11. Meriin I. M. Tochnost' prokatki v predvaritel'no naprjazhjonnyh kletjah / I. M. Meriin. – Izhevsk: Udmurtija, 1970. – 120 s.

12. Issledovanie tochnosti prokatki v ob'jomno-naprjazhjonnyh kletjah stana 250 / A. M. Litvak, V. P. Polushkin, V. M. Belenko [i dr.] // *Sortoprokatnoe proizvodstvo: sb. nauchn. tr. – Har'kov: UkrNIIMet, 1975. – Вып. 3. – S. 136–141.*

Сатонин А. В. – д-р техн. наук, проф. ДГМА

Коренко М. Г. – канд. техн. наук, доц. КМИ ГВУЗ «КНУ»

Коробко Т. Б. – канд. техн. наук, доц. ДонГТУ

Присяжный А. Г. – ст. преп. ГВУЗ «ПГТУ»

ДГМА – Донбасская государственная машиностроительная академия, г. Краматорск;
КМИ ГВУЗ «КНУ» – Криворожский металлургический институт Государственного высшего учебного заведения «Криворожский национальный университет», г. Кривой Рог;
ДонГТУ – Донбасский государственный технический университет, г. Алчевск;
ГВУЗ «ПГТУ» – Государственного высшего учебного заведения «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь.

E-mail: marinak2010@bk.ru