

интенсивности деформации; близкий к выше описанному характер зависимости коэффициента опережения от суммарной интенсивности деформации;

4) увеличение суммарной интенсивности деформации приводит к снижению показателей протяженности зоны опережения и условий контактного трения для условий прокатки с водными эмульсиями всех исследованных концентраций;

5) уменьшение показателя протяженности зоны опережения очага деформации за счет использования технологической смазки способствует снижению среднего давления металла на валки

Выводы: Разработан алгоритм математического моделирования зависимости основных показателей контактного трения от факторов холодной прокатки с технологическими смазками; уточнена методика расчета мощности сил контактного трения; Проанализировано влияние интенсивности деформации тонких полос на условия контактного трения в очаге деформации.

Список литературы: 1. Грудев А.П. Трение и смазки при обработке металлов давлением : Справочник / А.П. Грудев, Ю.В. Зильберг, В.Т. Тилик. – М. : Металлургия, 1982. – 312с. 2. Контактное трение в процессах обработки металлов давлением /А.Н. Леванов, С.П. Буркин, Б.Р. Кортак [и др.] – М : Металлургия. – 1976. – 416с. 3. Капланов В.И. Динамика и трибоника высокоскоростной тонколистовой прокатки. Мировая тенденция и перспектива : монография / В.И. Капланов. – Мариуполь : Изд-во Рената, 2008. – 456с. 4. Зильберг Ю.В. Закон и модели пластического трения / Ю.В. Зильберг // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2000. – №11. – С.22-24. 5. Процесс прокатки / М. А. Зайков, В. П. Полухин, А. М. Зайков, Л. Н. Смирнов. – М. : МИСИС, 2004. – 640 с. 6. Процесс непрерывной прокатки / В.Н. Выдрин, А.С. Федосиенко, В.И. Крайнов. – М. : Металлургия. – 1970. – 456с. 7. Ахматов А.С. Молекулярная физика граничного трения / А.С. Ахматов. – М.: Физматгиз, 1963. – 472с. 8. Капланов В.И. Теория высокоскоростной тонколистовой холодной прокатки металлов : Учеб. пособие/ В.И. Капланов. – К. : УМК ВО, 1991. – 72с. 9. Капланов В.И. Комплексная математическая модель работы сил контактного трения при холодной прокатке тонких полос / В.И. Капланов, А.Г. Присяжный // Вестник Национального технического университета «ХПИ». Сборник научных трудов. Тематический выпуск : Новые решения в современных технологиях / НТУ «ХПИ». – Харьков, 2010. – Вып. 42. – С.59-63.

УДК 621.789

СМИРНОВ Є.М., докт. техн. наук, проф. ДонНТУ, Донецьк
БЕЛЕВІТІН В.О., докт. техн. наук, проф. ЮрГУ, Челябінськ
ІГНАТКОВ Р.С., магістр ДонНТУ, Донецьк
ГАЛУХІНА І.М., аспірантка ДонНТУ, Донецьк
ДОМБРОВСЬКИЙ Є.О., інженер ПАТ «ДМПЗ», Донецьк

К ПИТАННЮ ЩОДО ВПЛИВУ СУМАРНОЇ ВИТЯЖКИ НА ЗМІНУ МЕЖІ ПЛИНУ СТАЛІ 45 ПРИ ПРОКАТЦІ БЕЗПЕРЕРВНОЛИТИХ ЗАГОТОВОК В ПЕРШИХ ПРОХОДАХ

Наведені результати експериментального дослідження впливу величини сумарної витяжки μ_{Σ} на межу плинності $\sigma_{0,2}$ сталі 45 при прокатці безперервнолитих заготовок. В якості базового методу дослідження був прийнятий метод вивчення розподілу твердості НВ по перерізу темплетів вихідної заготовки і підкатів. Отримана графічна залежність $\sigma_{0,2} = f(\mu_{\Sigma})$. Встановлено, що до величини $\mu_{\Sigma} \approx 3,0$ спостерігається зростання величини $\sigma_{0,2}$ в середньому на 12,0 ... 20,0%.

Представлены результаты экспериментального исследования влияния величины суммарной вытяжки $\mu\Sigma$ на предел текучести $\sigma_{0,2}$ стали 45 при прокатке непрерывнолитых заготовок. В качестве базового метода исследования был принят метод изучения распределения твердости HB по сечению темплетов исходной заготовки и подкатов. Получена графическая зависимость $\sigma_{0,2} = f(\mu\Sigma)$. Установлено, что до величины $\mu\Sigma \approx 3,0$ наблюдается рост величины $\sigma_{0,2}$ в среднем на 12,0 ... 20,0%.

The results have been presented of an experimental study of the effect size on the total extract yield $\mu\Sigma$ strength $\sigma_{0,2}$ of steel 45 in the rolling of continuously harvesting. A basic method of research was adopted to study the distribution of hardness HB on platen section of the original billet and rolled up, after a different number of passes. A graphical dependence $\sigma_{0,2} = f(\mu\Sigma)$ have been gotten. It is established that up to a value $\mu\Sigma \approx 3,0$ observed the rise of the $\sigma_{0,2}$ on average 12,0 ... 20,0%.

1. Вступ

Підвищення якості готового прокату є одним з чинників розвитку металургійної промисловості, який забезпечує конкурентоспроможність прокату на світових ринках. Але досягнення конкурентоспроможності неможливо також і без підвищення продуктивності виробництва продукції, зменшення металоємності виробів, а також зменшення матеріальних та енергетичних витрат в рамках кожного з елементів технологічної системи “Сталь - Прокат - Металопродукція”.

Світовий досвід свідчить [1], що як при виробництві катанки, так прокату на сортових станах, сьогодні використовують тільки безперервнолиту заготовку. Якість прокату у цьому випадку визначається не стільки хімічним складом сталі, скільки сукупністю усіх наступних технологічних операцій, починаючи з виплавки та розливання сталі та закінчуючи умовами охолодження з прокатного нагріву. Керування технологічними параметрами на кожному з елементів системи “Сталь - Прокат - Металопродукція” в теперішній час може виконуватися у досить широкому інтервалі. Стосовно умов елемента “Прокат” це стало можливим завдяки втіленню на металургійних підприємствах сучасних високошвидкісних прокатних станів.

Але стани нового покоління, і в першу чергу системи керування їх роботою, потребують досить ретельного попереднього вивчення різних сторін процесу прокатки (формозміна, температурний режим та ін.) шляхом математичного моделювання з обов'язковою наступною розробкою рекомендацій щодо вибору інтервалів та регулювання основних технологічних параметрів. У цьому випадку експериментальні дослідження, які спрямовані на більш глибоке вивчення особливостей макроструктури безперервнолитої сортової заготовки з одночасною розробкою рекомендацій щодо їх подальшого урахування в математичних моделях процесу, мають актуальний характер.

2. Постановка проблеми

Відомо, що зі збільшенням товщини штаби вплив сил тертя на формування напруженого стану в осередку деформації зменшується [2]. При значеннях фактора форми $l_0/h_{cp} < 1$, яке є характерним для умов прокатки безперервнолитої заготовки перерізом від 100×100 мм до 150×150 мм в обтискних клітях сортових станів, сила тертя має вкрай малий вплив на середній контактний тиск [3]. У цьому випадку підчас визначення цього параметру коефіцієнт n'_c стає близьким

до 1. Головним чинником, що впливає на величину тиску, стають зовнішні зони (жорсткі кінці). В той же час, для розрахунку середнього контактного тиску з урахуванням зовнішніх зон існуючі теоретичні (залежності Луговського В.М., Прандтля Л.) або емпіричні (залежність Целікова О.І. та Смирнова В.В.) формули, потребують обов'язкового урахування особливостей макроструктури безперервнолитого сортового зливка [4], яка має певну аналогію з макроструктурою звичайного металургійного зливка.

Дослідження, які були виконані під час прокатки металургійних зливків у перших проходах [5], коли метал має великозернисту структуру та щільність, засвідчили, що його опір деформації нижче, ніж під час випробування малих зразків в лабораторних умовах. У зв'язку з цим довідкові значення σ_T потрібно помножити на корегуючий коефіцієнт масштабного фактора κ_M , величина якого менше одиниці. За даними О.О. Дініка під час прокатки зливків на блюмінгу у перших проходах $\kappa_M = 0,7 \dots 0,8$. По мірі збільшення ступеня накопиченої деформації величина κ_M наближається до 1. Однак, коли значення витяжки наближається до 3, вплив масштабного чинника стає непомітним ($\kappa_M \approx 1$) [3].

Вірогідно, виникнення подібного ефекту слід очікувати і під час прокатки безперервнолитих заготовок в обтискних проходах. У якості посереднього підтвердження цьому припущенню може бути використана інформація, щодо розподілу властивостей безперервнолитого блюма [6]. Однак рекомендацій щодо обрання значення коефіцієнту масштабного фактора κ_M стосовно до умов обтискних проходів сортового стану носять вкрай обмежений характер в наслідок великої металоємності дослідження. Але отримання даних щодо розподілу механічних властивостей в перерізі безперервнолитої заготовки (та підкатів з неї) дозволяє в подальшому більш коректно враховувати початковий (після лиття) нерівномірний розподіл межі міцності σ_B і плину σ_T в перерізі заготовки при математичному моделюванні процесу її деформування шляхом прокатки з використанням методу кінцевих елементів (МКЕ).

3. Мета статті

Метою роботи є дослідження впливу величини сумарної витяжки μ_{Σ} під час прокатки на зміну властивостей металу безперервнолитої сортової заготовки, відлитої зі сталі 45.

4. Основна частина

Дослідження виконані шляхом натурального експерименту з подальшим визначанням зміни властивостей в лабораторних умовах.





Для проведення досліджень були вирізані темплети на різних етапах виробництва круглого профілю $\varnothing 42$ мм зі сталі 45 в умовах стану 500/370 ПАТ "ДМПЗ": заготовка, підкати після першого та четвертого проходів, кінцевий профіль. Параметри темплетів, наведені у таблиці 1.

В якості базового методу дослідження було обрано вивчення розподілу твердості НВ по перерізу зразка. Вибір даного методу було обумовлено тим, що можливо перевести рівень твердості в інші параметри, а саме σ_B та $\sigma_{0,2}$.

Виходячи з вищезазначеного на кожному з отриманих темплетів були виконані заміри твердості за методом Брінеля. В ході дослідження

використовували сферичний індентор $\varnothing 10$ мм. Рівень навантаження згідно рекомендаціям роботи [7] складав 100 Н.

Таблиця 1 - Характеристика умов отримання дослідних темп летів

Геометрія зразка	Номер проходу	Площа перерізу S , мм ²	Ступінь витягування, μ
	0	1 745 700	0
	1	1 533 500	$\mu_{\Sigma 1-2}=1,140$
	4	641 200	$\mu_{\Sigma 1-4}=2,810$
	13	138 500	$\mu_{\Sigma 1-13}=12,60$

Заміри твердості були зроблені на ділянці перерізу кожного з зразків, яка розташована на відстані $1/3$ половини висоти від поверхні (рис. 1).

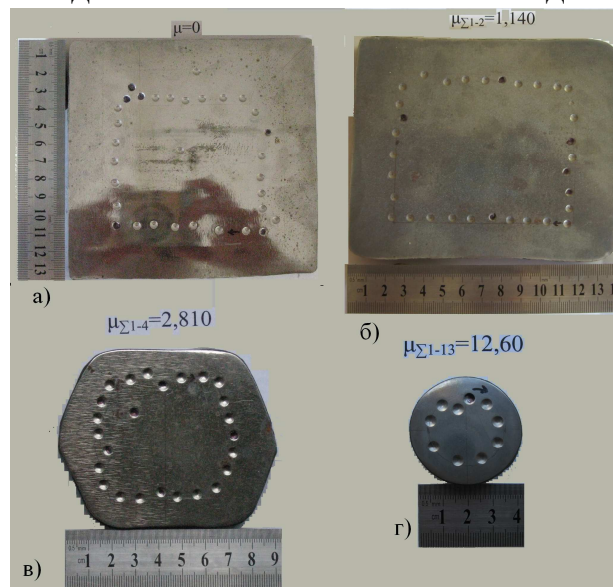


Рис. 1. Вид поверхні темплетів з відбитками індентора:
а) $\mu = 0$; б) $\mu = 1,14$; в) $\mu = 2,81$; г) $\mu = 12,6$.

Такий вибір місця виконання замірів обумовлено тим, що в безперервнолитих заготовках існує певна різниця між щільністю поверхневих та основних шарів металу. Результати виміру твердості в перерізі зразка наведені у таблиці 2.

Аналіз отриманих результатів свідчить, що одна з граней розкату відрізняється більшим рівним значень ніж інші. Це відбувається завдяки тому, що розкат, який транспортують до робочої кліти рольгангом, однією гранню постійно знаходиться в контакт з металевими роликми, що, в свою чергу, обумовлює більш швидке охолодження теплопередачею, ніж інші грані - конвекцією.

Таблиця 2 - Зміна твердості НВ в перерізі темплетів з різних стадій процесу прокатки

Ступінь витягування, μ	Твердість за Брінелем, НВ			
	Грань 1	Грань 2	Грань 3	Грань 4
0	$\frac{207 \div 212}{210}$	$\frac{201 \div 212}{207,7}$	$\frac{197 \div 207}{199,3}$	$\frac{197 \div 207}{199}$
1,14	$\frac{217 \div 223}{220}$	$\frac{212 \div 213}{212}$	$\frac{207 \div 223}{214}$	$\frac{196 \div 197}{196,7}$
2,81	$\frac{196 \div 197}{197,6}$	$\frac{187 \div 197}{192}$	$\frac{187 \div 197}{192}$	$\frac{187 \div 196}{196}$
12,6*	$\frac{187 \div 197}{193}$			

*- для круглого профілю ($\mu = 12,6$) виміри виконувалися на відстані $1/3 \cdot R$ від поверхні профілю.

Перерахунок величини σ_b виконувався за методикою Марковця М.П. [8]

$$\sigma_b = 9,8 \cdot c \cdot \text{НВ}, \quad [\text{Н/мм}^2], \quad (1)$$

де НВ - твердість матеріалу, отримана за методикою Брінеля;

c - коефіцієнт, що враховує властивості матеріалу.

Для умов дослідження сталі 45 величина коефіцієнта складає $c=0,334$.

Перерахунок параметра $\sigma_{0,2}$ виконано у відповідності до способу Новікова В.П. [8] у наступній послідовності:

- твердість на межі плинину, з урахуванням пружного відновлення лунки:

$$H_{0,2} = \frac{4 \cdot P_{0,2}}{\pi \cdot d^2}, \quad (2)$$

де $P_{0,2}$ - навантаження, відповідне отриманій твердості (ГОСТ 22762-77);

d - діаметр відновленого відбитка;

- межа плинину при кімнатній температурі:

$$\sigma_{0,2} = 0,3 \cdot 9,8 \cdot H_{0,2}, \quad [\text{Н/мм}^2] \quad (3)$$

Залежність межі плинину $\sigma_{0,2}$ від ступеню витягування μ_{Σ} наведено на рисунку 2.

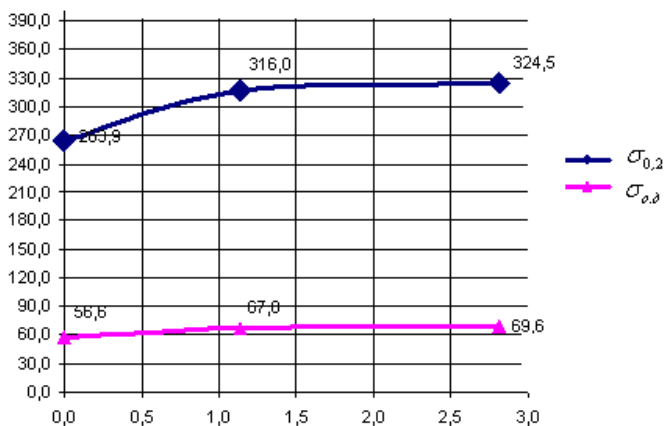


Рис. 2. Зміна величини $\sigma_{0,2}$ та $\sigma_{a,a}$ в залежності від ступеня витягування: матеріал сталь 45

Характер залежності $\sigma_{0,2} = f(\mu_{\Sigma})$ однозначно підтверджує правомірність зробленого припущення щодо необхідності урахування впливу особливостей макроструктури безперервнолитого металу на примусову межу плинину σ_T^* під час виконання розрахунків пов'язаних з визначенням тиску прокатки. При цьому це можливо виконати декількома способами, в тому числі і задавши характер зміни базового значення опору деформації $\sigma_{o,d} = f(\mu_{\Sigma})$

(у разі використання методики Л.В. Андріюка [9]) від ступеню витягування μ_{Σ} аналогічний (пропорційний) встановленій залежності $\sigma_{0,2}=f(\mu_{\Sigma})$ (рис. 2).

Зазвичай, запропонований підхід не є вдосконаленим і може отримати значні зауваження, особливо в частині чисельних значень. Але слід зауважити, що такий підхід дозволяє оцінити вплив особливостей макроструктури безперервнолитого зливка як інтегральної характеристики. Це пов'язано з тим, що місце вирізки зразків в перерізі зливка для пластометричних досліджень буде значною мірою впливати на результат випробувань. У цьому випадку для підвищення коректності результатів треба буде значно збільшити обсяг досліджень, завдяки випробуванню зразків з різних частин безперервнолитої сортової заготовки.

Крім того, відповідність на якісному рівні залежності $\sigma_b=f(\mu_{\Sigma})$ та $\sigma_{0,2}=f(\mu_{\Sigma})$ даним інших авторів [10] дозволяє стверджувати, що отримані результати є коректними і можуть використовуватися в математичних моделях при прийнятті первинного виду моделі матеріалу, яка враховує особливості макроструктури безперервнолитого зливка.

Висновок. Виконані експериментальні дослідження щодо встановлення впливу величини сумарної витяжки μ_{Σ} на межі плину $\sigma_{0,2}$ сталі 45 підчас прокатки безперервнолитих сортових заготовок. Встановлено, що до величини $\mu_{\Sigma} \approx 3,0$ спостерігається зростання величини $\sigma_{0,2}$ в середньому на 12...20%. В свою чергу, це потребує урахування цього ефекту підчас виконання розрахунків, пов'язаних з визначенням величини тиску прокатки. Запропоновано підхід, який дозволяє враховувати вплив особливостей макроструктури металу безперервнолитої сортової заготовки, як інтегральної характеристики.

Список літератури: 1. Мок, П.-Й. Развитие технологии производства сортового проката / П.-Й. Мок, К.Оверхаген, У.Стелмахер // Черные металлы. – ноябрь. – 2010. – С. 30-39. 2. Василев, Я.Д. Теорія поздовжньої прокатки [Текст]: підручник / Я.Д. Василев, О.А.Мінаєв. – Донецьк:УНІТЕХ, 2009. – 488 с. 3. Грудев, А.П. Теория прокатки [Текст]: учебник для вузов / А.П.Грудев. - М.: Металлургия, 1984. - 240 с. 4. Смирнов, Е.Н. Свойства и структура заготовок из непрерывнолитого металла для производства проката ответственного назначения / Е.Н. Смирнов // Металл и литьё Украины. - 2001. - №3-4. - С. 17-20. 5. Чижииков, Ю.М. Прокатываемость стали и сплавов [Текст] / Ю.М. Чижииков. - М.: Металлургиздат, 1961. - 451 с. 6. Исследование непрерывнолитых блюмов большого сечения из низкоуглеродистой судостроительной стали / А.Н.Лубенец, Е.Н.Смирнов, В.В.Щербачёв, В.В.Несвет // Наук. пр. Донец. держ. техн. ун-ту. Сер., Металургія. - Донецьк: ДонДТУ, 2001. - Вип. № 31. - С. 106-115. 7. Дрозд, М.С. Определение механических свойств металлов без разрушения [Текст] / М.С.Дрозд.- М: Металлургия, 1965.-171 с. 8. Марковец, М.П. Определение механических свойств металлов по твердости [Текст] / М.П.Марковец.- М.: Машиностроение, 1979. - 191 с. 9. Андрюк, Л.В. Аналитические зависимости сопротивления деформации металла от температуры и степени деформации / Л.В.Андрюк, Г.Г.Тюленев // Сталь. – 1972. - №9. - С.545-547. 10. Кремер, К.-И. Технология сопротивления и контроль качества заготовок, изготовленных из стали специальных марок методом непрерывной розливки / К.И. Кремер, К.-Х.Хейнен, Л.-Г.Обергаузер // AISI, Бирмингем, США, 25-27 марта 1985г. – с. 62-75.