

Дніпродзержинський державний технічний університет

## ДОСЛІДЖЕННЯ ДЕФОРМОВАНОГО СТАНУ ПРИ ПРОКАТЦІ РЕЙОК Р65 ЗА ТЕХНОЛОГІЄЮ ССС

**Вступ.** Рейки – сталеві балки спеціального перетину, що укладаються на шпалах або інших опорах для утворення, як правило, двониткового шляху, по якому переміщується рухомий склад залізничного транспорту, міських залізниць, спеціалізований склад у шахтах, кар'єрах, кранове устаткування.

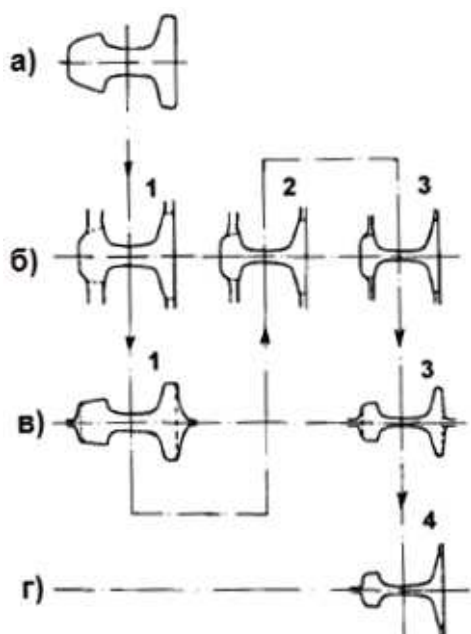
На сучасних рейкобалкових станах встановлюють триклітьові реверсивні групи безперервної прокатки з двома універсальними клітьями (групи клітей тандем). Такі агрегати працюють на фірмах Profil ARBED (Бельгія), Kangwon Ind. Ltd. (INI Steel), Pohand (Південна Корея), Steel Dynamics (США), Batou Iron and Steel (Китай), Jindal Steel and Power (Індія). Ці стани відрізняються компактним розташуванням обладнання, що скорочує масу транспортних засобів і втрати теплоти заготовки [1].

Вперше прокатування рейок на універсальній клітці було випробуване французькою фірмою Sacilor (зараз Corus Rail) в 1964 р. Така технологія передбачає багатократне пряме обтиснення найбільш відповідальних елементів профілю – головки і підшви. Рейки, прокатані з використанням універсальних калібрів, характеризуються дрібнозернистою структурою, покращеною якістю поверхні і підвищеними механічними властивостями [2]. Однією з основних переваг такої прокатки є рівномірне формування рейки по поперечному перерізу за рахунок обтиснення горизонтальними й вертикальними валками. Форма головки рейки залишається практично незмінною протягом усього процесу прокатки, що дозволяє звести до мінімуму ризик утворення дефектів.

Також однією з важливих переваг прокатування рейок в універсальних калібрах є можливість незалежного регулювання кожного з робочих валків, що дозволяє безпосередньо в процесі прокатування коректувати проміжні розміри профілю. В чистовій клітці таке регулювання не відбувається [3].

В безперервній групі між універсальними клітьями встановлюють кліть дуо, в якій формуються розміри головки і підшви рейки по ширині. В останній універсальній клітці виконують всього один чистовий пропуск, надаючи рейці остаточних розмірів перерізу [1].

Схема прокатування в триклітьовій групі показана на рис.1. В першому проході працює чорнова універсальна (б) і двовалкова (в) клітці, в другому – тільки перша універсаль-



- а) – розкат з реверсивної клітці дуо;
- б) – чорнова універсальна клітці;
- в) – проміжна клітці дуо, що здвигається;
- г) – універсальна чистова клітці

Рисунок 1 – Схема прокатки рейок в триклітьовій групі

на кліть (б), в третьому відбувається безперервне прокатування в трьох клітях, включаючи чистову кліть (г). Валки кліті дуо (в) мають два калібри, які по чергово встановлюються на лінію прокатування поперечним переміщенням кліті [1].

За кордоном у виробництві рейок відбувся якісний стрибок, який дозволив вивести його на новий технічний рівень. А у вітчизняному рейковому виробництві з кінця 80-х років майже не відбувалась реконструкція і модернізація обладнання, що призвело до відставання рівня якісних і експлуатаційних показників рейок від продукції зарубіжних виробників і, як наслідок, втрати конкурентоздатності вітчизняних рейок на світовому ринку [4]. Лише нещодавно ця проблема в Росії почала вирішуватись за рахунок реконструкції рейкобалкового стану Західно-Сибірського металургійного комбінату та будівництва сучасного прокатного стану на Челябінському комбінаті. В Україні ця проблема до сих пір є невирішеною.

Реконструкція і технічне переоснащення виробництва рейок в Україні повинні забезпечити: виплавку рейкової сталі в кисневих конверторах або електродуговых печах з використанням позапічної обробки сталі; прокатування рейок з безперервнолитих заготовок; нагрів заготовок в печах з крокуючими балками, що підвищить якість поверхні готових рейок; прокатування рейок з використанням універсальних клітей; загартування рейок з використанням тепла прокатного нагріву; 100%-вий неруйнуючий контроль якості металу головки, підшви і шийки рейки; автоматичний контроль розмірів профілю рейки і його прямолінійності [4].

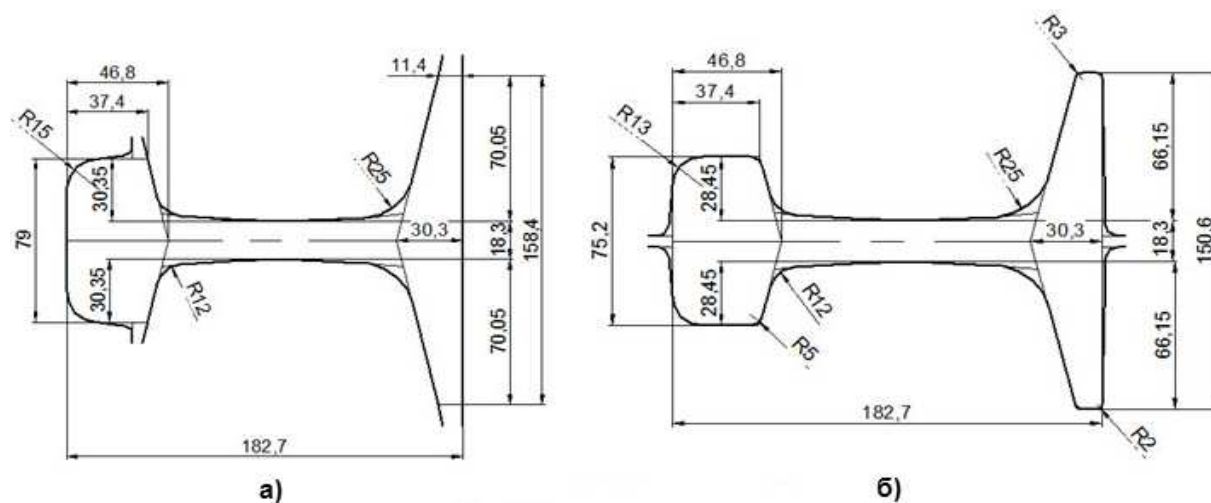
**Постановка задачі.** Питання формозміни металу при прокатці в рейкових калібрах має велике значення, оскільки розробка раціональних калібрувань неможлива без ретельного дослідження заповнення калібрів під час прокатування і зміни напружено-деформованого стану. Більшість з них була проведена ще в радянські часи. До них, зокрема, належать дослідження П.І.Полухіна і М.П.Галеміна [5]. Але через застарілість їх використання для сучасних схем прокатки рейок часто неможливе. В наш час можна відмітити результати експериментальних дослідів, проведених під керівництвом російських вчених В.М.Перетятко та В.П.Дорофєєва [6].

Таким чином, дослідження деформованого стану металу при прокатці у сучасних рейкових калібрах, розробка нових і вдосконалення існуючих методів розрахунку калібрувань з метою підвищення якості прокату є актуальним і потребує проведення ретельних досліджень. Оскільки проведення експериментів в умовах виробництва і в дослідних лабораторіях вимагає великих матеріальних витрат, доцільно проведення теоретичних досліджень з використанням моделювання процесів прокатки.

**Результати роботи.** Для схеми прокатного стану „SDI” була розрахована калібровка валків при прокатці рейки Р65 в групі клітей тандем за методикою, наведеною в [7]. Наступним кроком було виконання теоретичного розрахунку деформованого стану при прокатці в калібрах з подальшим аналізом одержаних даних. Розрахунок виконували в програмному пакеті ESV-Deform, в якому метод скінчених елементів використовується як математичний апарат для апроксимації полів швидкостей плинину металу. Методика процесу моделювання наведена в роботі [8].

Розглянемо детально дані, одержані для передчистового калібру при прокатці в допоміжній кліті дуо. Креслення розрахованого калібру разом із попереднім по ходу прокатки калібром (чорнова універсальна кліть) наведені на рис.2. Для розрахунку в програмі ESV Deform обрано наступні налаштування: для розбивання розкату на елементи використовувалася тетрадральна сітка, довжина кожної сторони трикутника становила 20 мм. В якості алгоритму рішення використано метод штрафних функцій.

Діаметри валків допоміжної кліті дуо, в якій виконується обчислюваний прохід, дорівнюють 900 мм. Швидкість прокатки – 2,6 м/с.



а) – калібр при попередній прокатці в чорновій універсальній кліті;  
 б) – передчистовий калібр (допоміжна кліть дуо)

Рисунок 2 – Калібри при прокатці рейки Р65 в групі клітей тандем

Результати обчислень представлені на рис.3-5.

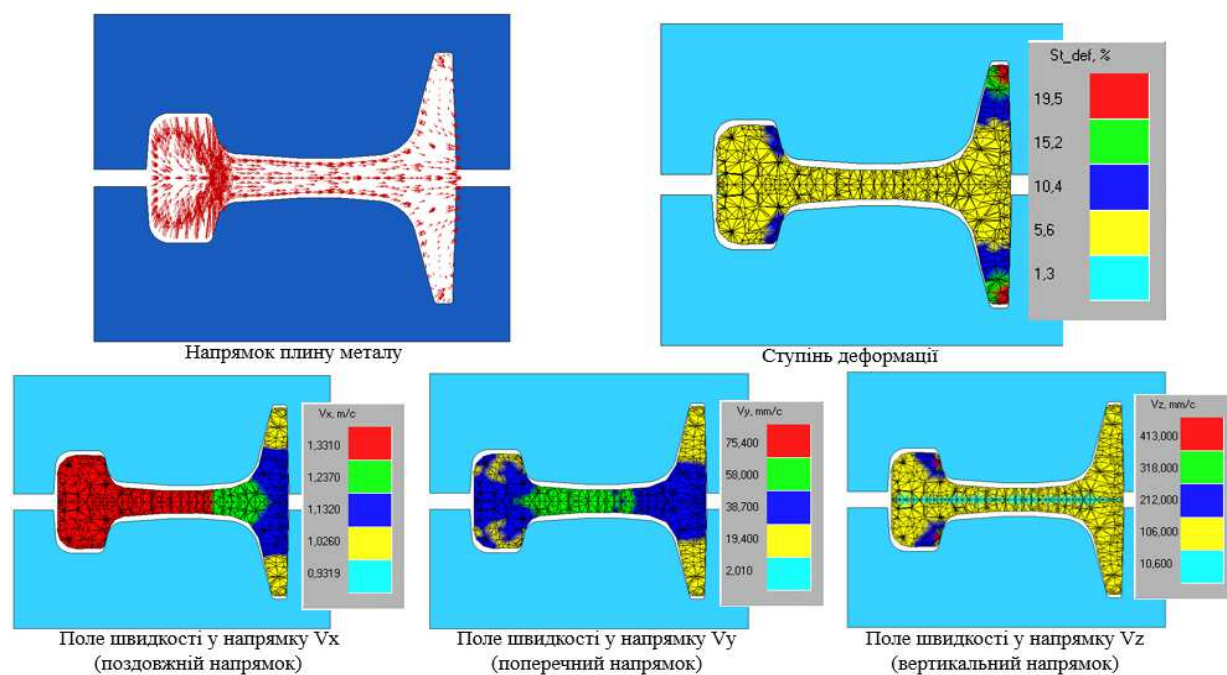


Рисунок 3 – Результати розрахунку деформованого стану в передчистовому калібрі на вході в осередок деформації

Як бачимо з рис.3, контакт металу з валками почався на підшві в місцях її контакту з бічними стінками в місцях дотику до похилої частини калібра. Контакт металу також спостерігається в місці переходу голівки у стінку профілю. Плин металу на даній

ділянці має чітко виражений напрямок в центральну, а потім у праву частину калібру. Винятком є лише невелика ділянка в місці перетину стінки з голівкою профілю, метал в якій має найбільший плин і рухається назустріч в напрямку горизонтальної осі через початок обтиснення розкату в місці переходу шийки в голівку профілю. Поле швидкості переміщення в повздовжньому напрямку нерівномірне. Голівка і ліва частина стінки мають найбільші значення швидкості, найменші спостерігаються на кінцях підшви. В поперечному напрямку найбільша швидкість переміщень в центрі стінки розкату, а також на невеликих ділянках в місцях початку контакту голівки з валками. Швидкість плину металу по висоті майже рівномірна і на більшій частині розкату не перевищує 106 мм/с. Виключенням є лише ділянки навколо нижньої частини голівки, яка вступила в контакт з похилою частиною гребеня калібру, де одержані значення швидкості доходять до 413 мм/с. Найбільша ступінь деформації спостерігається в місцях контакту металу з валками (10,4-19,5%). На ділянках, де контакт з валками ще не відбувся, значення ступеня деформації не перевищує 5,6%.

В осередку деформації (рис.4) найбільший плин металу спостерігається по стінці розкату. Від центру метал тече у різні боки. Плин металу у підшві, причому як у верхній частині, так і у нижній, а також в голівці розкату, зберігає попередній напрямок – в праву сторону калібру. Швидкість повздовжнього переміщення зберігає характер, як і у попередньому перерізі – найбільші значення мають голівка і стінка розкату (до 1,48 м/с),

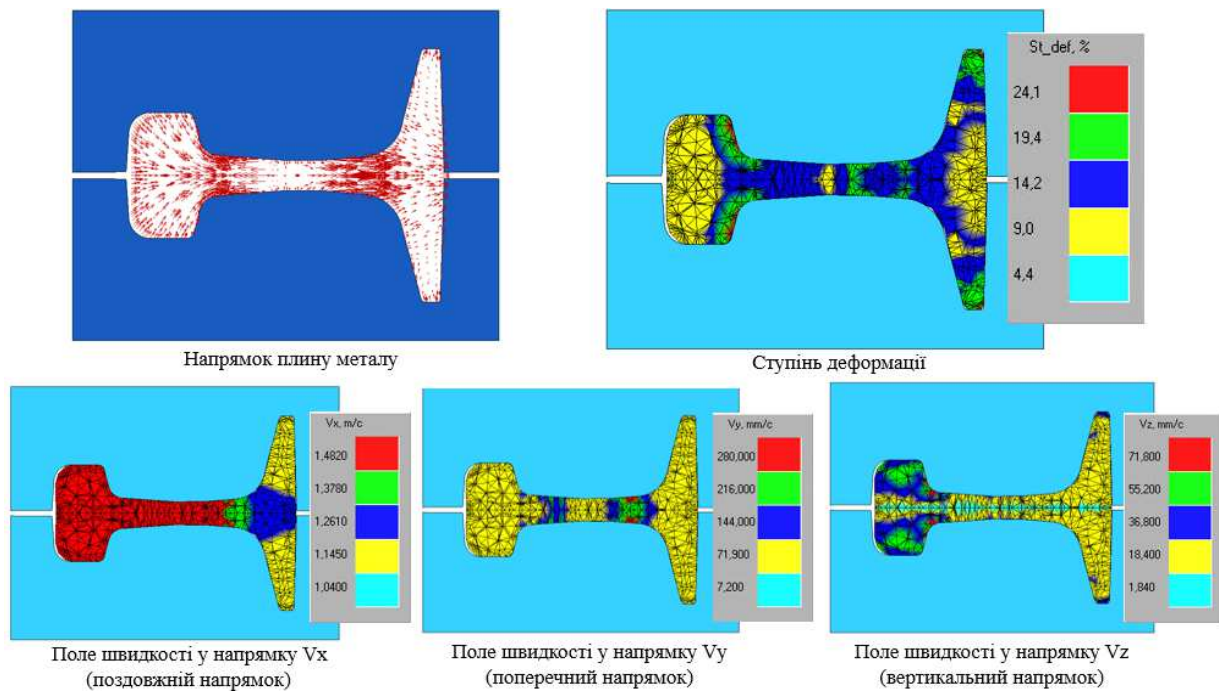


Рисунок 4 – Результати розрахунку деформованого стану в середній по довжині частині осередку деформації

значення у підшві – до 1,15 м/с. Характер плину металу в поперечному напрямку зазнав зміни. Невеликі значення швидкості маємо в голівці і у підшві, а також в середній частині стінки розкату (до 71,9 мм/с). Зона з найбільшою швидкістю поперечного плину (до 280 мм/с) розташована з правої сторони стінки в місцях контакту металу з валками. Поле швидкості плину металу по висоті також змінилося. Найменші значення (до 18,4 мм/с) бачимо в підшві розкату (окрім кінців фланців), а в голівці бачимо неоднор-

рідний плин металу зі швидкістю 18,4-71,8 мм/с, де значення 71,8 мм/с відповідає ділянці переходу стінки у голівку розкату. Обтиснення в передчистовому калібрі невелике, тож ступінь деформації по ділянках не перевищує 24,1% з внутрішньої сторони голівки і на невеликій ділянці по краях нижніх фланців. Найменший ступінь деформації одержала зовнішня сторона голівки розкату і частина підосви в області горизонтальної вісі валків (до 9%).

На рис.5 зображено поля, одержані для перерізу на виході з осередку деформування. Проаналізуємо їх. Як бачимо, плин металу остаточно набув незвичайного напрямку – тепер вже чітко видно, що плин металу всього розкату в перерізі, що розглядається, відбувається у праву сторону. А це означає велику вірогідність, що на виході з валків при прокатці розкат викривить і поверне направо, що погіршить його задачу в наступний чистовий калібр і може призвести до викривлення та інших дефектів готового профілю. Швидкості переміщень в повздовжньому напрямку майже не змінилися, а в поперечному вони стали більш рівномірними. Так, швидкості переміщень у напрямку  $V_y$  для голівки і частини підосви на горизонтальній осі, а також окремої ділянки ближче до середини стінки – до 46,8 мм/с. Найбільше значення 75,7 мм/с спостерігається у правій частині стінки, а найменше (до 31,6 мм/с) по краях підосви і у лівій частині стінки розкату. Швидкість переміщення по висоті характеризується найбільшими значеннями по верхніх краях підосви (до 12,8 мм/с), трохи менші значення маємо по нижньому краю підосви (до 9,8 мм/с), найменші значення – на горизонтальній осі калібра. Розподілення ступеня деформації схоже на те, що і на попередньому перерізу. Єдиною відмінністю є виділення зони з більшим ступенем обтиснення по внутрішній стороні підосви, а його максимальне значення – 31,2%.

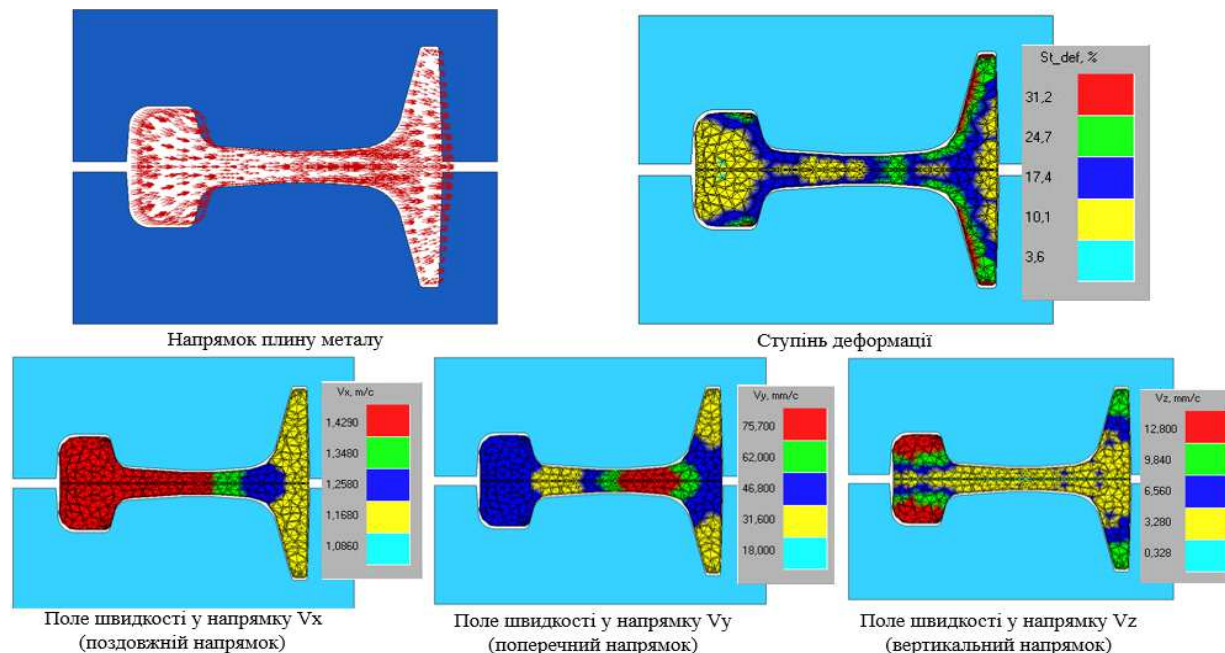


Рисунок 5 – Результати розрахунку деформованого стану на виході з осередку деформації

**Висновки.** За результатами проведеного дослідження можна зробити висновок про те, що деформований стан металу змінюється на протязі всієї довжини осередку

деформування, тому в аналізі напружено-деформованого стану треба враховувати весь осередок деформування разом із зовнішніми зонами.

У 12 калібрі на виході з осередку деформування плин металу відбувся в одному напрямку, що може призвести до викривлення розкату на виході з валків. Тому в цьому калібрі треба ставити направляючі лінійки в наступну універсальну чистову кліть, або корегувати методику проектування калібровки валків.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Матвеев Б.Н. Современные рельсопрокатные станы / Б.Н.Матвеев // Бюллетень научно-технической и экономической информации „Черная металлургия”. – 2006. – №2. – С.40- 43.
2. Смирнов В.К. Прокатка рельсов с применением универсальных клетей / В.К.Смирнов, А.Р.Бондин, А.М.Михайленко // Пятый конгресс прокатчиков, Череповец, 21-24 окт. 2003 г.): труды. – М.: Черметинформация, 2004. – С.218-223.
3. Левченко В.Н. Развитие технологии прокатки железнодорожных рельсов и пути её совершенствования / В.Н.Левченко, Я.М.Пыхтин, В.В.Чигиринский // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 2005. – Т.8. Пластична деформація металів. – С.326-329.
4. Сталинский Д.В. Пути модернизации производства железнодорожных рельсов, обеспечивающих повышение их качества / Д.В.Сталинский, А.С.Рудюк, В.Н.Левченко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 2008. – №5. – С.114-116.
5. Полухин П.И. Прокатка и термическая обработка железнодорожных рельсов / П.И.Полухин, Ю.В.Грдина, Е.Я.Зарвин. – М.: Изд-во литературы по черной и цветной металлургии, 1962. – 510с.
6. Дорофеев С.В. Совершенствование технологии и разработка новых способов прокатки рельсов из непрерывнолитой заготовки: автореф. дис. на соискание науч. степени канд. техн. наук: спец. 05.16.05 „Обработка металлов давлением” / С.В.Дорофеев. – Новокузнецк, 2009. – 25с.
7. Смирнов В.К. Калибровка прокатных валков / В.К.Смирнов, В.А.Шилов, Ю.В.Инатович. – М.: Теплотехник, 2010. – 490с.
8. Илюкович Б.М. Теоретические основы обработки металлов давлением: в 2 т / Б.М.Илюкович, А.П.Огурцов, Н.Е.Нехаев, С.В.Ершов. – Днепропетровск: РИА „Днепро-ВАЛ”, 2002. – Т.2. – 485с.

*Надійшла до редколегії 15.09.2014.*