Цей винахід відноситься до пристрою для калібрування багатовалкового рівняльника для вирівнювання металевої смуги.

Вирівнювання є обробною операцією, в цілому, виконувану після операцій термічної обробки або операцій прокатки. Мета зазначеної операції полягає у вирівнюванні металевого листа. Вирівнювання засноване на перетворенні геометричних дефектів на систему змінних залишкових деформацій в межах товщини за допомоги знакозмінних згинальних напружень. Це може виконуватися з допомогою багатовалкового рівняльника, який містить дві групи паралельних валків, розташованих так, що вони перекривають один одного, як показано на Фіг. 1. Коли лист проходить між зазначеними валками, він почергово деформується під час згинання в одному напрямку і потім в протилежному напрямку. Амплітуда згинання зменшується від входу рівняльника до виходу через зменшення перекривання валків в напрямку виходу рівняльника.

Дедалі жорсткіші допуски з погляду площинності і внутрішніх напружень зумовлюють дедалі суворіший контроль операцій вирівнювання і, тим самим, етапу калібрування рівняльників.

Для того щоб краще зрозуміти різні параметри регулювання, на Фіг. 1-3 показані основні компоненти багатовалкового рівняльника.

На Фіг. 1 показаний поздовжній переріз рівняльника 1, який містить групу нижніх валків 2, які підтримуються нижньою плитою 3, і групу верхніх валків 4, які підтримуються верхньою плитою 5. Під час операції вирівнювання металевий лист S рухається через рівняльник в напрямку, позначеному стрілкою F.

На Фіг. 2 зображені засоби для регулювання перекривання валків. Верхня плита 5 може нахилятися відносно нижньої плити 3, причому нижня плита вважається площиною відліку. Верхня плита підтримується на верхній рамі 6 з допомогою регулювальних вузлів (7a, 7b) типу гвинт-гайка з кутовим редуктором. Нахил верхньої плити 5 регулюється за допомоги регулювальних вузлів для зміни перекривання валків.

На Фіг. 3 показаний вид спереду рівняльника і його засобів для компенсації згинання валків під навантаженням від сил реакції під час вирівнювання смуги. Для компенсації згинання валків валки підтримуються за допомоги груп опорних валків, похилих елементів і роликів протитиску. Цей вузол встановлений в рамі, яка зветься касетою і поміщеною на групі похилих 8 елементів протитиску, розподілених у поперечному напрямку рівняльника. Крім того, вертикальне положення зазначених похилих елементів можна регулювати, наприклад, за допомоги регулювальних клинів 9.

Таким чином, калібрування рівняльника передбачає регулювання багатьох параметрів, таких як-от паралельність у поперечному напрямку верхніх і нижніх валків, яка може задаватися, наприклад, регулювальними вузлами гвинт-гайка або похилими елементами протитиску, перекривання валків на вході і на виході рівняльника шляхом нахилу плити, величини протитиску для компенсації згинання валків під навантаженням. Для ефективного калібрування рівняльника мають бути відомі значення величини люфту, пружності і згинання валків під час згинання.

Було спроектовано обладнання для легкого калібрування. Як показано на Фіг. 4, в документі US 7584638 наводиться опис жорсткої вимірювальної пластини, що містить екстензометри, які можуть бути встановлені між групами верхніх і нижніх валків для вимірювання пружних деформацій. Пластина 90 має порожнини 91 для правильного встановлення екстензометрів точно біля валків. Порожнини 91 відтворюють міжцентрову відстань між валками нижньої плити рівняльника. Екстензометри 92 прикріплені до верхньої частини пластини. Відповідно, зазначена калібрувальна пластина не має експлуатаційної гнучкості, оскільки вона спроектована для конкретного рівняльника і не може легко використовуватися для рівняльника, який має іншу конструкцію, наприклад, іншу міжцентрову відстань між валками нижньої плити. Крім того, екстензометри можуть бути пошкоджені під час калібрування.

Завдання цього винаходу полягає в тому, щоб вирішити зазначені проблеми. Зокрема, завдання цього винаходу полягає в тому, щоб точно і просто визначати ключові параметри, необхідні для виконання відтворюваного калібрування під навантаженням для будь-якого багатовалкового рівняльника без пошкодження засобів вимірювання, тобто, екстензометрів.

Зазначені завдання вирішуються з допомогою пристрою за пп. 1-8 формули винаходу. Інші характеристики і переваги стануть зрозумілими з наведеного нижче докладного опису винаходу.

Фіг. 1 - поздовжній переріз рівняльника;

Фіг. 2 - засоби для регулювання перекривання валків;

Фіг. 3 - вид спереду рівняльника і його засобів для компенсації згинання валків під навантаженням через сили реакції під час вирівнювання смуги;

Фіг. 4 - вимірювальна пластина, відома з існуючого рівня техніки;

Фіг. 5 і Фіг. 6 - калібрувальна пластина винаходу;

Фіг. 7 - схематичне зображення вимірювання з допомогою калібрувальної пластини винаходу;

Фіг. 8 - калібрувальна пластина за переважним варіантом виконання винаходу;

Фіг. 9 і Фіг. 10 - вимірювання деформації, яке виконується з допомогою калібрувальної пластини винаходу.

Цей винахід, як показано на Фіг. 5 і Фіг. 6, відноситься до калібрувальної пластини 10, що має нейтральну площину, для калібрування багатовалкового рівняльника для вирівнювання металевих смуг, яка

- має товщину 1,0-2,0 мм і границю плинності 1000-2000 МПа,
- містить
- першу канавку 11 на першій стороні 12, в яку з допомогою клею 14 закладене перше оптичне волокно 13,
- другу канавку 15 на протилежній другій стороні 16 по відношенню до зазначеної першої сторони 12, в яку з допомогою клею 18 закладене друге оптичне волокно 17,
- зазначене перше оптичне волокно 13 і зазначене друге оптичне волокно 17 містять волоконну бреггівську ґратку і, по суті, є паралельними,
- зазначене перше оптичне волокно і зазначене друге оптичне волокно розташовані на тій самій відстані від зазначеної нейтральної площини N,
- зазначене перше закладене оптичне волокно 13 і зазначене друге закладене оптичне волокно 17 виконані так, що вони можуть бути з'єднані з оптичним з'єднувачем, і вони мають достатню довжину, щоб перекривати всі валки зазначеного багатовалкового рівняльника.

Зазначене поєднання товщини і границі плинності вибирається так, щоб калібрування приводило до напружень калібрувальної пластини, які знаходяться тільки в межах зони пружності. Таке поєднання також дозволяє витримувати різні рівні зусилля машини, яка використовуються для вирівнювання виробів, без досягнення пластичної деформації.

Зазначена товщина 1,0-2,0 мм дозволяє формувати канавку, в яку може бути закладене оптичне волокно.

Переважно, границя плинності становить 1400-1600 МПа.

Калібрувальна пластина виготовляється з металу або металевого сплаву і переважно зі сталі. Більш переважно калібрувальна пластина виконується з нержавіючої сталі.

Нейтральна площина є площиною, в якій протягом всього згинання відсутні поздовжні напруження або деформація.

Переважно, калібрувальна пластина має чотирикутний, прямокутний або квадратний переріз. В цьому випадку, як показано на Фіг. 6, за відсутності прикладеного розтягування нейтральна площина знаходиться на половині товщини.

В контексті цього винаходу слід розуміти, що канавка є вузьким поглибленням. Зазначена канавка може мати будь-який профіль і форму за умови, що в неї може бути закладене оптичне волокно. Переважно, канавки мають чотирикутний, прямокутний або квадратний переріз.

Клей є переважно клеєм на епоксидній основі.

Оптичні волокна виконані так, що з ними може бути з'єднаний оптичний з'єднувач. Це може бути зроблено з допомогою кожуха.

Оптичні волокна мають довжину, яка дозволяє їм проходити вздовж всіх валків зазначеного багатовалкового рівняльника. Таким чином, калібрувальна пластина має досить довгі канавки, щоб вони перекривали всі валки зазначеного багатовалкового рівняльника.

Принцип, який лежить в основі вимірювання для калібрування багатовалкового рівняльника, ґрунтується на френелівському відбитті. Він описує відображення і передачу падаючого світла на поверхню границі розділу між двома різними оптичними середовищами. В цьому винаході границі розділу утворені з допомогою волоконної бреггівської ґратки.

У зв'язку з цим частка відбитого світла у відсотках змінюється як функція довжини хвилі. Зазначена частка у відсотках є максимальною при бреггівській довжині хвилі, яка дорівнює λ_B. бреггівській довжині хвилі, яка залежить від деформації і температури.

Бреггівська довжина хвилі λ_B зсувається при зміні температури і/або деформації. Зазначений зсув $\Delta\lambda_B$ бреггівської довжини хвилі приблизно обчислюється за формулою (1):

$$\Delta\lambda_B = \lambda_B[C_S \cdot \varepsilon + C_T \cdot \Delta T] \quad (1)$$

Де λ_B - бреггівська довжина хвилі, C_S - коефіцієнт деформації, ε - прикладена деформація, C_T - температурний коефіцієнт і ΔT - зміна температури.

Відповідно, деформація калібрувальної пластини може вимірюватися шляхом зняття показань від калібрувальної пластини, використовуючи оптичну частотну рефлектометрію (OFDR).

Для використання згаданого способу, проілюстрованого на Фіг. 7, потрібні перестроювальне джерело 20 лазерного випромінювання, оптичні з'єднувачі 21, оптичний пристрій 22, здатний створювати еталонну траєкторію (наприклад, широкосмуговий відбивач), випробувальний пристрій (наприклад, калібрувальна пластина) і оптичний інтерферометр 23.

Спосіб включає такі етапи: перестроювальне джерело 20 лазерного випромінювання випромінює світло. Оптичний з'єднувач 21 розділяє світло між двома траєкторіями: вимірювальною траєкторією (тобто калібрувальною пластиною) і еталонною траєкторією. Далі світлові промені (тобто сигнали) від

вимірювальної траєкторії і від еталонної траєкторії знову з'єднуються за допомогою оптичного з'єднувача 21 і прямують в оптичний інтерферометр 23.

Як відомо фахівцям в цій галузі в оптичному інтерферометрі Фур'є-перетворення світлового сигналу дозволяє одержати фазу і амплітуду сигналу як функцію довжини вздовж датчика. Шляхом порівняння сигналів від вимірювальної траєкторії і еталонної траєкторії одержують величину деформації.

У разі цього винаходу на початку етапу калібрування калібрувальну пластину поміщають між верхніми і нижніми валками багатовалкового рівняльника, при цьому зазначені верхні і нижні валки не перекриваються. Потім виконують перекривання верхніх і нижніх валків, що зумовлює деформацію калібрувальної пластини і викликає деформацію закладених оптичних волокон і волоконної бреггівської ґратки. Зазначена деформація волоконної бреггівської ґратки зумовлює зсув бреггівської довжини хвилі для кожного відбивача зазначеної ґратки.

Однак, як пояснюється вище, на бреггівську довжину хвилі також впливає зміна температури, що негативно впливає на етап калібрування, коли необхідно вимірювати лише деформацію, якій піддається кожен відбивач (відбивач, розташований з боку валків).

Для вирішення проблеми вимірювання зміни температури і деформації, а не лише деформації, калібрувальна пластина містить оптичне волокно з обох сторін (наприклад, з кожної сторони нейтральної площини) на однаковій відстані від нейтральної площини. Таке компонування дозволяє мати один відбивач в стислому стані, а інший відбивач у розтягнутому стані, що дозволяє виміряти деформацію.

Наприклад, під час калібрування відбивач першого оптичного волокна, розташований з боку другого валка, стискається з невідомою деформацією $\varepsilon_{COMPRESSION}$, тоді як відбивач другого оптичного волокна, розташований з боку другого валка, розтягується з невідомою деформацією $\varepsilon_{EXTENSION}$. Обидва відбивачі зазнають однакової зміни температури ΔT. Інтерферометр вимірює зсув бреггівської довжини хвилі для обох відбивачів (тобто границі розділу), який виражається формулами 2.1 і 2.2.

$$\Delta\lambda_{B1} = \lambda_B[C_S \cdot \varepsilon_{COMPRESSION} + C_T \cdot \Delta T] \quad (2.1)$$

$$\Delta\lambda_{B2} = \lambda_B[C_S \cdot \varepsilon_{EXTENSION} + C_T \cdot \Delta T] \quad (2.2)$$

Є можливість усунення впливу температури, комбінуючи виміряні $\Delta\lambda_{B1}$ і $\Delta\lambda_{B2}$ шляхом віднімання одного значення від іншого, як виражено формулою 3, що дозволяє знаходити зсув бреггівської довжини хвилі через деформацію.

$$\Delta\lambda_{B1} - \Delta\lambda_{B2} = \lambda_B C_S[\varepsilon_{COMPRESSION} - \varepsilon_{EXTENSION}] \quad (3)$$

Оскільки обидва оптичні волокна розташовані на рівній відстані від нейтральної площини, величина деформації при стисканні є протилежною величиною по відношенню до величини деформації на розтяг, тобто $\varepsilon_{COMPRESSION} = - \varepsilon_{EXTENSION}$, що дозволяє знаходити деформацію за формулою 4:

$$\frac{\Delta\lambda_{B1} - \Delta\lambda_{B2}}{\lambda_B \times C_S \times 2} = \varepsilon_{COMPRESSION} \quad (4)$$

Переважно, зазначена перша канавка і друга канавка мають глибину 150-400 мкм. Вважається, що оптичне волокно має діаметр 50-125 мкм. Таким чином, зазначений діапазон глибини канавки дозволяє розміщувати оптичне волокно всередині зазначеної канавки на 25-350 мкм нижче поверхні на зазначеній стороні.

Це дозволяє закладати оптичне волокно глибше зовнішньої поверхні пластини, тому оптичне волокно не виступає із зазначеної зовнішньої поверхні і, таким чином, виключається прямий контакт з валками рівняльника. Крім того, оптичне волокно знаходиться на деякій відстані від нейтральної площини, коли калібрувальна пластина розтягується.

Переважно, зазначена перша канавка і зазначена друга канавка, по суті, є прямими, і зазначене перше оптичне волокно 13 і друге зазначене оптичне волокно 17, по суті, є прямими.

Переважно, зазначене перше оптичне волокно і зазначене друге оптичне волокно містять однорідну волоконну бреггівську ґратку. Наприклад, оптичне волокно має однорідну волоконну бреггівську ґратку, в якій відбивачі розташовані один від одного на відстані 1,6 мм.

Переважно, зазначене перше оптичне волокно і друге оптичне волокно є одномодовими оптичними волокнами. Оптичне волокно зазначеного типу дозволяє підвищити точність вимірювань, оскільки воно забезпечує більш чисту спектральну характеристику.

Більш переважно, зазначене перше оптичне волокно і друге оптичне волокно є одномодовими оптичними волокнами, здатними функціонувати в діапазоні 1500-1600 нм.

Перше і друге оптичні волокна можуть розглядатися як перша пара оптичних волокон. Калібрувальна пластина може містити декілька пар оптичних волокон і відповідних канавок і клею. Наприклад, як показано на Фіг. 8, зазначена калібрувальна пластина містить

- третю канавку 110 на зазначеній першій стороні 12, в яку з допомогою клею 140 закладене третє оптичне волокно 130,

- четверту канавку 150 на зазначеній протилежній другій стороні 16 по відношенню до зазначеної першої сторони 12, в яку за допомогою клею 180 закладене четверте оптичне волокно 170,

- при цьому калібрувальна пластина виконана так, що зазначене перше оптичне волокно, зазначене друге оптичне волокно, зазначене третє оптичне волокно і зазначене четверте оптичне волокно є паралельними і розташовані на тій самій відстані від зазначеної нейтральної площини N,

- зазначене третє оптичне волокно і зазначене четверте оптичне волокно виконані так, що вони можуть бути з'єднані з оптичним з'єднувачем і мають достатню довжину, щоб перекривати всі валки зазначеного багатовалкового рівняльника.

Переважно, калібрувальна пластина містить пару оптичних волокон для кожного з похилих елементів протитиску калібрувального багатовалкового рівня.

Експериментальне випробування

Для наочного підтвердження того, що заявлена калібрувальна пластина є зручною у використанні і вона не потребує модифікації для кожного рівняльника, були виконані калібрування двох різних багатовалкових рівняльників з допомогою калібрувальної пластини, показаної на Фіг. 6.

Калібрувальна пластина, використана для цього експерименту, є калібрувальною пластиною 1,8 мм завтовшки, довжиною 800 мм з границею плинності 1400 МПа і виконаною з нержавіючої сталі.

Калібрувальна пластина містить

- першу канавку, що має глибину 200 мкм на першій стороні, в яку на дні канавки за допомогою клею на епоксидній основі закладене одномодове оптичне волокно, яке містить бреггівську ґратку,

- другу канавку, що має глибину 200 мкм на другій стороні, в якій на дні канавки за допомогою клею на епоксидній основі закладене одномодове оптичне волокно, яке містить бреггівську ґратку.

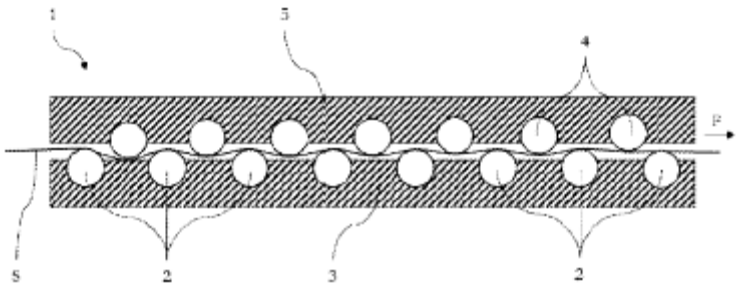
Оптичні волокна є, по суті, паралельними і з'єднані з оптичним з'єднувачем.

Перший багатовалковий рівняльник містить 19 робочих валків (10 верхніх валків і 9 нижніх валків), які мають діаметр 22 мм, у той час як другий багатовалковий рівняльник містить 17 робочих валків (9 верхніх валків і 8 нижніх валків), які мають діаметр 61,91 мм.

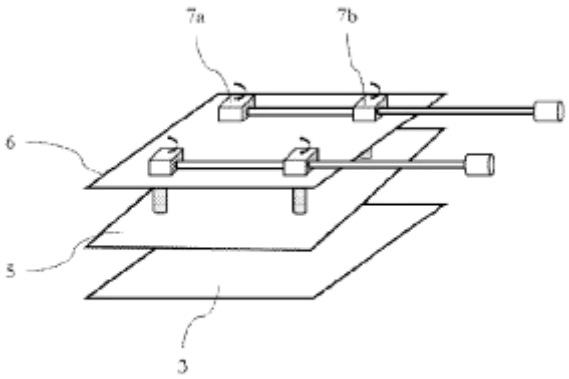
Для калібрування багатовалкових рівнів калібрувальна пластина позиціонується в напрямку руху смуги по центру ширини рівняльника на нижніх робочих валках. Далі верхні робочі валки опускаються доки, поки вони не прийдуть в контакт з калібрувальною пластиною. Виміряні деформації нанесені на графік на Фіг. 9 для першого рівняльника і на Фіг. 10 для другого рівняльника. Кожна з пікових величин представляє деформацію калібрувальної пластини для кожного з валків від другого валка до передостаннього валка кожного рівняльника.

Зрештою, вимірювання були використані для калібрування рівняльника, який є відомим з існуючого рівня техніки.

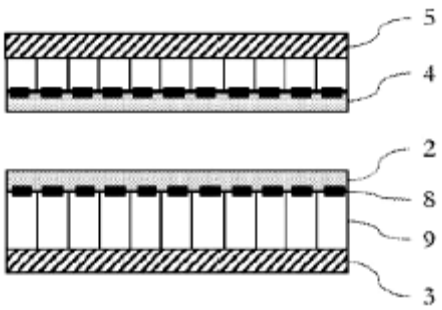
Відповідно, заявлена калібрувальна пластина дозволяє в розглядуваній галузі техніки легко і точно виконувати калібрування багатовалкового рівняльника без пошкодження вимірювальних засобів, тобто оптичного волокна.



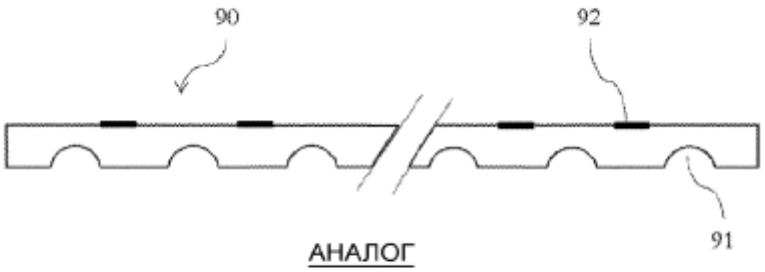
Фіг. 1



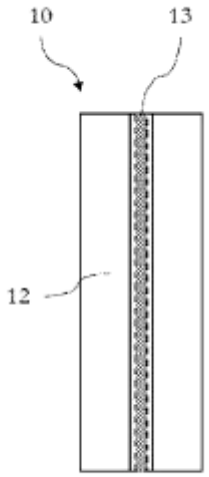
Фіг. 2



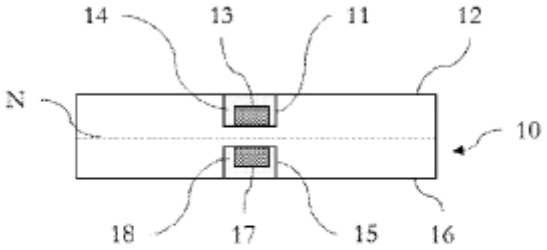
Фіг. 3



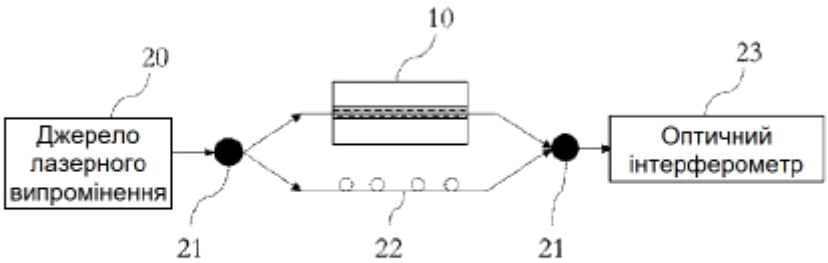
Фіг. 4



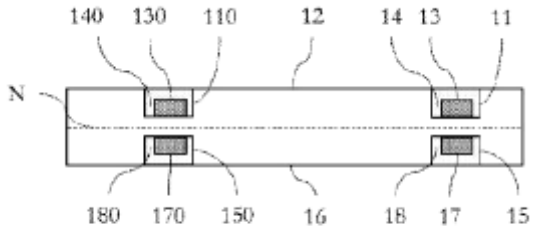
Фіг. 5



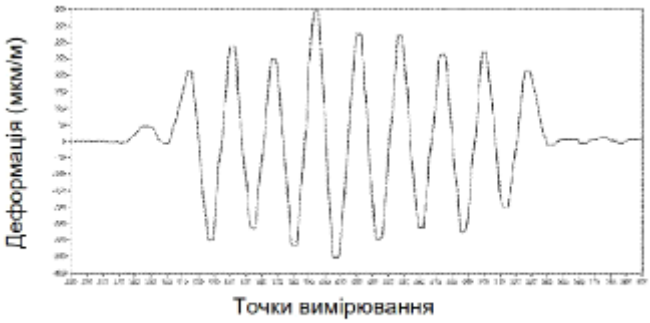
Фіг. 6



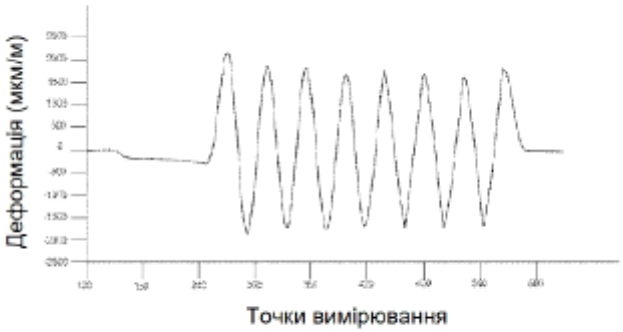
Фіг. 7



Фіг. 8


Деформація (мкм/м)
Точки вимірювання

Фіг. 9


Деформація (мкм/м)
Точки вимірювання

Фіг. 10