



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 76323

(13) C2

(51) МПК (2006)

B22D 25/00

B22D 11/00

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ОДЕРЖАННЯ ПОРИСТОГО МЕТАЛЕВОГО ТІЛА

1

(21) 20040907684
(22) 26.08.2002
(24) 17.07.2006
(86) PCT/JP02/08560, 26.08.2002
(31) 2002-45941
(32) 22.02.2002
(33) JP
(46) 17.07.2006, Бюл. № 7, 2006 р.
(72) Накадзіма Хідео, JP
(73) Накадзіма Хідео, JP
(56) US 5181549 A, 26.01.1993
JP 4123861 A, 23.04.1992
JP 2000239760 A, 05.09.2000
(57) 1. Спосіб отримання пористого металевого тіла, що включає:
поступову плавку частини вихідного металевого матеріалу при його просуванні із застосуванням плавки методом плаваючої зони в газовій атмосфері для розчинення газу в отримуваній зоні розплавленого металу; і
поступове затвердіння зони розплавленого металу шляхом охолодження.
2. Спосіб за п.1, в якому вихідний металевий матеріал розплавляють в атмосфері, яка містить газ, що розчиняється, який являє собою щонайменше один газ, вибраний з групи, що складається з водню, азоту, кисню, фтору і хлору.
3. Спосіб за п.2, в якому тиск газу, що розчиняється, знаходиться в інтервалі від 10^{-3} Па до 100 МПа.
4. Спосіб за п.1, в якому вихідний металевий матеріал розплавляють в змішаній газовій атмосфері з газу, що розчиняється, і інертного газу.
5. Спосіб за п.4, в якому тиск інертного газу знаходиться в інтервалі від 0 до 90 МПа.
6. Спосіб за п.1, в якому вихідний металевий матеріал являє собою залізо, нікель, мідь, алюміній, магній, кобальт, вольфрам, марганець, хром, берилій, титан, срібло, золото, платину, паладій, цирконій, гафній, молибден, олово, свинець, уран або сплави, що містять один або декілька вказаних металів.

2

7. Спосіб за п.1, в якому температура плавки вихідного металевого матеріалу знаходиться в інтервалі від його точки плавлення до температури на 500°C вище вказаної точки плавлення.
8. Спосіб за п.1, в якому швидкість просування вихідного металевого матеріалу знаходиться в інтервалі від 10 мкм/сек. до 10000 мкм/сек.
9. Спосіб за п.1, в якому вихідний металевий матеріал просувають при обертанні зі швидкістю від 1 до 100 об./хв.
10. Спосіб за п.1, в якому для затвердіння розплавленого металу шляхом охолодження застосовують природне охолодження або примусове охолодження.
11. Спосіб за п.10, в якому розплавлений метал піддають примусовому охолодженню за допомогою одного або декількох способів, вибраних з охолодження за допомогою обдування газом, охолодження за допомогою контакту з охолоджуючою сорочкою і охолодження за допомогою контакту з водоохолоджуваним блоком на одному або обох кінцях вихідного металевого матеріалу.
12. Спосіб за п.1, в якому перед плавкою вихідного металевого матеріалу методом плаваючої зони його витримують при зниженому тиску при температурі, що знаходиться в інтервалі від кімнатної температури до температури нижче точки плавлення металу, тим самим дегазуючи вихідний металевий матеріал.
13. Пористе металеве тіло, отримане будь-яким зі способів за пп.1-12.
14. Пористе металеве тіло за п.13, в якому як вихідний металевий матеріал використаний метал на основі заліза, а як газ, що розчиняється, використаний азот.

Даний винахід відноситься до способу отримання пористого металевого тіла.

Протягом останніх років ведеться інтенсивне вивчення тіл з пористих матеріалів, таких як пористі метали, і в цей час розробка направлена на їх практичне застосування як фільтрів, гідростатич-

них підшипників, медичних інструментів, спортивних товарів і т.п.

Наприклад, [патент США №5181549] описує спосіб отримання пористого тіла, такого як пористий метал. Більш конкретно, даний спосіб отримання включає розчинення водню або водневміс-

(19) UA (11) 76323 (13) C2

ного газу під тиском в розплавленому металевому матеріалі, а потім охолодження розплавленого металу для його затвердіння в умовах контрольованих температури і тиску.

У [публікації №10-88254] японської нерозглянутої заявки на патент описаний спосіб отримання пористого металу, що включає стадії плавлення металу в атмосфері з підвищеним тиском газу і затвердіння розплавленого металу, при цьому метал має на фазовій діаграмі метал-газ евтектичну точку при ізобарній атмосфері газу. У [публікації №2000-104130] японської нерозглянутої заявки на патент описаний спосіб отримання пористого металевого тіла, що має пори, які контролюються за формою і т.д., який включає стадії розчинення водню, кисню, азоту і т.д. в розплавленому металі в атмосфері з підвищеним тиском, а також охолодження розплавленого металу для його затвердіння при контрольованих температури і тиску.

Відповідно до описаних вище способів метал, розплавлений в тиглі, виливають в ливарну форму і затвердівають шляхом відведення тепла від вказаної форми. При використанні металу, що має високу питому теплопровідність, такого як мідь, магній і т.п., розплавлений метал швидко затвердіває за рахунок відведення тепла, внаслідок чого можуть бути отримані порівняно рівномірні пори. Однак при використанні даних способів в тих випадках, коли застосовують широко використовувані на практиці матеріали, такі як сталі, нержавіючі сталі і т.д., швидкості охолодження всередині металевого тіла знижуються через його низьку питому теплопровідність, що приводить до утворення істотної кількості великих пор, таким чином ускладнюючи утворення рівномірних пор. Отримання такого пористого тіла з нерівномірними розмірами пор є небажаним, оскільки воно не забезпечує високої міцності через те, що при прикладенні навантаження ділянки навколо великих пор зазнають більш високого напруження. Більше того таке пористе тіло не може бути використане як фільтр, діаметр пор якого повинен бути рівномірним.

Даний винахід був розроблений з урахуванням вищезгаданих проблем відомих з рівня техніки способів. Даний винахід головним чином направлений на розробку нового способу отримання пористого металевого тіла, внаслідок здійснення якого рівномірні пори можуть бути отримані незалежно від питомої теплопровідності використовуваного вихідного матеріалу і, більше того може бути отриманий ряд (множина) рівномірних пор, подовжених в одному напрямі, навіть при отриманні виробів великої довжини або великих виробів у вигляді стрижнів, пластин і т.п.

Автори даного винаходу провели інтенсивні дослідження для досягнення вищезгаданих цілей. Автори виявили, що наступні видатні результати можуть бути отримані внаслідок здійснення спеціального способу із застосуванням плавки методом плаваючої зони, який включає стадії часткової плавки вихідного металевого матеріалу при його просуванні; розчинення різних видів газів в розплавленому металі; і затвердіння розплавленого металу. Тобто, відповідно до даного способу, кількістю газу, що розчиняється в розплавленому ме-

талі, можна керувати за рахунок відповідного задавання виду використовуваного газу, поєднання газів, тиску газу і т.д., і, крім того, формою пор, розміром пор, пористістю і т.д. можна за бажанням керувати за рахунок вибору швидкості руху вихідного металевого матеріалу, способу охолодження і т.д. Більше того автори виявили, що даний спосіб може забезпечити отримання пористого тіла з мікропорами, подовженими в одному напрямі, навіть при використанні вихідного металевого матеріалу великої довжини або розміру, що має низьку питому теплопровідність. Даний винахід був здійснений на основі вказаних нових відкриттів.

Даний винахід передбачає спосіб отримання пористого металевого тіла, а також пористе металеве тіло, отримане вказаним, способом, що описується нижче:

1. Спосіб отримання пористого металевого тіла, що включає: поступову плавку частини вихідного металевого матеріалу при його просуванні із застосуванням плавки методом плаваючої зони в газовій атмосфері для розчинення газу в отримуваній зоні розплавленого металу; і поступове затвердіння зони розплавленого металу шляхом охолодження.

2. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому вихідний металевий матеріал розплавляють в атмосфері, що містить газ, що розчиняється, який являє собою щонайменше один газ, вибраний з групи, що складається з водню, азоту, кисню, фтору і хлору.

3. Спосіб, описаний вище в п.2, в якому тиск газу, що розчиняється, знаходиться в інтервалі від 10^{-3} Па до 100 МПа.

4. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому Вихідний металевий матеріал розплавляють в змішаній газовій атмосфері з газу, що розчиняється, і інертного газу.

5. Спосіб, описаний вище в п.4, в якому тиск інертного газу знаходиться в інтервалі від 0 до 90 МПа.

6. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому вихідний металевий матеріал являє собою залізо, нікель, мідь, алюміній, магній, кобальт, вольфрам, марганець, хром, берилій, титан, срібло, золото, платину, паладій, цирконій, гафній, молібден, олово, свинець, уран або сплави, що містять один або декілька вказаних металів.

7. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому температура плавки вихідного металевого матеріалу знаходиться в інтервалі від його точки плавлення до температури на 500°C вище вказаної точки плавлення.

8. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому швидкість просування вихідного металевого матеріалу знаходиться в інтервалі від 10 мкм/сек. до 10000 мкм/сек.

9. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому вихідний металевий матеріал просувають при обертанні з швидкістю від 1 до 100 об./хв.

10. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому для затвердіння розплавленого металу шляхом охолодження застосовують природне охолодження або примусове охолодження.

11. Спосіб, описаний вище в п.10, в якому роз-

плавлений метал піддають примусовому охолодженню за допомогою одного або декількох способів, вибраних з охолодження за допомогою обдування газом, охолодження за допомогою контакту з охолоджуючою сорочкою і охолодження за допомогою контакту з водоохолоджуваним блоком на одному або обох кінцях вихідного металевго матеріалу.

12. Спосіб, описаний вище в п.1, в якому перед плаваючою зоною його витримують при зниженому тиску при температурі, що знаходиться в інтервалі від кімнатної температури до температури нижче точки плавлення металу, тим самим дегазуючи вихідний металевий матеріал.

13. Пористе металеве тіло, отримане будь-яким з способів, описаних вище в пп.1-12.

14. Пористе металеве тіло, описане вище в п.13, в якому як вихідний металевий матеріал використаний метал на основі заліза, а як газ, що розчиняється, використаний азот.

Фіг.1 являє собою вигляд в поперечному розрізі, що схематично ілюструє пористе металеве тіло, отримане внаслідок застосування даного винаходу.

Фіг.2 являє собою вигляд в подовжньому розрізі, що схематично ілюструє пористе металеве тіло, отримане внаслідок застосування даного винаходу.

Фіг.3 являє собою вигляд, що схематично показує спосіб поступового плавлення частини вихідного металевго матеріалу при вертикальному русі матеріалу.

Фіг.4 являє собою вигляди в поперечному розрізі, які схематично ілюструють пористі тіла з нержавіючої сталі, отримані в результаті застосування даного винаходу: один вигляд ілюструє пористе тіло з нержавіючої сталі, отримане в змішаній газовій атмосфері з водню і аргону, а інший вигляд ілюструє пористе тіло з нержавіючої сталі, отримане в атмосфері водню.

Фіг.5 являє собою графік, що показує взаємозв'язок між пористістю і парціальним тиском водню/парціальним тиском аргону при отриманні пористого тіла з нержавіючої сталі в змішаній газовій атмосфері з водню і аргону.

Фіг.6 являє собою вигляди, що схематично ілюструють два способи здійснення примусового охолодження розплавленого металу при плавіці методом плаваючої зони.

Фіг.7 схематично показує вигляди в поперечному розрізі, які частково ілюструють пористі металеві тіла, отримані при різних швидкостях руху вихідного металевго матеріалу: кожний з двох виглядів ілюструє пористе металеве тіло, піддане при охолодженні обдуванню газом для затвердіння розплавленого металу; а кожний з двох інших виглядів ілюструє пористе металеве тіло, не піддане обдуванню газом.

Фіг.8 являє собою вигляд в поперечному розрізі, який схематично показує приклад пристрою, що застосовується в даному винаході для отримання пористого металевго тіла.

Фіг.9 являє собою графік, що показує взаємозв'язок між пористістю і межею текучості при розтягненні в напрямі, паралельному напрямку зростан-

ня пор в пористому залізному тілі, отриманому із застосуванням азоту або водню як газу, що розчиняється.

Фіг.10 являє собою графік, що показує взаємозв'язок між пористістю і межею міцності при розтягненні в напрямі, паралельному напрямку зростання пор в пористому залізному тілі, отриманому із застосуванням азоту або водню як газу, що розчиняється.

На кресленні, приведеному на Фіг.8, позицією 1 позначений повітронепроникний (герметичний) контейнер, позиціями 2 і 3 позначені ущільнюючі елементи, позицією 4 позначена витяжна труба, позицією 5 позначена труба для подачі газу, позицією 6 позначений вихідний металевий матеріал, позицією 7 позначена котушка високочастотного нагрівання, позицією 8 позначена установка для дуття, позиціями 9А і 9В позначені труби для дуття, позицією 10 позначений охолоджуючий блок, позиціями 11 і 12 позначені труби для циркуляції охолоджуючої води, позицією 13 позначена охолоджуюча сорочка, а позиціями 14 і 15 позначені труби для циркуляції охолоджуючої води.

У даному винаході як вихідний металевий матеріал може бути використаний матеріал, що має високу міру розчинності газу в рідкій фазі і низьку міру розчинності газу в твердій фазі. Такий метал в розплавленому стані розчиняє велику кількість газу. Однак кількість розчиненого газу різко знижується, коли метал починає затвердівати з пониженням температури. Тому під час плавки вихідного металевго матеріалу температуру і тиск навколишнього газового середовища відповідним чином контролюють, а розплавлений метал затвердівають, адекватним чином вибираючи швидкість охолодження, тиск навколишнього газового середовища і т.д., при цьому в твердій фазі поблизу від межі між твердою і рідкою фазами можуть утворюватися пухирці внаслідок виділення газу, розчиненого в рідкій фазі. Такі газові пухирці виникають і ростуть (збільшуються) в процесі затвердження металу, при цьому в твердій фазі утворюються численні пори.

Згідно з способом відповідно до даного винаходу, що детально описується нижче, вихідний металевий матеріал поступово частково плавлять із застосуванням плавки методом плаваючої зони, і в розплавленому металі розчиняють газ. Потім розплавлений метал затвердівають, контролюючи при цьому умови охолодження, внаслідок чого можна відповідним чином керувати формою пор, діаметром пор, пористістю і т.п.в отриманому продукті. Отже, може бути отримане пористе металеве тіло, що має ряд (множину) мікропор, подовжених в одному напрямі.

Фіг.1 являє собою вигляд в поперечному розрізі, що схематично ілюструє пористе металеве тіло, отримане способом згідно з даним винаходом. Фіг.2 являє собою вигляд в подовжньому розрізі, що схематично ілюструє таке пористе металеве тіло. Як випливає з Фіг.1 і 2, спосіб згідно з даним винаходом забезпечує отримання пористого металевго тіла, в якому сформований ряд (множина) приблизно рівномірних мікропор, довгастих в подовжньому напрямі.

Згідно з способом відповідно до винаходу, як

вихідний металевий матеріал може бути використаний будь-який матеріал без обмежень, але за умови, що такий матеріал має високу міру розчинності газу в рідкій фазі і низьку міру розчинності газу в твердій фазі. Більш конкретно, спосіб відповідно до винаходу забезпечує можливість застосування як вихідних металевих матеріалів таких металевих матеріалів, які мають низьку питому теплопровідність, таких як сталі, нержавіючі сталі, суперсплави на основі нікелю і т.д., отримання рівномірних пор в яких відомими способами ускладнене. Як вихідні металеві матеріали можуть бути використані залізо, нікель, мідь, алюміній, магній, кобальт, вольфрам, марганець, хром, берилій, титан, срібло, золото, платина, паладій, цирконій, гафній, молібден, олово, свинець, уран і т.д., а також сплави, що містять один або декілька вказаних металів.

Згідно з способом відповідно до даного винаходу, вихідний металевий матеріал піддають поступовій частковій плавці із застосуванням плавки методом плаваючої зони, одночасно просуваючи його. Напрямок руху вихідного металевого матеріалу конкретно не обмежений і може бути будь-яким, наприклад, перпендикулярним силі тяжіння, паралельним силі тяжіння і т.д. Фіг.3 схематично ілюструє спосіб отримання з вертикально рухомих вихідним металевим матеріалом в формі стрижня при безперервній плавці частини матеріалу.

Вихідні металеві матеріали конкретно не обмежені за формою, і вона може бути будь-якою за умови, що вихідний металевий матеріал може бути поступово частково розплавлений і затверджений охолодженням із застосуванням плавки методом плаваючої зони. Наприклад, може бути використаний вихідний металевий матеріал великої довжини у вигляді стрижня, пластини, циліндричної труби і т.п. В тому випадку, якщо матеріал має форму стрижня, він переважно є циліндричним і має діаметр від 0,3 до 200 мм для забезпечення швидкого охолодження матеріалу до його серцевини при охолодженні. При використанні вихідного металевого матеріалу, що має форму пластини, металева пластина великої довжини переважно має товщину приблизно від 0,1 до 100 мм, а ширину - приблизно від 0,1 до 500 мм.

Умови плавки методом плаваючої зони конкретно не обмежені і можуть бути відповідним чином вибрані згідно з відомими способами.

Для часткового нагрівання металевого матеріалу може бути відповідним чином модифікований спосіб нагрівання, що застосовується в галузі плавки методом плаваючої зони. Звичайно застосовують нагрівання за допомогою високочастотної індукції. Однак можуть бути також використані інші способи нагрівання, такі як лазерне нагрівання, електронагрівання за допомогою джоулевого тепла, нагрівання за допомогою електропечі опору, інфрачервоне нагрівання, електродугове нагрівання і т.д.

Кількість розчиненого газу збільшується з підйомом температури розплавленої ділянки, в той час як висока температура розплавленої ділянки вимагає більш тривалого періоду охолодження для затвердіння розплавленого металу, і, таким чином, діаметр пор виявляє тенденцію до збіль-

шення. Потрібна температура плавки може бути визначена з урахуванням вищезгаданих чинників. Загалом, є переважним, щоб температура плавки знаходилася в інтервалі від точки плавлення до температури приблизно на 500°C вище вказаної точки плавлення.

Довжина ділянки, що розплавляється, може бути встановлена в залежності від виду і форми використовуваного вихідного металевого матеріалу і т.д. і може знаходитися в такому інтервалі, в межах якого форма розплавленої ділянки може зберігатися завдяки поверхневому натягненню без випадання (витікання) розплавленої ділянки.

За необхідності, вихідний металевий матеріал може обертатися з швидкістю приблизно від 1 до 100 об./хв. При русі вихідного металевого матеріалу з одночасним обертанням під час плавки він рівномірно нагрівається. Зокрема, вихідний металевий матеріал в формі стрижня великого діаметра приводять в обертання навколо подовжньої осі, щоб таким чином досягнути більш рівномірного нагрівання матеріалу, що забезпечує швидку і рівномірну плавку.

Згідно з способом відповідно до даного винаходу, розплавлена ділянка повинна бути вміщена в атмосферу, що містить розчинний газ (тобто газ, що розчиняється). У ході плавки вихідного металевого матеріалу в атмосфері газу, що розчиняється, в розплавленій ділянці вихідного металевого матеріалу може розчинятися велика кількість газу.

Що стосується газу, що розчиняється, то, в залежності від типу використовуваного вихідного металевого матеріалу може бути використаний газ, що має високу міру розчинності в рідкофазному металі і низьку міру розчинності в твердофазному металі. Прикладами таких газів є водень, азот, кисень, фтор, хлор і т.д. Вказані гази можуть бути використані окремо або у вигляді суміші двох і більше газів. З точки зору безпеки переважними серед вказаних газів є водень, азот, кисень і т.п. В деяких випадках утворювані пори містять тільки газ, що розчиняється. В інших випадках отримувані пори можуть містити гази, що утворюються внаслідок реакції компонента розплавленого металу з розчинним газом. Наприклад, в тому випадку, коли як газ, що розчиняється, застосовують кисень, а в розплавленому металевому матеріалі міститься вуглець, пори, що утворюються, можуть містити монооксид вуглецю, діоксид вуглецю і т.д.

Якщо вихідним металевим матеріалом є залізо, нікель або сплави, що містять вказані метали, є переважним застосування як газу, що розчиняється, щонайменше одного газу, вибраного з групи, що складається з водню і азоту. Якщо вихідний металевий матеріал являє собою мідь, алюміній, магній, кобальт, вольфрам, марганець, хром, берилій, титан, паладій, цирконій, гафній, молібден, олово, свинець, уран або сплави, що містять вказані метали, то переважним як газ, що розчиняється, є водень. Якщо вихідний металевий матеріал являє собою срібло, золото або сплави, що містять вказані метали, то переважним як газ, що розчиняється, є кисень.

Газ, що розчиняється, має тенденцію до все більшого розчинення в розплавленому металі при

підвищенні тиску газу, що приводить до більш високої пористості отриманого пористого металевго тіла. Відповідно, тиск розчинювального газу може бути відповідним чином встановлений (заданий) з урахуванням виду вихідного металевго матеріалу, бажаної форми пор, діаметру пор, пористості отриманого пористого тіла і т.п. Тиск газу, що розчиняється, переважним чином складає приблизно від 10^{-3} Па до 100 МПа, більш переважно - від 10 Па до 10 МПа.

Під час плавки методом плаваючої зони відповідно до даного винаходу розплавлена ділянка і охолоджена/затвердшена ділянка звичайно підтримуються в тій же самій газовій атмосфері. Діаметром пор і пористістю пористого металевго тіла можна більш точно керувати при змішуванні газу, що розчиняється, з інертним газом.

Більш конкретно, при використанні суміші розчинювального газу і інертного газу і підтримці постійного тиску інертного газу, пористість пористого тіла підвищується з підвищенням тиску газу, що розчиняється. І навпаки, при підтримці постійного тиску газу, що розчиняється, пористість пористого тіла знижується з підвищенням тиску інертного газу. Причина даних явищ може бути наступною. Інертний газ погано розчиняється в розплавленому металі. Таким чином, при використанні високого тиску інертного газу при охолодженні розплавленого металу з метою його затвердіння, пористе тіло зазнає впливу високого тиску інертного газу через його погану розчинність в розплавленому металі. Отже, об'єм пор пористого тіла знижується.

Одночасно пористість пористого тіла виявляє тенденцію до підвищення з підвищенням загального тиску газової суміші.

Можуть бути використані такі інертні гази, як гелій, аргон, неон, криптон, ксенон і т.д. Вказані гази можуть бути використані окремо, або може бути використано поєднання двох і більш газів.

Тиск інертного газу не обмежений, однак він може бути відповідним чином встановлений для отримання бажаного пористого тіла. Він переважно складає близько 90 МПа або менше. Пропорція змішування газу, що розчиняється, і інертного газу конкретно не обмежена, однак звичайно, тиск інертного газу складає близько 95% або менше від загального тиску газу, що розчиняється, і інертного газу. Для отримання потрібного ефекту внаслідок використання суміші з доданням інертного газу, тиск інертного газу може загалом складати близько 5% або більше від загального тиску.

Фіг.4 схематично представляє поперечні розрізи пористих тіл з нержавіючої сталі (SUS304L): одне з тіл було отримане в змішаній газовій атмосфері, що містить 1,0 МПа водню і 1,0 МПа аргону, а інше тіло було отримане у водневій газовій атмосфері, що містить 2,0 МПа водню. Пористі тіла, показані на Фіг.4, отримані при швидкості руху вихідного металевго матеріалу 160 мкм/сек. і температурі плавлення від 1430 до 1450°C. Поперечний розріз пористого тіла, отриманого при тиску водню 2 МПа, проілюстрований лише частково.

Фіг.4 показує, що при використанні змішаного газу, що містить водень (1,0 МПа) і аргон (1,0 МПа), пористість є дуже низькою, а діаметр пор також невеликий.

Фіг.5 являє собою графік, що показує взаємозв'язок між парціальним тиском водню/аргону і пористістю в пористому тілі, отриманому із застосуванням як вихідного металевго матеріалу нержавіючої сталі (SUS304L) в змішаній газовій атмосфері з водню і аргону. Даний графік показує, що при підвищенні парціального тиску аргону і підтримці тиску водню на рівні, наприклад 0,6 МПа, об'єм пухирців, тобто пористість, меншає. Більше того при підтримці постійного загального тиску газу, пористість підвищується з підвищенням парціального тиску водню.

Внаслідок плавки вихідного металевго матеріалу, а потім охолодження розплавленого металу з метою його затвердження відповідно до вищевказаного опису, в твердій фазі поблизу від межі розділу тверда фаза/рідкий фаза завдяки виділенню газу, який був розчинений в рідкому металі, утворюється ряд (множина) пор. Згідно з способом відповідно до даного винаходу із застосуванням плавки методом плаваючої зони, металевий матеріал безперервно охолоджують в процесі його руху. Таким чином, швидкість охолодження є приблизно постійною в подовжньому напрямі металу. Тому формою пор, діаметром пор, пористістю і т.п. можна керувати в подовжньому напрямі, при цьому може бути отримане пористе тіло з рівномірними часами, довгастими в подовжньому напрямі.

У цьому випадку діаметром пор пористого тіла можна керувати шляхом варіювання швидкості руху вихідного металевго матеріалу. Конкретніше, більш висока швидкість охолодження, що забезпечується більш високою швидкістю руху вихідного металевго матеріалу, запобігає активному поєднанню пухирців і їх укрупненню. Таким чином, може бути отримане пористе тіло з порами невеликого діаметра.

Швидкість руху вихідного металевго матеріалу конкретно не обмежена і може бути встановлена (задана) з урахуванням розміру вихідного металевго матеріалу, що застосовується, бажаного діаметра пор і т.п. таким чином, щоб забезпечити відповідну швидкість охолодження. Загалом, швидкість знаходиться в інтервалі руху приблизно від 10 мкм/сек. до 10000 мкм/сек.

Більше того при примусовому охолодженні розплавленої ділянки металу з метою його затвердіння, весь метал може бути швидше охолоджений в порівнянні з природним охолодженням. Таким чином, придушується укрупнення пор всередині металевго тіла і забезпечується утворення пор меншого діаметра. Зокрема, навіть при використанні металу, що має низьку питому теплопровідність, примусове охолодження при відповідним чином встановленій швидкості охолодження забезпечує швидке охолодження до внутрішньої частини металевго тіла, при цьому забезпечуючи утворення рівномірних пір.

Спосіб примусового охолодження, що застосовується, конкретно не обмежений, тому можуть бути використані різні способи, включаючи охолодження за допомогою обдування газом; охолодження за допомогою контакту з охолоджуючою сорочкою, внаслідок якого утворюється внутрішня поверхня, відповідна зовнішній формі

вихідного металевго матеріалу; і охолодження за допомогою контакту з водоохолоджуванним блоком на одному або обох кінцях вихідного металевго матеріалу. На Фіг.6 лівий вигляд схематично показує спосіб охолодження за допомогою обдування газом, а правий вигляд схематично показує спосіб охолодження із застосуванням водоохолоджуваної сорочки. Спосіб обдування газом включає, наприклад спосіб дуття газу під тиском на затверджувану ділянку з одночасною циркуляцією навколишнього газу, що має низьку температуру, яка підтримується в нижній частині пристрою.

При використанні такого способу для здійснення примусового охолодження підтримується високий температурний градієнт незалежно від швидкості руху металевго тіла. Таким чином, швидкість охолодження підвищується з підвищенням швидкості руху, при цьому може бути отримане пористе тіло з порами меншого діаметра.

Фіг.7 являє собою вигляд в поперечному розрізі, що частково ілюструє пористі металеві тіла, отримані при швидкості руху вихідного металевго матеріалу, яка складає 160мкм/сек. і 330мкм/сек. відповідно: одне тіло піддавали примусовому охолодженню за допомогою обдування газом, а інше не піддавали такому охолодженню. Дані пористі матеріали отримували із застосуванням нержавіючої сталі (SUS304L) як вихідного металевго матеріалу в атмосфері з тиском водню 2,0МПа і при температурі плавлення від 1430 до 1450°C.

Як виявляється з Фіг.7, підвищення швидкості руху вихідного металевго матеріалу створює тенденцію, яка полягає в тому, що діаметр пор меншає і знижується рівень пористості. Зокрема, спосіб обдування газом сильно зміцнює дану тенденцію.

Більше того згідно з способом відповідно до даного винаходу, вихідний металевий матеріал, за необхідності, може бути підданий дегазації перед його плавкою методом плаваючої зони. Процес дегазації може бути здійснений шляхом вміщення вихідного металевго матеріалу для отримання пористого тіла у повітронепроникний контейнер і його витримання при зниженому тиску і температурі, що знаходиться в інтервалі від кімнатної температури до температури нижче точки плавлення металу. Внаслідок здійснення даного процесу знижується кількість домішок, що містяться в металі, таким чином забезпечуючи отримання пористого металевго тіла більш високої якості.

Знижений тиск на стадії дегазації варіюється в залежності від виду вихідного металевго матеріалу, що використовується, домішкових компонентів (таких як кисень, азот і водень), що видаляються з вихідного металевго матеріалу, і т.п. Тиск звичайно складає близько 7Па або нижче, а переважно - приблизно від 7Па до 7×10^4 Па. У разі недостатнього зниження тиску домішки, що залишилися, можуть погіршити корозійну стійкість, механічну міцність, ударну в'язкість і т.д. пористого металевго тіла. І навпаки, зайве зниження тиску поліпшує до певного рівня властивості отриманого пористого металевго тіла, але істотно підвищує вартість виробництва і експлуатації при-

строю, а отже, є небажаним.

Температура вихідного металевго матеріалу під час дегазації підтримується на рівні від кімнатної температури до температури нижче точки плавлення вихідного металевго матеріалу, а переважно - приблизно на 50-200°C нижче вказаної точки плавлення.

Час витримання металу під час стадії дегазації може бути відповідним чином встановлений в залежності від виду і кількості домішок, що містяться в металі, потрібній мірі дегазації і т.п.

Фіг.8 являє собою вигляд в поперечному розрізі, який схематично показує приклад пристрою для отримання пористого металевго тіла згідно з способом відповідно до даного винаходу.

Пористе металеве тіло отримують, застосовуючи пристрій, показаний на Фіг.8, відповідно до нижченаведеного опису. Спочатку включають вакуумний насос (не показаний) для вакуумування повітронепроникного контейнера 1 через витяжну трубу 4. Потім в нього подають газ, що розчиняється, і інертний газ по трубі 5 для подачі газу доти, поки тиск у повітронепроникному контейнері 1 не досягне заданої величини. Повітронепроникний контейнер 1 герметично закритий за допомогою ущільнювачів 2 і 3 або т.п.

Вид і тиск газу, що подається у повітронепроникний контейнер 1, можуть бути відповідним чином встановлені відповідно до потрібної пористості і т.п., яка може бути, наприклад визначена, виходячи з раніше встановленого взаємозв'язку між пористістю і тиском газу, як показано на Фіг.5.

Вихідний металевий матеріал 6 подають у повітронепроникний контейнер 1 із заданою швидкістю, застосовуючи рушійний механізм (не показаний), пов'язаний з виробничим пристроєм, а потім нагрівають за допомогою нагрівального засобу, такого як котушка 7 височастотного нагрівання, з метою часткової безперервної плавки. Газ, що розчиняється в навколишній атмосфері, розчиняється в розплавленій ділянці металу.

Вихідний металевий матеріал 6, рухаючись вниз із заданою швидкістю і пройшовши через ділянку нагрівання, де розташована котушка 7 височастотного нагрівання або т.п., потім охолоджується, переходячи з розплавленого стану в твердий стан.

Пристрій, представлений на Фіг.8, забезпечений наступними трьома видами охолоджуючих механізмів для охолодження вихідного металевго матеріалу 6, що пройшов ділянку нагрівання: механізм, в якому газ в контейнері піддають циркуляції за допомогою установки для дуття 8, встановленої всередині повітронепроникного контейнера 1, і видувають на вихідний металевий матеріал з труб для дуття 9А і 9В; інший механізм для охолодження кінцевої ділянки вихідного металевго матеріалу шляхом циркуляції охолоджуючої води по відповідних трубах 11 і 12 для циркуляції охолоджуючої води за допомогою охолоджуючого блока 10, встановленого в нижній частині повітронепроникного контейнера 1; і ще один механізм для контактного охолодження водою, циркулюючою по трубах 14 і 15 для циркуляції охолоджуючої води із застосуванням охолоджуючої сорочки 13 в формі кільця, розташованої на-

вколо вихідного металевго матеріалу. У залежності від бажаної форми пор, діаметра пор, пористості і т.п., в установці, представлений на Фіг.8, може бути використаний щонайменше один з вказаних охолоджуючих механізмів, або, навпаки, може бути використане природне охолодження.

У затверділому металі внаслідок виділення розчиненого газу з розплавленого металу утворюються пухирці. Такі газові пухирці у міру затвердіння металу тягнуться (розташовуються) в подовжньому напрямі, тим самим забезпечуючи отримання пористого металевго тіла, що має ряд пор.

Отримане пористе металеве тіло видаляють з пристрою через ущільнювач 3, завершуючи виробничий процес.

Як вказано вище, спосіб відповідно до даного винаходу забезпечує отримання пористого металевго тіла, в якому рівномірні і мікроскопічні пори тягнуться (проходять) в подовжньому напрямі. Згідно з способом відповідно до даного винаходу, формами пор, пористості і т.п. можна бажаним чином керувати навіть при використанні матеріалів з низькою питомою теплопровідністю, таких як сталі, нержавіючі сталі, суперсплави на основі нікелю і т.д. Тому спосіб відповідно до даного винаходу знайде широке застосування.

Формою пор, діаметром пор, пористістю і т.п. в отримуваному пористому металевому матеріалі можна бажаним чином керувати шляхом відповідного завдання температури плавлення, виду і тиску застосовного газу, що розчиняється, пропорції змішування інертного газу, швидкості руху вихідного металевго матеріалу, умов охолодження і т.п. Загалом, діаметром пор можна керувати в межах широкого інтервалу, що складає приблизно від 10мкм до 10мм. Крім того, може бути отримане пористе тіло з мікропорами, що мають діаметр близько 10мкм або менше. Більше того пористість може бути вибрана за бажанням в межах широкого інтервалу, що складає близько 80% або нижче.

Згідно з способом відповідно до даного винаходу, при використанні як вихідного металевго матеріалу металів на основі заліза, таких як чисте залізо промислового сорту, вуглецева сталь, нержавіюча сталь, Fe-Cr сплав, ливарний чавун і т.д., а як розчинювальний газ - азоту, пористе металеве тіло, що отримується, набуває надзвичайно високої міцності при розтягненні, міцності при стисненні і т.п. Таке пористе тіло являє собою вельми цінний високоміцний і полегшений металевий матеріал. Більше того виробничий процес вкрай доцільний, оскільки при отриманні такого матеріалу може бути забезпечений високий рівень безпеки завдяки використанню азоту як газу, що розчиняється.

Причина, з якої такий високоміцний пористий матеріал на основі заліза може бути отриманий при використанні азоту як газу, що розчиняється, як вважається полягає в наступному. Згідно з способом відповідно до даного винаходу розчинений азот утворює твердий розчин із залізовмісним металом. Отже, крім утворення рівномірних і мікроскопічних пор, пористий метал, що отримується, стає більш міцним (зміцнюється) завдяки утворенню такого твердого розчину і диспергуванню ніт-

риду в пористому матеріалі.

Промислова застосовність

Згідно з способом отримання пористого металевго тіла відповідно до даного винаходу, можна легко керувати формою пор, діаметром пор, пористістю і т.п. Більше того навіть при використанні вихідного металевго матеріалу з низькою питомою теплопровідністю може бути отримане пористе металеве тіло з рівномірними і мікроскопічними порами, довгастими в подовжньому напрямі.

Отримане пористе металеве тіло має полегшену вагу і високу питому міцність (міцність/маса), високу механічну оброблюваність, зварюваність і т.д. Завдяки такій унікальній структурі і чудовим характеристикам пористі металеві тіла відповідно до даного винаходу можуть бути використані в самих різних сферах.

Зокрема, пористе тіло з сплаву на основі заліза, отримане в атмосфері азоту, може бути використане як легкий і високоміцний залізний матеріал.

Приклади застосування пористих тіл, отриманих відповідно до даного винаходу, включають в себе матеріали для зберігання водню, вібраційно-стійкі матеріали, амортизуючі матеріали, електромагнітні екрануючі матеріали, деталі і конструктивні елементи різних конструкцій (основні конструкційні матеріали, деталі двигунів і інші деталі для транспортних засобів, таких як автомобілі, кораблі, літаки і т.д., керамічні опори для ракетних або реактивних двигунів, полегшені панелі для космічного обладнання, деталі станків і т.д.), матеріали для медичних цілей (такі як штучні суглоби, штучні зуби і т.д.), теплообмінні матеріали, теплопоглинальні матеріали, звукоізолювальні матеріали, матеріали для розділення газу/рідини, легкі деталі конструкцій, матеріали для самозмашувальних підшипників, гідростатичні підшипники, фільтри, матеріали для видудання газу під час газових/рідинних реакцій і т.д. Пористе металеве тіло, отримане відповідно до даного винаходу, не обмежене переліченими вище видами застосування і може також застосовуватися для різних інших цілей.

Далі даний винахід описаний більш детально з посиланням на приклади.

Приклад 1

Різні види пористих металевих тіл, що мають різну пористість, були отримані з використанням заліза чистотою 99,99% як вихідного металевго матеріалу, а також пристрій, представлений на Фіг.8. Як вихідний металевий матеріал використали циліндричний матеріал діаметром 10мм і довжиною 1000мм.

Як газ, що розчиняється, в пристрій подавали азот або водень, а при необхідності додатково подавали аргон з метою керування пористістю.

Швидкість руху вихідного металевго матеріалу встановлювали на рівні 160мкм/сек. Як нагрівальний засіб використали котушку височастотного нагрівання, а температуру ділянки, що розплавляється, підтримували на рівні 1555°C.

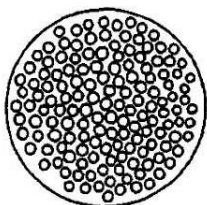
Фіг.9 являє собою графік, що показує взаємозв'язок між пористістю і межею текучості при розтягненні отриманого пористого металевго матеріалу. Фіг.10 являє собою графік, що показує

взаємозв'язок між пористістю і межею міцності при розтягненні. Графік на Фіг.9 показує результати вимірювання межі текучості при розтягненні в напрямі, паралельному напрямку росту пор. Графік на Фіг.10 показує результати вимірювання межі міцності при розтягненні в напрямі, паралельному напрямку росту пор.

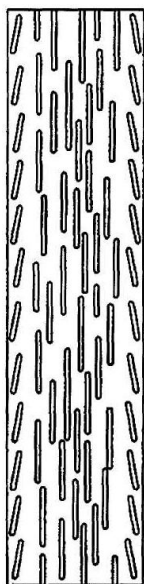
Таблиця 1 показує взаємозв'язок між тиском розчинного/інертного газу і середньою пористістю деяких матеріалів з пористих металевих матеріалів, проілюстрованих на Фіг.9 і 10.

Таблиця 1

Тиск (МПа)			Середня пористість (%)
Тиск N ₂	Тиск H ₂	Тиск Ar	
1,0	-	1,5	35,1
2,0	-	0,5	40,5
2,5	-	0	42,8



Фіг. 1

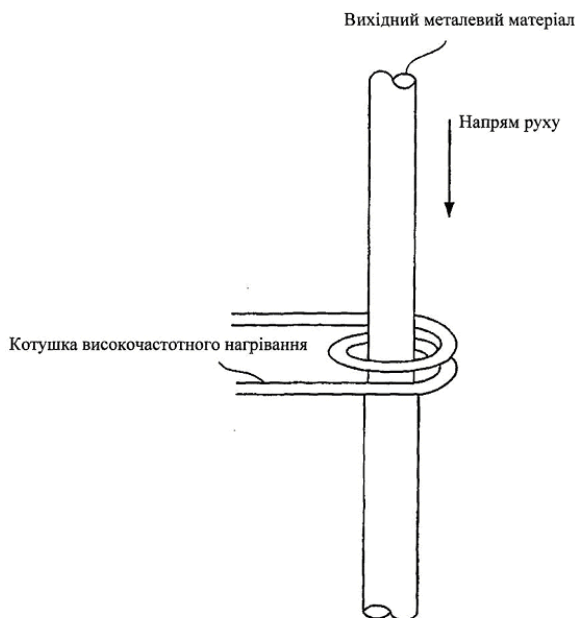


Фіг. 2

2,0	-	0	44,2
-	2,0	0,5	52,0
-	2,5	0	48,2

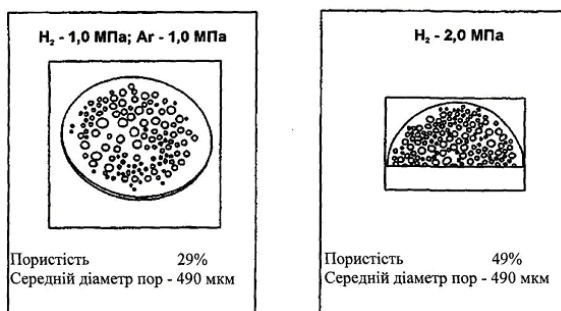
Як впливає з фігур 9 і 10, при отриманні пористого металевого тіла з використанням заліза як вихідного металевого матеріалу в атмосфері азоту, отримують більш високоміцне пористе тіло в порівнянні з пористим металевим тілом, отриманим в атмосфері водню.

Більш детально, пористе металеве тіло, отримане в атмосфері азоту, має по суті таку ж міцність при розтягненні, як і залізний матеріал без пор, навіть в тому випадку, коли тіло з пористого матеріалу має пористість 40%. Таким чином, застосування такого пористого металевого тіла як полегшеного і високоміцного залізного матеріалу є надзвичайно доцільним.

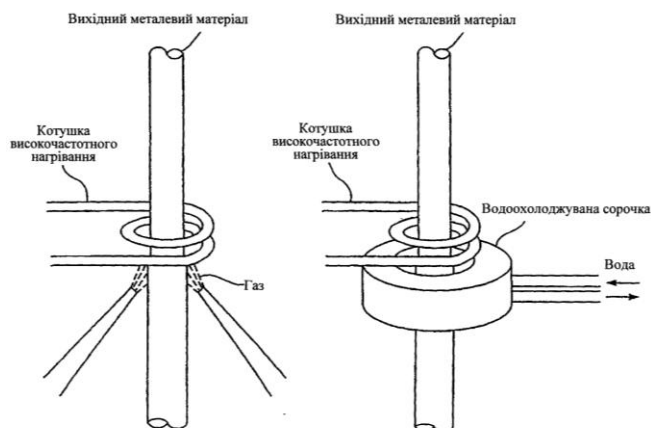
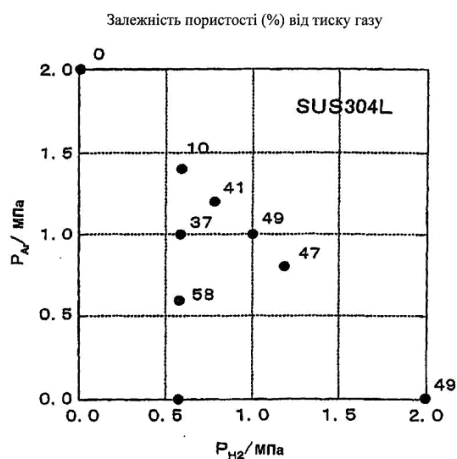


Фіг. 3

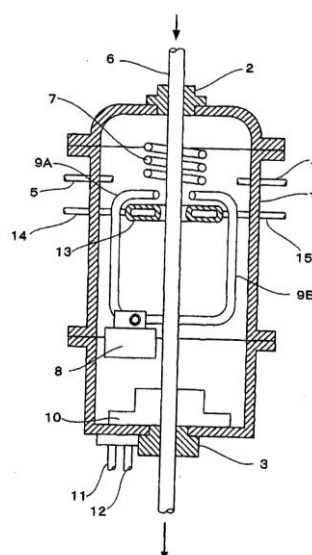
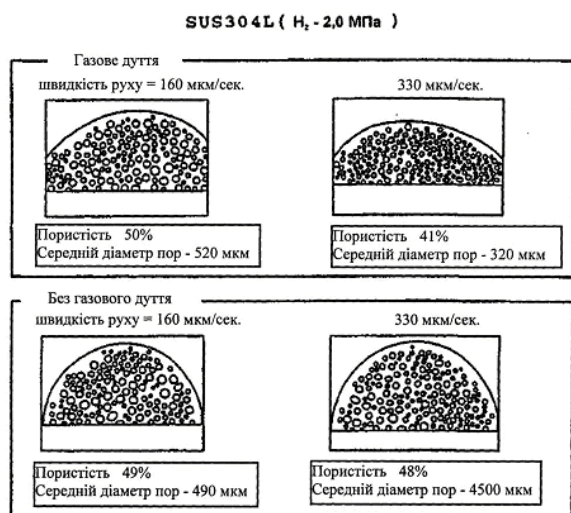
SUS304L (швидкість руху=160 мкм/сек.)



Фіг. 4



Фіг. 6



Фіг. 8

