

Даний винахід належить до проявлення структури монокристалічних суперсплавів.

Широко відоме використання жаростійких металічних сплавів, й зокрема, монокристалічних суперсплавів, для виготовлення виробів, які у процесі експлуатації піддаються дії підвищених температур. Це особливо стосується деталей газових турбін, таких як нерегульовані й регульовані лопатки турбореактивних двигунів.

Вироби із монокристалічного суперсплаву, такі як згадані лопатки, виготовляють литтям з контролем процесу затвердіння.

Контроль одержуваних у ливарному виробництві виробів необхідний для виявлення випадкових дефектів, таких як включення або тріщини, які можуть впливати на механічну міцність виробів при експлуатації.

Для здійснення такого контролю відомий спосіб макрографічного травлення поверхні виробів у кислій ванні. Ванна, яка використовується в даний час, являє собою ванну, яка містить іони хлориду, зокрема, ванну, яка містить соляну кислоту й перхлорид заліза у водному розчині.

Заявником встановлено, що обробка за допомогою цієї ванни втрачає свою ефективність стосовно до визначених типів суперсплавів, особливо суперсплавів на основі нікелю, які містять такі елементи як реній або рутеній. Проте використання таких суперсплавів може виявитися необхідним для того, щоб можна було збільшити допустимі експлуатаційні температури й підвищити кпд турбореактивних двигунів.

Задача, на розв'язання якої направлений даний винахід, заключається у створенні способу проявлення структури, який дозволяє проводити більш простий й ефективний контроль виробів із суперсплавів, включаючи суперсплави, які містять такі елементи як реній та рутеній.

У відповідності до винаходу розв'язання поставленої задачі досягається за рахунок створення способу, який містить етап макрографічного травлення, що супроводжується відповідно до винаходу етапом "відбілювання" за допомогою електролітичного травлення за допомогою ванни, яка містить принаймні фосфорну кислоту й слабу кислоту.

Слабу кислоту вибирають, наприклад, із уксусної кислоти, винної кислоти та лимонної кислоти.

Зв'язок із слабою кислотою дозволяє компенсувати вибірккову дію травлення фосфорною кислотою на деякі компоненти суперсплаву. Слаба кислота, така як уксусна або інша кислота, впливає на інші компоненти, зокрема на нікель, який є, як правило, основою суперсплавів.

Ванна може додатково містити компонент, здатний надавати рівномірність швидкості розчинення у процесі електрохімічного травлення. Таким компонентом може бути, наприклад, вторинний спирт, такий як гліколь.

Відповідно до особливостей винаходу попередній етап макрографічного травлення здійснюють в оптимальному варіанті хімічним у класично кислій ванні, яка містить іони хлориду й перхлорид заліза. Виконання такого попереднього етапу стосовно до суїерсплавів, які містять реній та/або рутеній, викликає почорніння виробу за рахунок стійкого утворення на поверхні оксиду ренію та/або рутенію. Електрохімічне травлення, яке виконувалось потім, у відповідності з винаходом дозволяє відбілити або очистити поверхню за допомогою видалення згаданих оксидів. Після цього можна легко провести візуальний контроль виробу. Здійснення цих двох видів хімічного й електрохімічного травлення одного за другим дозволяє отримати комбіновану дію двох ванн на різні елементи суперсплавів.

Використання електрохімічного способу травлення дозволяє підвищити реакційну здатність, особливо стосовно до суперсплавів на основі нікелю, збагачених такими елементами як Re або Ru. Виріб із суперсплаву занурюють у ванну. Його розташовують на анодному боці навпроти спеціального катода, який має відповідну форму для одержання рівномірного розподілу ліній току на виріб.

Приклади здійснення даного винаходу, які не є обмежувачими, будуть детальніше описані нижче із зносками на креслення, які приводяться, на яких:

Фіг.1 зображує фотографію, яка демонструє ефективність способу відповідно до винаходу по відношенню відбілювання поверхні виробу із монокристалічного суперсплаву з метою його візуального контролю.

Фіг.2 зображує приклад вкочання установки для здійснення способу у відповідності із винаходом, та

Фіг.3 зображує лопатки, які приєднані до анодів установки по Фіг.2.

Відомості, які підтверджують можливість здійснення винаходу

Винахід призначений особливо для проявлення виробів із монокристалічних суперсплавів, які містять реній та/або рутеній.

Монокристалічні суперсплави цього типу на основі нікелю, призначені особливо для виготовлення лопаток турбореактивних двигунів, описані у патентному документі Франції №9808693. Вони мають такий склад по масі: від 3,5 до 7,5% Cr, від 0 до 1,5% Mo, від 1,5 до 5,5% Re, від 0 до 5,5% Ru, від 3,5 до 8,5% W, від 5 до 6,5% Al від 0 до 2,5% Ti, від 4,5 до 9% Ta, від 0,08 до 0,12 Hf, від 0,08 до 0,12 % Si; останню масу складають нікель та випадкові домішки.

Відповідно до особливого прикладу здійснення винаходу спосіб проявлення структури для виробу із монокристалічного суперсплаву містить наступні етапи:

- виріб піддають макрографічному хімічному травленню у першій кислій ванні, яка містить у відповідності до класичного способу іони хлориду,
- проводять промивання виробу,
- виріб сушать стисненим повітрям;
- виріб піддають повторному травленню електрохімічним шляхом у другій кислій ванні, яка містить у відповідності до винаходу фосфорну кислоту і принаймні одну слабу кислоту,
- проводять промивання виробу, та
- проводять остаточну сушку виробу, після чого він стає придатним для візуального контролю з метою виявлення випадкових дефектів виготовлення.

Перше хімічне травлення може здійснюватися за допомогою ванни, яка містить соляну кислоту й розчин перхлориду заліза у воді. Вміст по масі соляної кислоти й перхлориду заліза може складати, наприклад, відповідно, від 70 до 80% та від 5 до 10%, останню масу складає вода.

Травлення проводять шляхом занурення виробу у ванну з температурою приблизно від 50 до 70°C на

період часу від 15 до 30хв. Зрозуміло, обробці можуть піддаватися одноразово декілька виробів.

Після промивання виробу у деіонізованій воді проводять повторне травлення електрохімічним способом у кислій ванні, яка містить у відповідності до винаходу фосфорну кислоту й принаймні одну слабу кислоту. У оптимальному варіанті як останню вибирають оцтову кислоту, винну або лимонну кислоту. Може бути добавлений додатковий компонент для виконання функції пом'якшення хімічного травлення. Для цього можна використати вторинний спирт.

Як приклад об'ємний вміст різноманітних компонентів ванни може бути таким: від 30 до 80% фосфорної кислоти, від 3 до 15% слабкої кислоти, такої як оцтова кислота, й від 0 до 15% вторинного спирту; останній об'єм складає вода.

Занурений у ванну виріб зв'язаний з анодом й оточений катодом. Форму катоду вибирають у залежності від форми виробу таким чином, щоб забезпечити як можна більш рівномірний розподіл еквіпотенціальних ліній електричного струму у ванні, а отже, й на самому виробі з метою його рівномірної обробки. Щільність анодного струму відносно висока й складає, наприклад, д 10 до 60А/дм<sup>2</sup>. Тривалість електрохімічного травлення може бути відносно невеликою, наприклад, від 1 до 5хв.

#### Приклад 1

Стержень із монокристалічного суперсплаву на основі нікелю за типом, визначеному у згаданому вище патентному документі Франції 9808693, із вмістом ренію та рутенію, піддавали обробці таким способом:

- перше макрографічне хімічне травлення у кислій ванні, яка містить по масі 77% соляної кислоти, 7% перхлориду заліза й 16% води, при температурі 55°C протягом 20хв;

- промивання деіонізованою водою;

- сушіння стисненим повітрям;

- повторне травлення електрохімічним шляхом частини стержня, зануреної у кислу ванну, яка містить по об'єму приблизно 60% фосфорної кислоти, приблизно 10% оцтової кислоти, приблизно 5% гліколя й воду у частці останнього об'єму; занурену частину установлювали на анодній фазі й оточували циліндричним катодом у вигляді листа із нержавіючої сталі; травлення проводили протягом 3хв;

- промивання у дистильованій воді;

- сушіння у потоці гарячого повітря.

На Фіг.1 зображений стержень після обробки, причому його верхня частина оброблена лише хімічним травленням, а нижня частина - наступним повторним електрохімічним травленням.

Поверхня верхньої частини почорніла за рахунок присутності оксидів ренію й рутенію, що робить візуальний контроль складним й навіть неможливим.

Поверхня нижньої частини, очищена ("відбілена") у процесі повторного електрохімічного травлення, дозволяє ясно бачити випадкові дефекти виготовлення. На фотографії по Фіг.1 їх видно як включення більш темного кольору.

#### Приклад 2

Лопатки, що надійшли із ливарного виробництва, із монокристалічного суперсплаву на основі нікелю за типом, визначеним у вищезгаданому патентному документі Франції 9808693, із вмістом ренію й рутенію, піддавали обробці способом, описаним у прикладі 1. Відмінність заключалася в тому, що лопатки піддавали повторному, електрохімічному травленню повністю, повністю занурюючи їх у кислу ванну.

Використовували установку по Фіг.2, яка дозволяє одночасно обробляти дві лопатки.

Ця розташована у баці установка містить два аноди 10, 12, закріплені на спільній опорі 14, яка з'єднана стійкою 16 із зовнішнім джерелом живлення (не представлено). Вузол виготовлений із нержавіючої сталі. Аноди виконані у вигляді стержнів з вигнутими вільними кінцями 10а, 12а, які можуть бути жорстко деформовані шляхом стиснення.

Для кожного виробу передбачений катод 20, 22. Катоди виконані по суті циліндричними. Вони виготовлені із нержавіючої сталі й мають на стінках велику кількість отворів 24. Катоди з'єднані один з одним й закріплені на кінцях двох стійок 26, 28, також виготовлених із нержавіючої сталі. Стійки 26,28 зв'язані із зовнішнім джерелом живлення (не зображено).

Стійка 16 може зсуватися по стрілці F для установки анодів у положення, в якому вони оточені катодами.

На Фіг.3 представлена частина установки за Фіг.2 з двома лопатками 30, 32, встановленими на анодах. Опори для лопаток й електричний контакт із ними забезпечуються шляхом стискання анодів та їх вводом у внутрішні канали лопаток. Розуміється, можуть бути використані будь-які засоби установки у залежності від форми й можливостей, які представляють вироби, що підлягають обробці.

Після установки лопаток катоди встановлюють у положення оточення лопаток й весь вузол занурюють у кислу ванну. Розміри й форма катодів були спеціально вибрані такими, щоб вони оточували лопатки приблизно з постійним зазором, - наприклад, приблизно 30мм. За рахунок цього було одержано добре розподілення ліній струму у ванні, що дозволило провести відносно рівномірну обробку поверхонь лопаток.

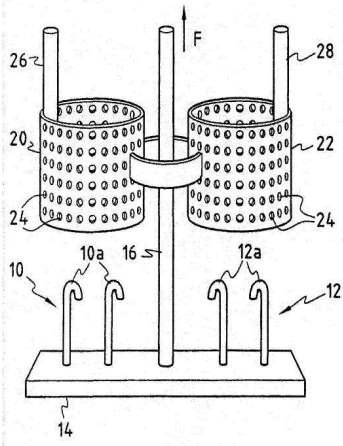
Отвори 24 катодів сприяють відводу газів (O<sub>2</sub>), що виділяються, й стримують нагрівання ванни внаслідок ефекту Джоуля за рахунок того, що простір між взаємодіючими анодом і катодом не є замкнутим.

Електрохімічне травлення проводили при умовах Прикладу 1 при анодній щільності струму, приблизно рівної 30А/дм<sup>2</sup>. Через 2хв електрохімічного травлення лопатки вийняли із ванни, промили й просушили. Була одержана світла зовнішня поверхня лопаток, що дозволяла чітко бачити випадкові дефекти виготовлення.

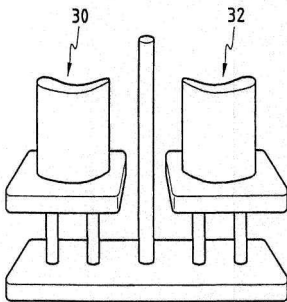
Описана установка дозволяє одночасно обробляти два вироби. Очевидно, що подібні установки можна використовувати для обробки одного виробу або більшого числа виробів.



Φir. 1



Φir. 2



Φir. 3