

где  $(0,5-2,6)V_i$  - показатели отражения витринита, соответствующие различным маркам углей.

Все данные для расчета оптимальной степени дробления шихт по формулам 1 и 2 берутся из рефлектограмм петрографического испытания этих шихт.

Расчеты, выполненные по предложенным формулам, дают результаты: для 5-8 батарей ПАО "Алчевсккокс"  $k = 79,4 \%$  (факт  $79,3 \%$ ); для КХП для 1-4 батарей  $k = 77,7 \%$  (факт  $86,6 \%$ ) и для 5-6 батарей  $k = 76,3 \%$  (факт  $87,0 \%$ ); для КХП для 1-4 батарей  $k = 77,6 \%$  (факт  $87,9 \%$ ) и для 5-6 батарей  $k = 77,1 \%$  (факт  $86,3 \%$ ).

Таким образом, из приведенных данных видно, что на 5-8 батареях ОАО "Алчевсккокс" степень дробления шихты выбрана правильно и является оптимальной. На КХП степень дробления шихты излишне завышена, что отражается на увеличенном содержании "отощающего" класса 0-0,5 мм и сумме отощающих компонентов в петрографическом составе шихты, а также низкой насыпной массе шихты, недостаточной спекаемости и коксуемости шихты и, как следствие, все это отрицательно сказывается на качестве получаемого кокса.

### Список литературы

1. Аронов С.Г., Светлорусова Л.П. Влияние степени измельчения углей и шихты при коксовании // // Кокс и химия. – 1958. – №1. – С. 5-11.
2. Лялюк В.П. Связь петрографического состава угольной шихты со степенью ее дробления / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др. // Бюллетень Черная металлургия ОАО "Черметинформация". – 2010. – №10. – С. 27-33.
3. Лялюк В.П. Изменение петрографического состава угольной шихты при ее дроблении / В.П. Лялюк, В.А. Шеремет, А.В. Кекух и др. // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2011. – №2. – С. 13-17.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.12

УДК 621.771.06

А.Г. ПРИСЯЖНИЙ, ст. викладач ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет»,  
М. Г. КОРЕНКО, асистент, Н. В. СТАРОСТА, асистент  
ДВНЗ "Криворізький національний університет"

## МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАЛЕЖНОСТІ ТЕРТЯ ВІД ОСНОВНИХ ФАКТОРІВ

Запропоновано і реалізовано стосовно конкретних умов холодного тонколистового прокатування алгоритм математичного моделювання зміни показників контактної тертя залежно від основних чинників. Проаналізовано вплив на основні показники контактної тертя сумарної інтенсивності деформації і концентрації водної емульсії при холодному прокатуванні тонких штаб.

**Проблема та її зв'язок з науковими та практичними завданнями.** Контактне тертя істотно впливає на процес холодної тонколистової прокатки визначаючи його деформаційні (або геометричні), кінематичні й енергосилові параметри [1-3]. Ці параметри дуже тісно пов'язані з показниками ефективності процесу прокатки в цілому такими як якість прокату, витрати енергії на деформацію металу тощо. Тому важливою теоретичною й технологічною задачею є детальне дослідження залежності контактної тертя від основних факторів на основі математичного моделювання з використанням сучасної теорії холодної тонколистової прокатки [1] й новітніх інформаційних технологій. Результатом математичного моделювання повинне бути визначення таких умов деформації металу, які забезпечуватимуть контактне тертя на оптимальному рівні, при якому техніко-економічні показники прокатки будуть максимально можливо високими.

**Аналіз досліджень та публікацій.** Питанням, пов'язаним з контактним тертям при обробці металів тиском, присвячено досить багато наукових праць, наприклад [4-6], але в них не розглянутий процес високошвидкісної холодної прокатки тонких штаб, який повністю відповідає світовій тенденції розвитку виробництва прокату [1,3].

**Постановка завдання.** Метою даної наукової роботи є дослідження залежності деяких показників контактної тертя від основних факторів високошвидкісної тонколистової холодної прокатки, а також надання практичних рекомендацій щодо підвищення ефективності проектування оптимальних режимів деформації при холодній прокатці сталі.

**Викладення матеріалу та результати.** До основних факторів, від яких залежить контактне тертя, відносяться насамперед інтенсивність деформації, окружна швидкість валків та вид

технологічного мастила. Інші фактори, що впливають на контактне тертя, в тій чи іншій мірі пов'язані з вже зазначеними факторами, а тому є другорядними.

Контактне тертя при холодній прокатці тонких штаб можна оцінювати за дуже багатьма показниками, але найбільш важливими є наступні показники: випередження  $S_{on}$ ; коефіцієнт випередження  $k_{on}$ ; показник умов контактного тертя  $\delta_p$  чи  $\delta$ ; показник протяжності зони випередження осередку деформації  $\gamma/\alpha$ ; коефіцієнт контактного тертя  $f_p$  чи  $f$ ; середній тиск металу на валки  $p$ . Треба відмітити, що індекс в позначеннях коефіцієнта контактного тертя та показника умов контактного тертя означає, що за основу при їх визначенні взятий закон Г.Амонтона.

Вище зазначені показники контактного тертя при холодній прокатці тонких штаб, окрім першого показника, розраховуються на основі отриманого експериментальним шляхом випередження за наступним алгоритмом:

визначаються деформаційні параметри: коефіцієнт обтискання, абсолютне обтискання, інтенсивність деформації за пропуск, сумарна інтенсивність деформації, відносне обтискання за пропуск, сумарне відносне обтискання, а також середня арифметична товщина штаби в осередку деформації відповідно за формулами [1,3,7-9]

$$\lambda = \frac{H_i}{h_i}, \quad (1)$$

$$\Delta h = H_i - h_i, \quad (2)$$

$$e_i = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{H_i}{h_i}, \quad (3)$$

$$e_{ic} = \frac{2}{\sqrt{3}} \ln \frac{H_0}{h_i}, \quad (4)$$

$$\varepsilon = \frac{H_i - h_i}{H_i} 100, \quad (5)$$

$$\varepsilon_c = \frac{H_0 - h_i}{H_0} 100, \quad (6)$$

$$h_{cp} = \frac{H_i + h_i}{2}, \quad (7)$$

де  $H_i$  - товщина штаби до пропуску, мм;  $h_i$  - товщина штаби після пропуску, мм;  $H_0$  - товщина підкату, мм.

визначаються показник протяжності зони випередження осередку деформації (показник протяжності зон осередку деформації), а також швидкість прокатки відповідно за формулами [1,3,7-9]

$$\frac{\gamma}{\alpha} = \sqrt{\frac{S_{on}}{\lambda - 1}}, \quad (8)$$

$$V = V_B (1 + S_{on}), \quad (9)$$

де  $S_{on}$  - випередження;  $v_B$  - лінійна швидкість валків, м/с.

визначаються коефіцієнт випередження (коефіцієнт обтиснення в зоні випередження осередку деформації), а також показники умов контактного тертя на основі закону тертя Г. Амонтона та умови тертя Е.Зібеля відповідно за формулами [1,3]

$$k_{on} = 2 - \sqrt{1 - \frac{1}{\delta_p} [(\delta_p - 1) \ln \lambda]}, \quad (10)$$

$$\delta_p = \frac{1}{1 - 2\sqrt{\frac{S_{on}}{\lambda - 1}}}, \quad (11)$$

$$\delta = \delta_p [2,3 - 0,19(\lg V + 1) \lg e_{ic}]. \quad (12)$$

визначається опір штаби деформації до прокатки за формулою [1,3]

$$2k_0 = \frac{2}{\sqrt{3}} \sigma_{T0}, \quad (13)$$

де  $\sigma_{T0}$  – границя текучості до пропуску, МПа.

визначається середній опір штаби деформації при прокатці за формулою [1,3]

$$2k_{cp} = 2k_0 + \left(\frac{2}{\sqrt{3}}\right)^{n+1} \frac{\Pi}{n+1} \frac{\left(\ln \frac{H_0}{h_i}\right)^{n+1} - \left(\ln \frac{H_0}{H_i}\right)^{n+1}}{\ln \frac{H_i}{h_i}}, \quad (14)$$

де  $\Pi$  - модуль зміцнення, МПа;  $n$  - показник інтенсивності зміцнення.

визначаються середній тиск металу на валки, показник геометричної форми осередку деформації по товщині, а також коефіцієнт тертя на основі умови тертя Е.Зібеля відповідно за формулами [1,3,7-9]

$$p = \frac{2k_{cp}}{\lambda - 1} \left\{ \delta(\lambda + 1) - k_{on} \left[ \ln \lambda^{\delta-1} + 2\delta(1 - \ln k_{on}) \right] \right\}, \quad (15)$$

$$\Pi_{\phi} = \frac{l_{dc}}{h_{cp}}, \quad (16)$$

$$f = \frac{\alpha_c \delta}{2}. \quad (17)$$

де  $l_{dc}$  – довжина дуги контакту металу з валками з урахуванням пружної деформації останніх;

$\alpha_c$  – кут контакту металу з валками з урахуванням пружної деформації останніх.

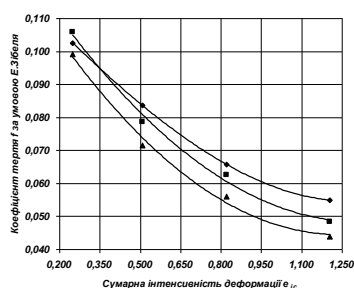
Кут та дуга контакту штаби с валками з урахуванням пружної деформації останніх визначаються за методикою, представленою в роботах [1,3]. Сила, момент, робота, а також потужність прокатки, значення яких свідчать про енергетичну ефективність процесу холодної прокатки тонких штаб, можуть бути визначені за методиками, що викладені в роботах [7-9].

Результати математичного моделювання показників контактного тертя за наведеним вище алгоритмом представлені на рис. 1-6. В якості вихідних даних для розрахунків основних показників контактного тертя взяті експериментальні дані холодної прокатки штаб розміром  $H \times B = 3,09 \times 60,0$  мм із конструкційної сталі марки 08 кп на лабораторному стані 300 зі швидкістю 18 м/с [1,3].

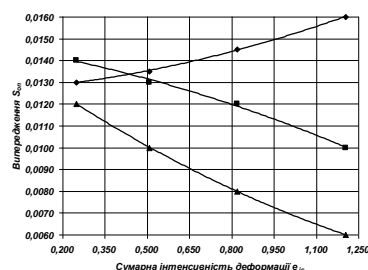
Аналіз отриманих результатів математичного моделювання основних показників контактного тертя дозволяє зробити наступні висновки:

збільшення концентрації водної емульсії призводить до зменшення показників контактного тертя;

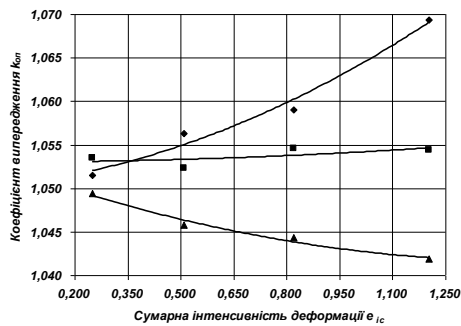
коефіцієнт контактного тертя за умовою тертя Е.Зібеля при збільшенні сумарної інтенсивності деформації зменшується;



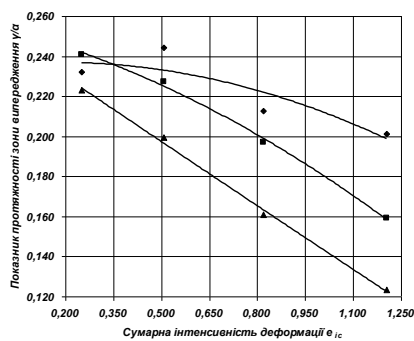
**Рис. 1.** Залежність коефіцієнта тертя від сумарної інтенсивності деформації при прокатці на стані 300 зі швидкістю 18 м/с штаб сталі 08 кп розміром  $H \times B = 3,09 \times 60$  мм з водною емульсією концентрації 2,5% (◆—◆), 5,0% (■—■) і 10% (▲—▲)



**Рис. 2.** Залежність випередження від сумарної інтенсивності деформації при прокатці на стані 300 зі швидкістю 18 м/с штаб сталі 08 кп розміром  $H \times B = 3,09 \times 60$  мм з водною емульсією концентрації 2,5% (◆—◆), 5,0% (■—■) і 10% (▲—▲)



**Рис. 3.** Залежність коефіцієнта випередження від сумарної інтенсивності деформації при прокатці на стані 300 зі швидкістю 18м/с штаб сталі 08кп розміром  $H \times B = 3,09 \times 60$  мм з водною емульсією концентрації 2,5% (◆—◆), 5,0% (■—■) і 10% (▲—▲)



**Рис. 5.** Залежність показника протяжності зони випередження від сумарної інтенсивності деформації при прокатці на стані 300 зі швидкістю 18м/с штаб сталі 08кп розміром  $H \times B = 3,09 \times 60$  мм з водною емульсією концентрації 2,5% (◆—◆), 5,0% (■—■) і 10% (▲—▲)

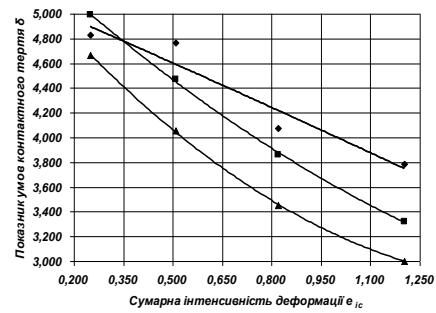
для умов прокатки з більш концентрованою водною емульсією (5 та 10%) збільшення сумарної інтенсивності деформації призводить до зменшення випередження; для умов прокатки с водною емульсією 2,5%-ї концентрації спостерігається протилежний характер залежності випередження від сумарної інтенсивності деформації; близький до вище описаного характер залежності коефіцієнта випередження від сумарної інтенсивності деформації;

збільшення сумарної інтенсивності деформації призводить до зниження показників протяжності зони випередження і умов контактного тертя для умов прокатки з водними емульсіями всіх досліджених концентрацій; зменшення показника протяжності зони випередження осередку деформації за рахунок використання технологічного мастила сприяє зниженню середнього тиску металу на валки, тобто зменшення протяжності зони випередження осередку деформації приводить до зниження енерговитрат при холодній прокатці тонких штаб і, отже, підвищення ефективності цього процесу; ідеальний випадок холодної прокатки тонких штаб відповідає умовам деформації, коли протяжність зони випередження осередку деформації дорівнюватиме нулю, але при цьому треба додатково дослідити стабільність процесу пластичного формозмінення металу.

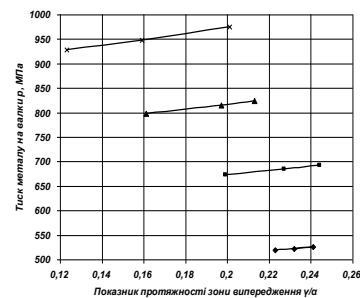
**Висновки та напрямок подальших досліджень.** Розроблений алгоритм математичного моделювання контактного тертя в залежності від основних чинників. Проаналізований вплив сумарної інтенсивності деформації та концентрації водної емульсії на основні показники контактного тертя при холодній прокатці тонких штаб. Встановлено, що збільшення протяжності зони випередження осередку деформації призводить до підвищення витрат енергії на опір металу пластичному формозміненню.

*Список літератури*

1. Капланов В.И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива : монография / В.И. Капланов. – Мариуполь: Изд-во Рената, 2008. – 456 с.



**Рис. 4.** Залежність показника умов тертя від сумарної інтенсивності деформації при прокатці на стані 300 зі швидкістю 18м/с штаб сталі 08кп розміром  $H \times B = 3,09 \times 60$  мм з водною емульсією концентрації 2,5% (◆—◆), 5,0% (■—■) і 10% (▲—▲)



**Рис. 6.** Залежність тиску металу на валки від показника протяжності зони випередження осередку деформації в першому (◆—◆), другому (■—■), третьому (▲—▲) і четвертому (x—x) пропусках при прокатці на стані 300 зі швидкістю 18м/с штаб сталі 08кп розміром  $H \times B = 3,09 \times 60$  мм з подачею в осередок деформації водних емульсій різної концентрації (2,5; 5 і 10%)

2. Капанов В.И. Эффективность новых технологических смазок при тонколистовой холодной прокатке: Учеб. пособие / В.И. Капанов. – К.: УМК ВО, 1992. – 88с.
3. Капанов В.И. Тонколистовая высокоскоростная прокатка металлов с экономичными технологическими смазками: Учеб. пособие / В.И. Капанов. – К.: УМК ВО, 1990. – 76с.
4. Николаев В.А. Триботехника в процессах прокатки и волочения/ В.А. Николаев. – К.: УМК ВО, 1992. – 156с.
5. Грудев А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением: Справочник/ А.П. Грудев, Ю.В. Зильберг, В.Т. Тилик. – М.: Металлургия, 1982. – 312с.
6. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением / А.Н. Леванов и др. – М.: Металлургия, 1976. – 416 с.
7. Рудской А.И., Лунев В.А. Теория и технология прокатного производства: Учеб. пособие/ А.И. Рудской, В.А. Лунев. – СПб.: Наука, 2008. – 527с.
8. Процесс прокатки/ М.А. Зайков, В.П. Полухин, А.М. Зайков, Л.Н. Смирнов. – М.: «МИСИС», 2004. – 640с.
9. Грудев А.П. Теория прокатки/ А.П. Грудев. – М.: Интермет Инжиниринг, 2001. – 280с.

Рукопись поступила в редакцию 19.03.12

УДК 681.03

И.Н. ВДОВИЧЕНКО, канд. техн. наук, доц.  
Криворожский институт Кременчугского университета экономики,  
информационных технологий и управления

## ИСПОЛЬЗОВАНИЕ СИСТЕМ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ В УПРАВЛЕНИИ ПРЕДПРИЯТИЕМ

Рассмотрены возможности языка CLIPS для построения интеллектуальных систем. Предложен вариант построения системы поддержки принятия решений на CLIPS.

**Проблема и ее связь с научными и практическими задачами.** В последнее десятилетие вопросы управления предприятием в условиях кризиса довольно актуальны. Они активно изучаются экономистами, социологами, технологами и специалистами по искусственному интеллекту [1]. Получены интересные результаты в рамках информационного подхода. Сравнительный анализ существующих современных подходов и методов управления предприятием показал особенности и сложности данного процесса. Обнаружено, что основное внимание научных работников уделяется автоматизации предприятия, а вопросу интеллектуального управления уделяется недостаточно внимания. Более того, работы чаще носят характер общих рекомендаций, для которых не всегда ясно применение к конкретным условиям производства. Неопределенность обстановки и малые резервы времени обуславливают необходимость информационной поддержки принятия решений, предназначенной для лиц, принимающих решения, т.е. руководства предприятия. Данный аспект управления предприятиями так же исследован недостаточно.

**Анализ исследований и публикаций.** Большой вклад в разработку теоретических и прикладных вопросов формирования различных моделей управления предприятием и теории принятия решений внесли: С.Д. Бешелев, Ф.Г. Гурвич, О.И. Ларичев, Б.Г. Литвак, Б.Г. Миркин, А.И. Орлив, В. Парето, В.В. Подиновский, Д.А. Поспелов, Т. Саати, Г. Саймон, Г. Фишер, Г. Марковиц, П. Фишберг, Е. И. Альтман, А. О. Недосекин, О. Б. Максимов, М. И. Гизатуллин и др. Но рассмотренная проблема раскрыта лишь частично, методики, которые используются, не решают исчерпывающе задачи принятия решений при управлении предприятием. Существует необходимость в последующей разработке проблемы, о чем неоднократно писали различные авторы [2]. Эти факты предопределяют актуальность исследования проблемы построения интеллектуальных систем для поддержки принятия решений при управлении предприятием.

**Постановка задачи.** Одним из узких мест в процессе управления предприятием является проблема организации деятельности управленческого персонала предприятий. Тенденции к широкомасштабным изменениям в содержании и характере управленческой деятельности требуют обеспечения руководителей интеллектуальными системами для поддержки принятия решений.