

– окисна плівка, наявність якої важливо для запобігання прилипання металу до матриці, викликає у той же час підвищене зношування останньої;

– дуже важко видалити окисну плівку без псування поверхні готового дроту; якщо ж перед нагріванням дроту до високих температур плівка не видалена, вона розчиняється у металі, що робить його крихким.

Подолати ці недоліки можна шляхом застосування сталеві або краще мідної захисної оболонки, яка розчиняється у кислоті після волочіння.

Висновки. Металевий цирконій має дуже широке застосування на виробництві. Основними галузями його споживання є атомна енергетика, виробництво хіміко-технологічного устаткування і аерокосмічна промисловість, чорна металургія і виробництво різноманітних сплавів.

Враховуючи, що за запасами цирконієвої руди Україна займає одне з ведучих місць у світі, то є доцільним створення в країні повного циклу виробництва цирконію.

Проаналізовано основні технологічні особливості гарячої та холодної прокатки цирконієвого листа, виробництва труб та прутків, а також волочіння дроту.

ЛІТЕРАТУРА

1. Stephens W. W. Extractive Metallurgy of Zirconium – 1945 to the Present / W.W.Stephens // Zirconium in the Nuclear Industry:Sixth International Conference, ASTM STP 824, D. G. Franklin and R. B. Adams, Eds., American Society for Testing and Materials. – 1984. – P. 5–36.
2. Цирконий и его сплавы: технологии производства, области применения / В. М. Ажажа, П. Н. Вьюгов, С. Д. Лавриненко [и др.]. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 1998. – 89 с.
3. Современное состояние и перспективы развития производства циркония и его сплавов и изделий из них / А. К. Шиков, А. Д. Никулин, В. А. Никулина [и др.] // Физика и химия обработки материалов. – 2001. – № 6. – С. 5–14.
4. Пилипенко Н. Н. Получение циркония ядерной чистоты / Н. Н. Пилипенко // Вопросы атомной науки и техники. Серия: Физика радиационных повреждений и радиационное материаловедение (92). – Харьков : ННЦ ХФТИ. – 2008. – № 2. – С. 66–72.

УДК 621.771. 25

САМОХВАЛ В. М., к.т.н., доцент
МАКСИМЕНКО О.П., д.т.н., професор
ШТОДА М. М. к.т.н., доцент

Дніпровський державний технічний університет, Кам'янське, Україна

ОСОБЛИВОСТІ КОНСТРУКЦІЙ РОБОЧИХ КЛІТЕЙ СТАНІВ ДОВГОМІРНОГО ПРОКАТУ ТА ТЕНДЕНЦІЇ ЇХ РОЗВИТКУ

Вступ. За даними Всесвітньої Асоціації сталі [1] в 2015 році з загального обсягу гарячекатаної сталі у 1 599 340 тис. т, більше половини (51 %) було виготовлено у вигляді довгомірного прокату. В структурі довгомірного прокату, як показано на рис. 1, переважають профілі простої форми: арматура, катанка, прутки (круг, шестигранник, стрічка). Стабільне нарощування обсягів виробництва довгомірного прокату спостерігалось протягом останніх двадцяти років і відбувалось переважно за рахунок введення у дію нових прокатних станів в Китаї, Індії, Туреччині та інших країнах. Лише починаючи з 2016 року суттєвого збільшення виробництва гарячекатаного прокату не відмічається через виведення з експлуатації станів з застарілим обладнанням та технологією.

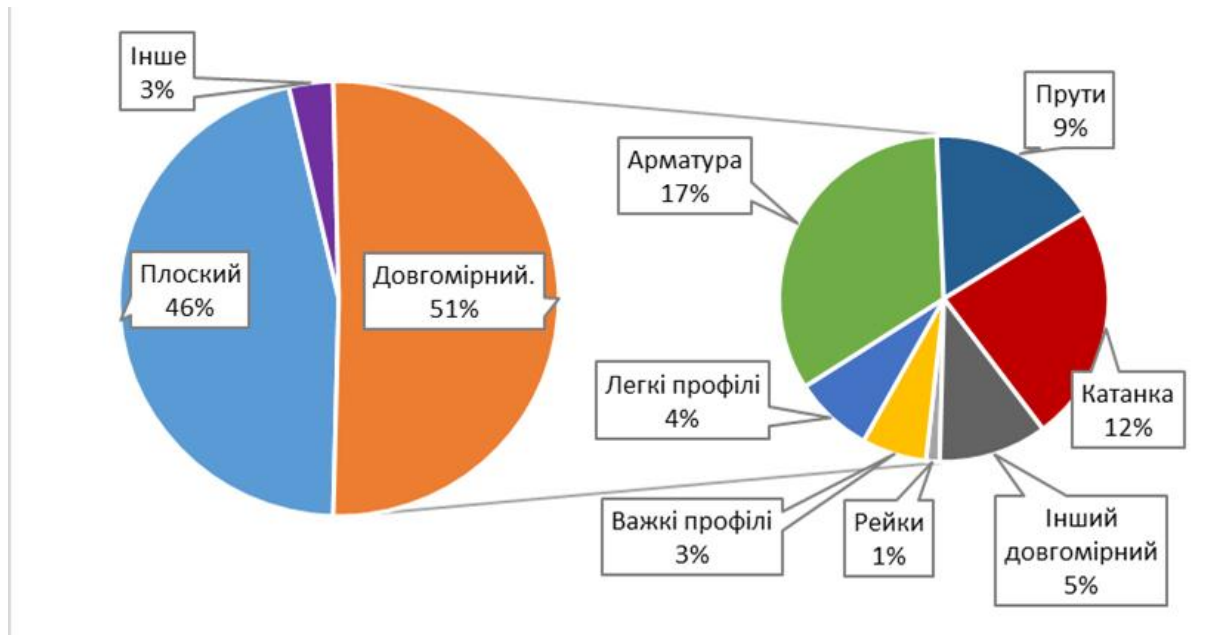


Рисунок 1 – Розподіл гарячекатаного прокату за видами у 2015 році [1]

Отже, зважаючи на значну потребу у довгомірному прокаті, задача удосконалення конструкцій робочих клітей станів з виготовлення цього виду прокату є досить актуальною. Тому провідні виробники прокатного і металургійного обладнання приділяють значну увагу і спрямовують значні ресурси на удосконалення конструкцій і впровадження нових технічних рішень для клітей станів довгомірного прокату.

З аналізу складу обладнання станів введених у дію за останні два десятиріччя видно, що на більшості цих станів використовують переважно безстанинні робочі кліті [2, 3]. Крім безстанинних клітей є приклади застосування консольних [4, 5], клітей за концепцією ядра [6], касетного типу [7] та інших, але робочі кліті традиційної станинної конструкції практично не застосовують. Які ж конструктивні особливості нових клітей обумовили таке радикальне технічне переоснащення станів довгомірного прокату?

Постановка задачі. Метою роботи є аналіз конструктивних особливостей робочих клітей сучасних станів довгомірного прокату та тенденцій їх розвитку на основі ретроспективного огляду відомих конструкцій.

Результати роботи. Загальноприйнятим вважається, що прокатування профілів започатковане Генрі Кортом у кінці 18-го сторіччя. Виготовлена 1790 року, за патентом Корта 1783 року, кліть прокатного стану мала колони діаметром 101,6 мм, які через клини та гвинтове з'єднання стягували поперечини з закріпленими в них підшипниками. Валки діаметром 152,4 мм (6") розміщувались в кліті з використанням бронзових підшипників та дерев'яних брусків (рис. 2) [8]. Незважаючи на недосконалість конструкції така кліть забезпечувала продуктивність виготовлення профілів у двадцять разів більшу ніж на молотах.

На той час були відомі і інші конструкції клітей, але значимість технічних рішень Г. Корта найбільш вдало охарактеризував Вільям Робертс, зауваживши, що він «...був не першим, хто використав валки з калібрами, але він був першим, хто комплексно використав найкращі досягнення різних виробників сталі та способів профілювання відомих на той час. Вже один цей факт виправдовує термін «батько сучасного прокатування», який застосовують до нього сучасні автори» [9].

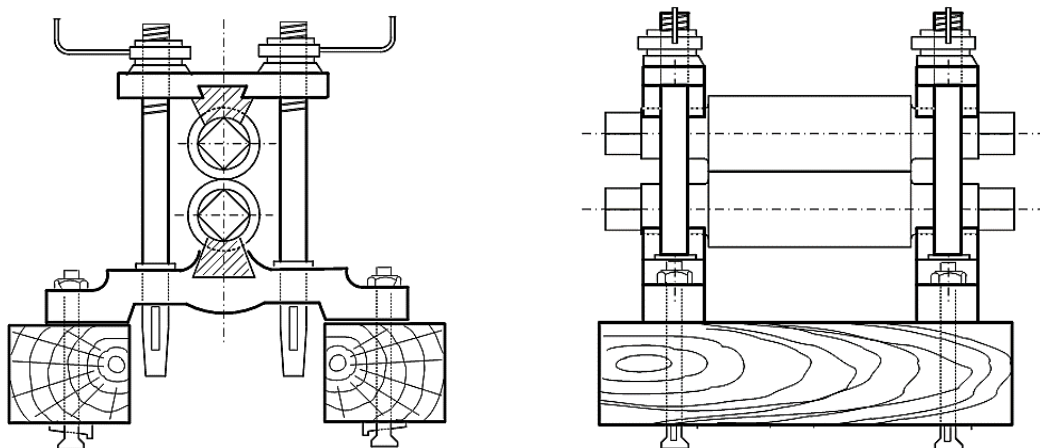


Рисунок 2 – Схема робочої кліті запропонованої Г. Корта [8]

Робоча кліть Г. Корта, наочний приклад створення спеціалізованого обладнання під певний вид прокату. Тобто, особливості технології виготовлення профілів обумовили відповідні зміни конструкції поширених на той час станів розрізного типу і створення окремого типу прокатного обладнання. Серед таких характерних особливостей технології прокатування профілів слід виділити:

- значно менші, у порівнянні з станами для плоских виробів, сили прокатування;
- широкий діапазон зміни діаметрів валків та зазорів між ними;
- потреба замінювати валки через порівняно короткі проміжки часу;
- потреба утримувати розкат у певному положенні, що вимагає застосування відповідних направляючих (арматури) на вході та виході з калібру кліті.

В результаті пошуку і закріплення найбільш вдалих технічних рішень на початок 19-го сторіччя була створена конструкція робочої кліті, яку називають класичною (рис. 3). Саме з застосуванням таких клітей у складі лінійних станів було освоєно виготовлення: кутових профілів (1819); залізничних рейок та таврових профілів (1825); катанки (1839); двотаврових балок (1849) [8].

У порівнянні з кліттю Корта, характерними відмінностями класичної робочої кліті, стали такі конструктивні рішення:

- станина відкритого типу (для зменшення тривалості і спрощення перевалки);
- застосування двох натискних механізмів (верхній гвинтовий, нижній – клиновий), що забезпечує постійність лінії прокатування;
- застосування масивних підшипникових вузлів (подушок), що дозволяло надійно фіксувати валки;
- пружинне врівноважування верхнього валка;
- механізм осьового регулювання валків.

Наведений перелік технічних рішень у повній мірі відповідав функціональному призначенню клітей, тобто з достатньою ефективністю забезпечував виготовлення прокату потрібної якості.

Такі кліті використовували понад сторіччя. Навіть подальша спеціалізація станів з виділенням заготовочних, крупносортих, дрібносортих, дротових, не призвела до суттєвих змін конструкції клітей.

Удосконалення другої половини 20-го сторіччя стосувались переходу від підшипників ковзання до підшипників кочення, застосування нижніх гвинтових механізмів, застосування електричного приводу натискних механізмів та ін., але конструкція клітей залишалась «класичною».

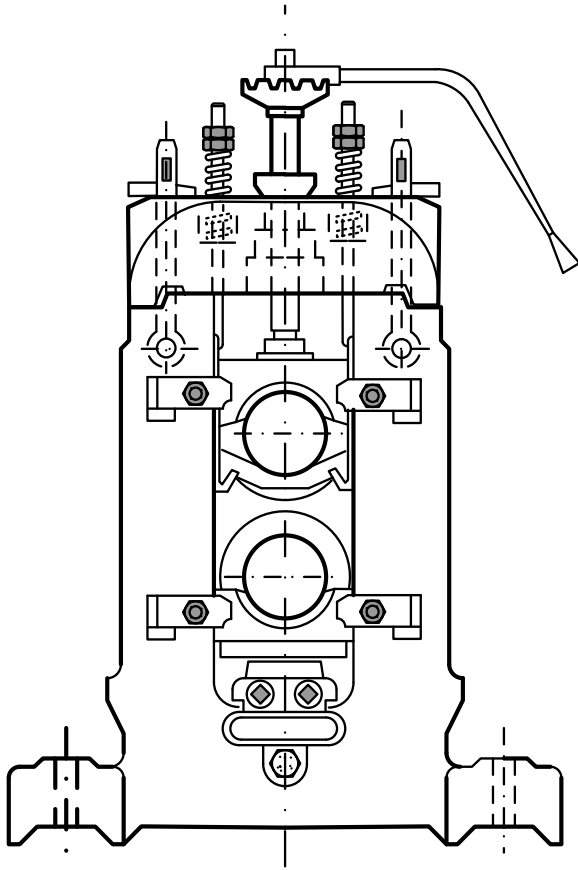


Рисунок 3 – Схема класичної робочої кліті стану для прокатування профілів [8]

На кінець двадцятого сторіччя виникла потреба поліпшення якості прокату, як за геометричними показниками, так і за механічними і технологічними властивостями. Крім цього, зважаючи на зростаючі обсяги виготовлення прокату, виникла потреба удосконалення конструкцій робочих клітей з метою забезпеченням технологічності виготовлення та максимальної уніфікації вузлів і деталей. Всім цим вимогам у повній мірі відповідали безстанинні кліті.

Розробка безстанинних робочих клітей почалась з технічних рішень Еріка Норлінда, захищених патентами 1950 року [10]. Тривалий час запропоновані конструкції виготовлялись лише шведською фірмою Morgardshammar і мали обмежене застосування, навіть з врахуванням суттєвого удосконалення середини 70-х років [11]. Починаючи з 90-х років минулого сторіччя безстанинні кліті, з вищенаведених причин, стали успішно конкурувати з класичними і набули широкого розповсюдження. Нині безстанинні кліті виготовляють провідні виробники прокатного обладнання в Європі (Danieli-Morgardshammar, Siemens-VAI, SMS-Meer, MWE), Азії (Китай, Індія, Туреччина).

Сучасні безстанинні кліті називають клітьми п'ятого покоління. Розглянемо основні особливості їх конструкцій на прикладі безстанинних клітей SHS (Star Housingless Stand) консорціуму Danieli-Morgardshammar (рис. 4) [12].

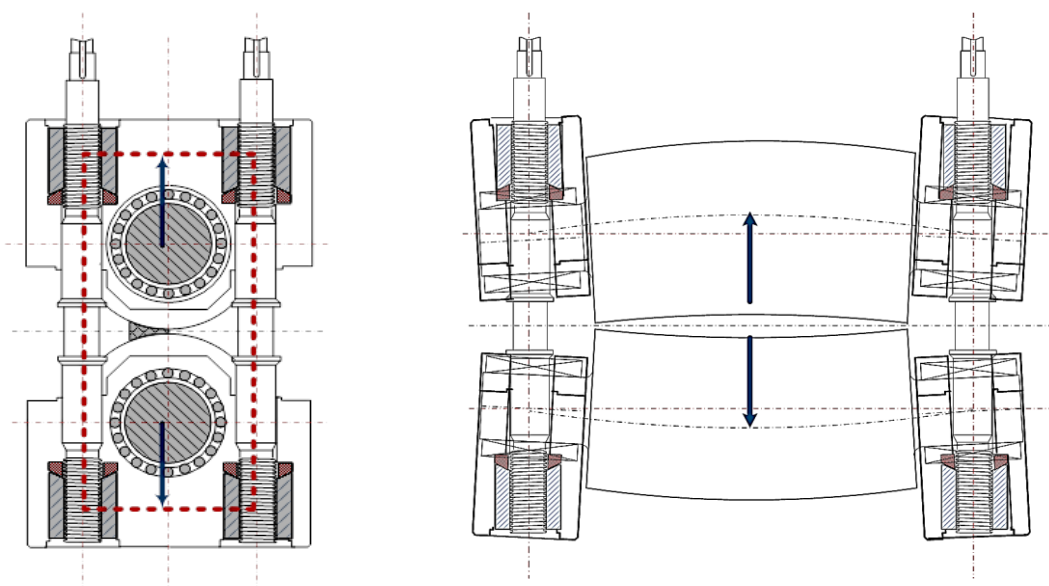


Рисунок 4 – Схема будови безстанинної робочої кліті SHS [12]

В клітках SHS сила прокатування передається від підшипникових вузлів на опорну поверхню гайки і, через різьбу, на стяжні гвинти, які і замикають силовий контур. На відміну від клітей класичної конструкції, для яких основним силовим елементом слугує станина, для безстанинних клітей такими елементами є стяжні гвинти, які ще називають різьбовими валами. При цьому гайки і різьбові вали розміщено в межах габаритів подушок. Завдяки тому, що розміри елементів, які утворюють силовий контур, значно менші, ніж розміри станини, пропорційно зменшуються пружні деформації. Тому така безстанинна компоновка кліті дозволяє збільшити жорсткість за одночасного зменшення маси.

Кожен різьбовий вал має ділянки з різнонаправленою різьбою, тому при обертанні валів подушки з валками синхронного зводяться або розводяться, змінюючи зазор між валками за незмінного рівня прокатування.

Різьбові вали з кожного боку кліті утримують верхню і нижню подушку. Для утворення кліті, як єдиного цілого, різьбові вали в середній частині закріплюють у стійках. Відповідно стійки з'єднують у нижній частині привалковим брусом, а і верхній – горизонтальною тягою. Сукупність валків з подушками, з'єднаних різьбовими валами, та стійок з брусами, утворює так звану касету. Касета, через приливи розміщені на стійках, закріплюється чотирма гвинтами на піддоні. Отже робочу кліть утворюють піддон з закріпленою на ньому касетою.

До особливостей конструкції безстанинних клітей відноситься також відмінний принцип роботи механізму регулювання зазору. В клітках класичної конструкції функцію регулювання зазору виконував натискний механізм, що переважно складався з гвинта та гайки, які працювали на стиснення. В безстанинних клітках при передачі сили прокатування гайки так само працюють на стиснення, а різьбові вали касети працюють на розтягування. Тому використання загальноприйнятого терміну «натискний гвинт» для цього елемента конструкції є неприйнятним. За функціональним призначенням більш точним буде використання терміну «різьбовий вал механізму регулювання зазору».

Важливою особливістю конструкції кліті, і зокрема механізму регулювання зазору, є забезпечення компенсації прогину осей валків за рахунок повороту натискних гайок у межах габаритів подушок. Для цього передача сили прокатування від подушок на гайки здійснюється через сферичну поверхню. При прогинанні валків подушки повертаються на певний кут, а на різьбові вали навантаження від прогину не передається. Для клітей класичної конструкції компенсація прогину здійснювалась за рахунок повороту подушок у вікні станини.

Слід також зауважити, що безстанинна компоновка клітей станів довгомірного прокату з застосування чотирьох різьбових валів дивним чином повторює компоновку кліті Корта. Через понад 200 років, за законами діалектики, виробники обладнання повернулись до початкової конструкції, але на якісно іншому рівні машинобудування.

Реалізація безстанинної компоновки клітей стала можливою завдяки суттєвому удосконаленню конструкції підшипникових вузлів. Компактність підшипникових вузлів (подушок) досягнута за рахунок розділення функцій сприйняття радіальних та осьових навантажень. Для радіальних навантажень, тобто основної складової сили прокатування, використовують чотирирядні роликові підшипники кочення. Функцію осьової фіксації валків виконують упорні роликові підшипники двосторонньої дії, які розміщено з непривідного боку валків. Зрозуміло, що такі конструктивні рішення стали можливими лише завдяки створенню підшипників кочення з поліпшеними характеристиками.

Таке виконання підшипникових вузлів призвело до радикальної зміни механізму осьового регулювання. Головна особливість конструкції цього механізму - розміщення в лише в одному з підшипникових вузлів. У більшості випадків механізм осьового регулювання розміщують на подушці верхнього валка з непривідного боку. Тобто, осьове

регулювання здійснюється переміщенням верхнього валка, а нижній знаходиться у фіксованому положенні. Конструктивно механізм виконано як черв'ячна або гвинтова передача, яка забезпечує переміщення валка з підшипниками відносно фланцевого елемента закріпленого на подушці. Можливості такого переміщення обмежуються можливостями зміщення підшипникових вузлів відносно подушки, тому це незначні відстані у межах кількох міліметрів.

Ще однією конструктивною особливістю, обумовленою безстанинною компоновкою клітей, є оригінальне вирішення врівноважування валків. Для клітей SHS застосовують пружинне врівноважування з використанням тарілчастих пружин. При цьому, сила, створювана стисненими пружинами, передається від опорних гайок, розміщених на обох кінцях різбових валів, на фланцеві елементи, закріплені на подушках. Під дією цієї сили забезпечується вибирання зазорів між опорною поверхнею подушки, сферичним упорним підшипником, гайкою механізму регулювання та в різьбі гайки і різбового валу. Такі пружинні механізми розміщені на кожному кінці різбових валів, тобто вони діють, як для верхнього, так і для нижнього валка. Очевидно, що сила, створювана цими пристроями, перевищує силу, необхідну для врівноважування верхнього валка. Зважаючи на ці особливості, основним функціональним призначенням цих пристроїв є усунення зазорів між деталями, які передають силу прокатування. Врівноважування верхнього валка здійснюється як додаткова опція. Тому термін «механізм врівноважування» є актуальним лише для клітей класичної конструкції. Для безстанинних клітей використовують термін «механізм балансування», який більш точно відповідає функціональному призначенню.

Крім наведених конструктивних особливостей безстанинні кліті касетного типу забезпечують зменшення витрат на промислові будівлі (менше маса обладнання, постійна лінія прокатування), зменшення простоїв при перевалках та інші переваги.

Завдяки сукупності техніко-економічних переваг при виготовленні та використанні безстанинних клітей, вони набули широкого розповсюдження при виготовленні довгомірного прокату. Зокрема, на 2013 рік тільки консорціум Danieli-Morgardshammar виготовив понад 8000 таких клітей [5], які встановлено на більш як 500 прокатних станах для профілів та катанки [13]. Враховуючи виготовлення і застосування таких клітей багатьма іншими виробниками прокатного обладнання, можна стверджувати, що безстанинні кліті є базовими для станів довгомірного прокату.

Крім досить поширених безстанинних клітей, для виготовленні довгомірної продукції також використовуються консольні кліті, тобто пристрої з консольним розташуванням валків. Активна розробка і впровадження таких клітей розпочалась у 70-і роки минулого сторіччя виходячи з потреб забезпечення ефективних технологій прокатування катанки. Високошвидкісні блоки таких клітей, які налічують від 4 до 10 однотипних модулів з валками діаметром 170–230 мм, дозволили забезпечити виготовлення катанки діаметром від 4,5 до 16 мм з прийнятною продуктивністю і необхідними показниками якості. З особливостей конструкції цих клітей, слід виділити: безредукторний привід; застосування підшипників ковзання для робочих валів; розміщення одного-двох калібрів на твердосплавних шайбах шириною від 60 до 90 мм; регулювання зазору ексцентриковими втулками (рис. 5). Завдяки сукупності цих особливостей, як вдалих технічних рішень, забезпечуються переваги консольних клітей: компактність та висока жорсткість.

Успішне використання консольних клітей при виготовленні катанки дозволило розширити сферу їх застосування. Консольні кліті, розроблені за аналогією з модулями блоків дровових станів, успішно застосовуються у складі чорнових, проміжних і чистових груп клітей станів довгомірного прокату (рис. 6). Діаметри валків сучасних консольних клітей охоплюють діапазон від 150 до 700 мм. Таке суттєве розширення сфери застосування консольних клітей стало можливим завдяки впровадженню нових валкових матеріалів і розробці технології виготовлення твердосплавних валків великого діаметру.

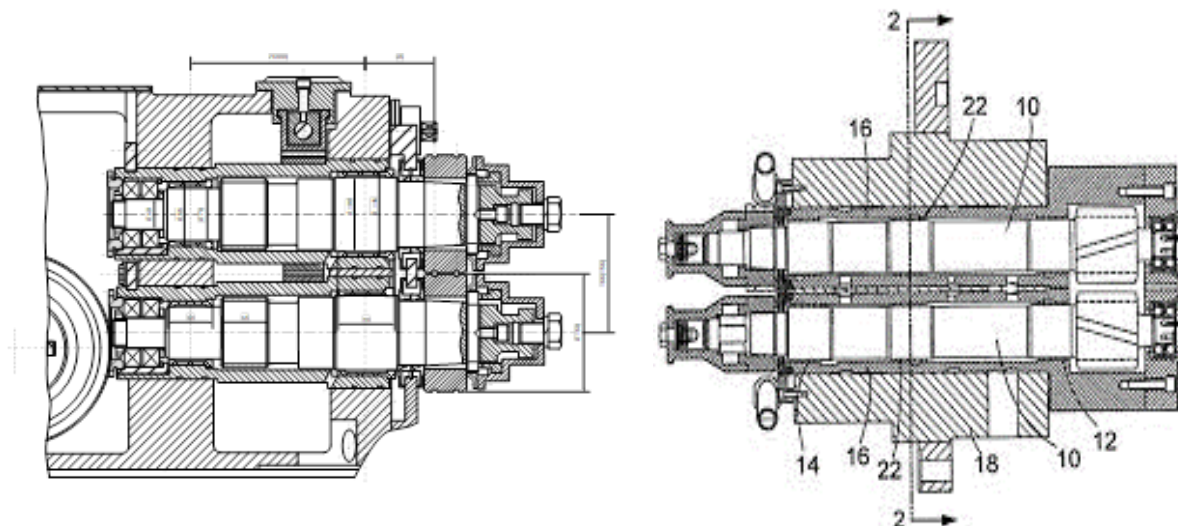


Рисунок 5 – Схема будови консольних клітей високошвидкісних блоків катанки [14, 15]

З наведеного видно, що консольні кліті стали альтернативою безстанинним клітям і успішно конкурують з ними. Найбільш ефективно застосування консольних клітей при виготовленні профілів простої форми та арматури.



Рисунок 6 – Чорнова група клітей з консольними валками конструкції SMS-Meer [16]

Але пошук більш ефективних конструкцій клітей продовжується і виробники обладнання пропонують нові технічні рішення відповідно до потреб металургійних підприємств.

Наприклад, італійська фірма PERT пропонує вже другу генерацію клітей під назвою «двоопорні кліті» (Bi Support Stand) [17]. Головна відмінність конструкції цих клітей – використання монолітних станин. Тобто, підшипникові вузли верхнього і нижнього валків, з кожного боку валків, розміщують в одному корпусі (рис. 7). Регулювання зазору між валками здійснюється ексцентриковими втулками, в яких змонтовано багаторядні роликові підшипники. Для регулювання зазору застосовано подвійну черв'ячну передачу та привід від гідромотору. Переваги таких клітей в збільшенні жорсткості за більш компактною конструкцією. До недоліків відноситься обмежений діапазон зміни зазорів між валками.

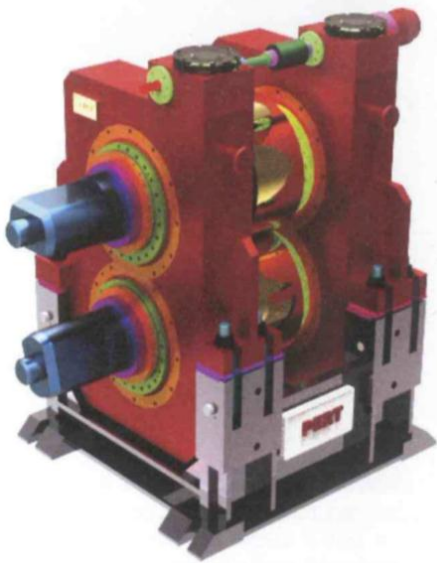


Рисунок 7 – Станинна компоновка кліті фірми PERT [17]

Пропонована конструкція також є прикладом повернення до класичної станинної компоновки клітей, але на якісно іншому рівні.

Крім наведених конструкцій для забезпечення точності довгомірного прокату застосовують тривалкові та чотиривалкові робочі кліті [18, 19]. Провідні виробники такого обладнання гарантують досягнення точності прокату на рівні 1/6 – 1/8 поля допусків за діючими стандартами. Але такі конструкції не мають широкого розповсюдження при виготовленні прокату загального призначення, тобто їх застосовують лише за достатнього економічного обґрунтування, наприклад, при виготовленні виробів з легованих марок сталі.

Крім конструктивних рішень ефективність застосування клітей забезпечується впровадження технічних рішень, які дозволяють зменшити простой при заміні валків. Наприклад, вбудовані системи перевалки клітьями, роботизовані стенди для перевалки.

Зокрема, на станах з виготовлення профілів (двотаврових балок, залізничних рейок) застосовують кліті за концепцією ядра. Такі кліті призначені для використання у складі тандемно-реверсивних груп, тому їх конструкція спеціально пристосована для мінімізації тривалості перевалок [6]. Для цього передбачена можливість осьового переміщення робочих клітей з лінії прокатування та швидке роз'єднання станин. Послідовність перевалки включає одночасне зміщення всіх трьох клітей групи з лінії прокатування до роз'єднання з шпинделями, фіксацію станини з привідного боку та подальше переміщення валкових вузлів з іншою станиною, після чого валкові вузли фіксуються в положенні перевалки, а станина непривідного боку відводиться у крайнє положення. Вільно розташовані валки з підшипниковими вузлами замінюються на новий комплект. Головною особливістю конструкції цих клітей є розміщення валків з підшипниковими вузлами в окремому контейнері (ядрі), який забезпечує їх фіксацію в робочому положенні і при перевалках. До інших особливостей конструкції клітей за концепцією ядра відноситься використання станин закритого типу та гідравлічних натискних механізмів.

Ефективність роботи клітей прокатних станів забезпечується також багаторівневими системами автоматичного регулювання технологічними параметрами і обслуговування клітей. Сучасні стани настільки насичені електронікою, що для них використовують термін «мехатронні системи».

З наведеного огляду видно, що основними тенденціями розвитку робочих клітей станів довгомірного прокату є значне різноманіття конструкції. Це дозволяє споживачам обирати найбільш ефективні варіанти для власних потреб і навіть розробляти спеціалізовані конструкції для певних видів прокату з врахуванням особливостей використовуваної технології.

Висновки. За понад двохсотрічну історію розвитку робочих клітей станів довгомірного прокату їх функціональна структура залишилась без змін. Але конструктивні рішення вузлів для виконання відповідних функцій набули значного різноманіття. Рівень розвитку машинобудування дозволяє створювати конструкції відповідно до вимог споживачів. В результаті створено досить широкий спектр конструкцій, які забезпечують не тільки реалізацію ефективних технологічних процесів прокатування, але й зменшення витрат при виготовленні обладнання, на промислові будівлі та при використанні цього обладнання.

Найбільш поширеним є використання безстанинних робочих клітей, які слід вважати базовими для станів довгомірного прокату.

Останніми роками досить широко впроваджуються кліті з консольним розташуванням валків.

Насиченість сучасних станів довгомірного прокату електронними системами автоматизації призводить до створення так званих «мехатронних систем».

ЛІТЕРАТУРА

1. Steel Statistical Yearbook 2017 / World Steel Association. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.worldsteel.org/en/dam/jcr:3e275c73-6f11-4e7f-a5d8-23d9bc5c508f/Steel+Statistical+Yearbook+2017.pdf>
2. Verlini G. Rod and bar rolling of special steels / Giacomo Verlini (Morgardshammar AB) // Millennium Steel. – 2008. – P. 143 – 147.
3. Red Ring stands / Simens-VAI. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.rayjacobs.com/wp-content/uploads/2015/12/Rolling-Red-ring-stands-en.pdf>.
4. Rolling of steel in a modern long product rolling mill / Satyendra. – 2017. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://ispatguru.com/rolling-of-steel-in-a-modern-long-product-rolling-mill/>
5. Redolfi N. Technology and achievements in wire rod production / N Redolfi, M Dorigo, A Taurino, A Mestroni // Millennium Steel. – 2013. – P. 95 – 102.
6. Pfeiler H. The new rail mill of Voestalpine Schienen / H. Pfeiler, N. Köck, J. Schröder, L. Maestrutti (Voestalpine Schienen GmbH and Danieli Morgårdshammar) // Millennium Steel. – 2004. – P. 193 – 197. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.millennium-steel.com/wp-content/uploads/articles/pdf/2004/pp193-197%20MS04.pdf>
7. Tomba M. New rolling stands for long products rolling mills / Matteo Tomba, Massimiliano Zuccato, Andrea Fontanini, Nicola Tomba : [Technical contribution to the 52° Seminário de Laminação – Processos e Produtos Laminados e Revestidos, part of the ABM Week, August 17th-21st, 2015, Rio de Janeiro, RJ, Brazil.]. – P. 324 – 330.
8. Бейнон Р.Е. Калибровка валков и расположение прокатных станов / Росс Е. Бейнон : [перевод с английского под ред. П.И.Полухина]. – М. : Metallurgizdat, 1960. – 204 с.
9. Roberts W. L. Cold rolling of steel (Manufacturing engineering and materials processing / 2) / William L. Roberts. – New York : Marcel Dekker, Inc., 1978. – 790 с. – Электронный ресурс: <http://books.google.com.ua>
10. US2500957 B21B 31/04 Roll bearing device / Norlindh Sven Erik Malte. – Priority date 1944-11-22. – Publ. 1950-03-21. – <https://patents.google.com/patent/US2500957>
11. Gedin H. Highly automated bar mill rolls specialty steel / Hans Gedin // Iron and Steel Engineer. – 1981. – № 7. – P. 51–55.
12. Клеть сортопрокатного стана / Danieli-Volga. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://danielivolga.ru/production/spare-parts>
13. Our Scorecard. Long Products / Danieli. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.danieli.com/en/worldwide/scorecard/long-product-mills.htm>
14. Королев А. А. Прокатные станы и оборудование прокатных цехов : [Атлас] / А. А. Королев. – М. : Metallurgiya, 1981. – 203 с.
15. Патент 2 260 490 (РФ) МПК⁷ В21В 31/00, 13/00 Валковая клеть прокатного стана (варианты) / Титас Д. Г. (US) – Морган Констракшн Компани (US). – Опубл. 20.09.2005, Бюл. № 26. – [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://www.freepatent.ru/images/patents/208/2260490/patent-2260490.pdf>

16. Bar and Wire Rod Mills/ Solution made by SMS group / SMS-group. – 2018. – 32 p. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: file:///C:/Users/volsa/Downloads/W3-311E_Bar_and_Wire_Rod_Mills.pdf
17. Zuccato M. The Bi Support Stand - An innovation for bar mills / M. Zuccato, M. Tomba // Steel Times international. – March 2011. – Vol 35. – № 2. – P. 26. – [Электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.pertengineering.com/download/Steel%20Times%20International.pdf>
18. Sakiyama S. Progress of Bar and Wire Rod Rolling Process, and Improvement of Basic Quality / Shohhei Sakiyama, Takeshi Nakajima, Atsushi Aoyama, Keisuke Saitoh, Masahiro Ishimaru // Nippon Steel & Sumitomo Metal : [Technical report]. – №. 111. – march 2016. – P. 50 – 58.
19. 214 – The New 4-Roll Primetals Technologies Sizing Mill: the Evolution of Bar Sizing / M. Langè, A. Nardini, P. Menei, R. Albè / Primetals Technologies Italy Srl. – 2015. – 7 p. – ESTAD_2015_Evolution_bar_.pdf

УДК 539.3/4

ЧИГИРИНСКИЙ В. В., д.т.н., профессор
ПУТНОКИ А. Ю., к.т.н., докторант
ДЫЯ Г., д.т.н., профессор
КНАПИНСКИЙ М., к.т.н., профессор

Днепропетровский государственный технический университет, г. Каменское, Украина
Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье, Украина
Ченстоховский технический университет, г. Ченстохов, Польша

ТЕОРЕТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ПЕРЕХОДНЫХ ПРОЦЕССОВ НЕПРЕРЫВНЫХ ШИРОКОПОЛОСНЫХ СТАНОВ

Введение. В период захвата металла валками в главной линии стана возникают крутильные колебания, которые оказывают воздействие, на выходящую из очага деформации, внешнюю часть полосы. При этом возникает взаимодействие колеблющихся валков и металла в очаге деформации, которые затем передаются через полосу к предыдущей клетке и т.д. Учет данного взаимодействия на динамические процессы в период захвата представляет не только теоретический, но и практический интерес. На рис.1 показаны изменения моментов сил упругости при взаимодействии клеток широкополосного стана в моменты захвата металла валками, [1].

Из рисунка видно, что при захвате металла в 6-ой клетке наблюдается всплеск затухающих колебаний привода 5-ой клетки, при захвате в 7-ой имеет место передача возбуждения через полосу к 6-ой и даже 5-той клетке. При этом характер затухания колебаний смежных клеток показывает, что основное влияние на их динамические характеристики оказывают параметры полосы, расположенной в межклетьевом промежутке.

Для анализа переходных процессов в главных линиях непрерывных станов, в межклетьевом интервале возникает необходимость учета затухания колебаний не только в главной линии стана, но и в прокатываемой полосе. Это требует физического и математического обоснования моделей переходных процессов непрерывных листовых станов.