

Даний винахід відноситься до способу одержання пористого металевого тіла.

Відомі пористі металеві тіла і способи їх одержання. Наприклад, у патенті і США №5181549 описаний спосіб одержання пористого металевого тіла, що включає розчинення водню або водовміщуючого газу у розплавленому вихідному металевому матеріалі при підвищеному тиску з подальшим охолодженням і ствердінням розплавленого металу в умовах регульованої температури і тиску.

Однак цей спосіб має деякі серйозні практичні недоліки. Наприклад: (1) необхідно використати надчистий метал як вихідний матеріал, щоб одержати пористе металеве тіло, що має чудові характеристики; (2) кисень, азот, водень або інші домішки, якщо вони присутні у вихідному металевому матеріалі, залишаються у пористому металевому тілі, що одержується, і погіршують його характеристики, обмежуючи тим самим область його використання, і (3) оскільки як газ, що розчиняється у розплавленому металі, використовується водень і водовміщуючий газ, придатні для використання метали обмежені тими видами, характеристики яких не погіршуються через абсорбцію водню у виготовленому з них пористому металевому тілі.

Автором даного винаходу були проведені дослідження в світлі перерахованих вище проблем, властивих відомому способу виготовлення пористого металевого тіла, внаслідок чого було встановлено, що високоякісне пористе металеве тіло можна одержати, якщо зменшити кількість домішок, що містяться у металі, до певного значення або нижче перед плавленням і під час плавлення вихідного металевого матеріалу.

Зокрема, винахід передбачає наступні способи одержання пористого металевого тіла.

1. Спосіб одержання пористого металевого тіла, при якому

(1) витримують вихідний металевий матеріал при зниженому тиску у діапазоні температур від кімнатної температури до температури нижче точки плавлення даного металу у герметизованій посудині, щоб дегазувати вихідний матеріал,

(2) плавлять вихідний металевий матеріал при підвищеному тиску, утвореному шляхом введення газу у герметизовану посудину, щоб розчинити газ у розплавленому металі, і

(3) охолоджують і стверджують розплавлений метал у кристалізаторі, регулюючи тиск газу і температуру розплавленого металу всередині герметизованої посудини, щоб одержати пористе металеве тіло.

2. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, при якому метал вибирають з групи, що включає залізо, мідь, нікель, кобальт, магній, алюміній, титан, хром, вольфрам, марганець, молібден, берилій і сплави, що містять один або декілька з цих металів.

3. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, в якому знижений тиск на етапі (1) становить 10^{-1} тор або нижче,

4. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.3, у якому знижений тиск на етапі (1) складає від 10^{-1} до 10^{-4} тор.

5. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, у якому вихідний металевий матеріал на етапі (1) витримують при температурі на $50-200^{\circ}\text{C}$ нижче точки плавлення даного металу.

6. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, у якому на етапах (2) і (3) використовується газ, що є, щонайменше, одним членом з групи, що включає водень, азот, аргон і гелій.

7. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, у якому тиск, що прикладається на етапі (2), складає від 0,1 до 10 МПа.

8. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.7, у якому тиск, що Прикладається на етапі (2), складає від 0,2 до 2,5 МПа.

9. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, у якому розплавлений метал заливають на етапі (3) з герметизованої посудини у кристалізатор, забезпечений охолоджуючим пристроєм.

10. Спосіб одержання пористого металевого тіла за п.1, у якому охолодження і ствердіння розплавленого металу на етапі (3) здійснюють методом безперервного розливання.

Фіг.1 схематично зображає послідовність операцій виготовлення пористого металевого тіла згідно з даним винаходом;

Фіг.2 зображає фазову діаграму, що ілюструє фазові перетворення у системі залізо-азот;

Фіг.3 зображає концептуальну схему, що ілюструє характеристики розчинення газу у твердій і рідкій фазах на етапі охолодження і ствердіння розплавленого металу, у якому був розчинений газ;

Фіг.4 зображає графік, що детально ілюструє кількість азоту, розчиненого у чистому залізі (99,99%), вище і нижче температури плавлення чистого заліза;

Фіг.5 зображає графік, що ілюструє взаємозв'язок між відношенням парціальних тисків азоту і аргону і пористістю пористих залізних матеріалів, одержаних у тих випадках, коли чисте залізо (99,99%) плавлять і розливають при підвищеному тиску з газовою сумішшю азот-аргон з різними парціальними тисками;

Фіг.6 зображає графік, що ілюструє взаємозв'язок між парціальним тиском азоту і пористістю пористих залізних матеріалів, одержаних у тих випадках, коли чисте залізо (99,99%) плавлять і розливають при підвищеному тиску з газовою сумішшю азот-аргон з різними парціальними тисками, при постійному загальному тиску 2,1 МПа;

Фіг.7 зображає графік, що ілюструє взаємозв'язок між парціальним тиском азоту і вмістом азоту у пористих залізних матеріалах, одержаних у тих випадках, коли чисте залізо (99,99%) плавлять і розливають при підвищеному тиску з газовою сумішшю азот і аргон з різними парціальними тисками, при постійному загальному тиску 2,1 МПа;

Фіг.8 зображає поперечний переріз пристрою для одержання пористого металевого тіла, що використовується у даному винаході;

Фіг.9 зображає кристалізатор, забезпечений охолоджуючим механізмом на його дні;

Фіг.10 зображає циліндричний кристалізатор, забезпечений охолоджуючим механізмом на його внутрішній поверхні;

Фіг.11 зображає поперечний переріз пристрою для одержання пористого металевого тіла методом безперервного розливання, що використовується у даному винаході;

Фіг.12 зображає пристрій для одержання пористого металевого матеріалу у формі стержня або пластини

методом безперервного розливання;

Фіг.13 зображає поперечний переріз пристрою для одержання пористого металевих матеріалу у формі стержня або пластина методом безперервного розливання;

Фіг.14(a)-(h) зображає косокутні проекції з частковим виливом пористих металевих матеріалів різної форми, які можна одержати запропонованим способом;

Фіг.15 зображає графік, що ілюструє взаємозв'язок між відношенням парціального тиску газу і пористістю для чотирьох різних пористих мідних матеріалів, одержаних за допомогою плавлення при 1250°C під тиском 0,8МПа з газовою сумішшю водень-аргон;

Фіг.16 - оброблені електронним методом зображення (відповідні оптичним мікрофотографіям), що демонструють стан розподілу пор у чотирьох різних пористих мідних матеріалах, одержаних шляхом плавлення при 1250°C під тиском 0,8МПа з газовою сумішшю водень-аргон;

Фіг.17 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії із збільшенням у 12,5 разів), що ілюструє вертикальний поперечний переріз циліндричного пористого мідного матеріалу, що має форму згідно Фіг.14 (c);

Фіг.18 зображає графік, що ілюструє взаємозв'язок між відношенням парціального тиску газу і пористістю пористих, залізних матеріалів, одержаних . шляхом плавлення при 1650°C під тиском 1,5 або 2,0МПа з газовою сумішшю азот-гелій;

Фіг.19 - оброблені електронним методом зображення (відповідні оптичним мікрофотографіям), що ілюструють стан розподілу пор у чотирьох різних пористих звичайних сталей матеріалах, одержаних шляхом плавлення при 1650°C під тиском з чотирма різними газовими сумішами азот-гелій з різними відношеннями парціальних тисків газів;

Фіг.20 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє стан розподілу пор у пористому нікелевому матеріалі (пористість 17%), одержаному шляхом плавлення при 1600°C під тиском 0,8МПа з газовою сумішшю азот-гелій;

Фіг.21 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє циліндричний пористий мідний матеріал, одержаний шляхом плавлення при 1250°C під тиском 0,9МПа з газовою сумішшю водень-аргон;

Фіг.22 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє поперечний переріз форми пор у напрямі товщини циліндричного пористого мідного матеріалу, показаного на Фіг.21;

Фіг.23 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє стан поверхні циліндричного пористого мідного матеріалу, показаного на Фіг.21;

Фіг.24 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє циліндричний пористий мідний матеріал, одержаний шляхом плавлення при 1250°C під тиском 0,5МПа з газовою сумішшю водень-аргон;

Фіг.25 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє форму пор у напрямі товщини циліндричного пористого мідного матеріалу, показаного на Фіг.24;

Фіг.26 -- оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє стан поверхні циліндричного пористого мідного матеріалу, показаного на Фіг.24;

Фіг.27 - оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє поперечний переріз пористого мідного циліндра (діаметром приблизно 10мм), одержаного шляхом плавлення при 1250°C під тиском 0,8МПа з газовою сумішшю водень-аргон.

Згідно з даним винаходом, проілюстрованим на Фіг.1, спочатку вмішують метал, який служить як вихідний матеріал для одержання пористого тіла, у герметизовану ємність і витримують вихідний матеріал при зниженому тиску у інтервалі температур від нормальної температури до температури нижче точки плавлення металу, щоб дегазувати металевий матеріал (етап (1)).

Потім дегазований металевий матеріал нагрівають при підвищеному тиску з визначеним газом, щоб розплавити металевий матеріал і розчинити газ у розплавленому металі (етап (2)).

Потім, регулюючи тиск газу і температуру розплавленого металу у герметизованій ємності відповідно до типу підвищуючого тиск газу і вихідного металевих матеріалу, розплавлений метал охолоджують і стверджують, щоб одержати необхідне пористе металеве тіло (етап (3)).

Як матеріали для вихідного металевих матеріалу можна використати залізо, мідь, нікель, кобальт, магній, алюміній, титан, хром, вольфрам, марганець, молібден, берилій і сплави, що містять один або декілька з цих металів.

Дегазацію можна здійснювати шляхом приміщення вихідного металевих . матеріалу, що складається з відповідної комбінації двох або більше видів простих металів, у герметизовану ємність. Альтернативно, як вихідний металевий матеріал можна використати комбінацію з щонайменше одного простого металу і щонайменше одного сплаву, або можна використати комбінацію з двох або більше сплавів. У цих випадках сплав одержують на етапі плавлення, який буде обговорюватися нижче, і у кінцевому результаті одержують пористий сплав.

Величина пониження тиску на етапі (1) коливається у залежності від типу вихідного металевих матеріалу і від домішаних компонентів (таких як кисень, азот і водень), які містяться у вихідному металевих матеріалі і повинні бути видалені, але звичайно тиск становить 10^{-1} тор або нижче, переважно, у межах 10^{-1} - 10^{-6} тор. Якщо тиск знижений недостатньо, домішані компоненти, що залишилися; можуть негативно позначитися на корозійній стійкості, хімічній інертності, ударній в'язкості і інших характерних гиках пористого металевих тіла. З іншого боку, надмірне пониження тиску у деякій мірі покращує характеристики пористого металевих тіла, що одержується, однак при цьому підвищуються витрати на виготовлення і експлуатацію пристрою, і тому є небажаним.

Температура, при якій витримують вихідний матеріал на етапі (1), знаходиться між звичайною температурою і температурою нижче точки плавлення даного вихідного металевих матеріалу (якщо

використовується два або більше різних металів разом, то нижче самої низької точки плавлення) і переважно на 20-200°C нижче точки плавлення. Ця операція полегшується, якщо дегазацію провести шляхом уміщення вихідного металевого матеріалу у герметизовану ємність при нормальній температурі з подальшим поступовим підвищенням температури. Для посилення ефекту дегазації переважно перед початком операції (2) нагрівати вихідний металевий матеріал при температурі досить високій, але все ж нижче точки плавлення вихідного металевого матеріалу. Якщо на етапі (1) втримувати вихідний металевий матеріал при більш високій температурі, то скорочується час, необхідний для плавлення металу, який буде обговорюватися нижче.

Період часу, протягом якого витримують метал на етапі (1), можна легко визначити у залежності від типу і кількості домішок, що містяться у металі, необхідної міри дегазації і т.п.

Потім дегазований вихідний металевий матеріал плавлять при підвищеному тиску на етапі (2). Як підвищуючий тиск газ використовують один або декілька газів з водню, азоту, аргону і гелію.

Якщо забезпечення безпеки має особливу важливість, то переважно використати як підвищуючий тиск газ щонайменше один газ з азоту, аргону і гелію. Також переважно використати суміш азоту і аргону, суміш азоту і гелію, або суміш азоту, аргону і гелію, щоб більш точно контролювати пористість і розмір пор у пористому металевому тілі.

- На етапі (2) частина газу розчиняється у розплавленому металі в умовах підвищеного тиску. Як показано на фазовій діаграмі системи метал-газ на Фіг.2, переважно, щоб кількість газу, розчиненого у розплавленому металі, попадала у певний діапазон, що включає утворюючу кількість у евтектичній точці C_3 при заданих умовах підвищеного тиску. Кількість газу, розчиненого у розплавленому металі, визначається з урахуванням таких чинників, як тип металу, тип газу, тиск газу і необхідна структура пор пористого металевого тіла.

Умови підвищеного тиску на етапі (2) визначають відповідно до типу металу, форми і діаметру пор, пористості і т.п. пористого металевого тіла, одержаного у кінцевому результаті, але звичайно він становить 0,1-10МПа, більш переважно 0,2-2,5МПа.

Можна вибрати будь-який підвищуючий тиск газ з групи газів, перерахованих вище, якщо тільки він не впливає негативного чином на характеристики пористого металевого тіла, що одержується. Однак існують переважні комбінації металу і газу. Приклади таких переважних комбінацій включають залізо-азот/аргон ("азот/аргон" означає газову суміш азоту і аргону, те ж саме відноситься до всіх перерахованих далі сумішей), залізо-азот/гелій, сплав заліза (технічний сорт чистого заліза, звичайна сталь, неіржавіюча сталь і т.п.) - азот/аргон, залізний сплав (звичайна сталь, неіржавіюча сталь і т.п.) - азот/гелій, мідь-аргон, мідь-водень, мідь-водень/аргон і нікель-азот/аргон.

Потім розплавлений метал з розчиненим у ньому газом передається на етап (3), де він охолоджується і стверджується. Як показано схематично на Фіг.3, кількість газу, розчиненого у металі вище і нижче температури плавлення, істотно відрізняється. Зокрема, велика кількість газу розчинена у металі у розплавленому стані, але в міру того, як температура падає і метал починає стверджуватися, кількість розчиненого газу різко зменшується. Отже, при забезпеченні твердіння розплавленого металу у визначеному напрямі і відповідному регулюванні температури розплавленого металу і тиску газової атмосфери можна одержати пухирці у частині твердої фази поблизу межі твердої і рідкої фаз внаслідок виділення газу, який був розчинений до перенасичення у частині рідкої фази. Оскільки ці газові пухирці ростуть в міру твердіння металу, у частині твердої фази утворюється множина пор. На етапі (3) одержують, як буде більш детально пояснюватися нижче, пористе металеве тіло, у якому форма пор, діаметр пор, пористість і т.п. регулюються за потребою за допомогою зміни швидкості охолодження або швидкості твердіння, розплавленого металу, а також відповідного корегування складу газової атмосфери затвердіння (коефіцієнта змішування азоту і інертного газу) і тиску газу (збільшення тиску, збереження тиску або зниження тиску).

На Фіг.4 показаний графік, що детально ілюструє зміну кількості розчиненого азоту (ліва вертикальна вісь показує концентрацію у рідкій фазі, а права вертикальна вісь показує концентрацію у твердій фазі) у чистому залізі (99,99%), яке витримували в умовах підвищеного тиску 2,3МПа з газовою сумішшю азот-аргон.

На Фіг.4 видно, що розчинність азоту у рідкому залізі і твердому залізі різко і нерівномірно змінюється на переході від розплаву до затвердіння чистого заліза.

Навіть у затверділому залізі подальша алотропна трансформація відбувається від δ -фази через γ -фазу до α -фази, і кількість розчиненого азоту змінюється в міру падіння температури. Цю відмінність розчинності азоту можна використати для утворення пор у твердому залізі за допомогою газоподібного азоту, що виділяється у γ -фазі. Це явище також відбувається аналогічним чином, коли замість азоту як підвищуючий тиск газ використовуються суміші азот-інертний газ, водень-азот, водень-інертний газ, водень-азот-інертний газ або т.п., так що можна одержати аналогічний пористий залізний матеріал. Крім того, подібне явище має місце, коли як метал використовуються сплав заліза, такий як сталь, мідь або її сплав, нікель або його сплав, або будь-які інші метали з перерахованих вище або їх сплави, що дозволяє одержувати за допомогою тієї ж самої процедури пористі тіла з різних металів.

Певна кореляція також звичайно спостерігається між концентрацією атомів газу у системі метал-газ і станом утворення пор (розподілом пор, розміром пор, і т.п.) при виготовленні пористого металевого тіла в умовах постійного підвищеного тиску. Припустимо, що метал з розчиненим у ньому газом (система метал-газ) охолоджується у циліндричному кристалізаторі у напрямі від окружної поверхні, і що ми спостерігаємо поперечний переріз одержаного таким чином циліндричного металевого тіла. Якщо охолодження проводити належно, то можна одержувати практично однакові результати незалежно від того, де розташований поперечний переріз.

По-перше, як показано на Фіг.2, якщо концентрація атомів газу C і значно нижче, ніж евтектичний склад C_3 , то у ході охолодження від температури T_1 до T_E утворюється частина непористої металеві твердої фази на певну товщину від внутрішньої поверхні кристалізатора у напрямі центра, а потім, у ході охолодження від температури T_E до більш низької температури утворюється пориста металева фаза у середній області (див. поперечний переріз C_1).

Якщо концентрація C_2 атомів газу знаходиться між евтектичним складом C_3 і C_1 то у ході охолодження від температури T_2 до T_E утворюється частина непористої металевої твердої фази на меншу товщину від внутрішньої поверхні кристалізатора у напрямі центра, а потім у ході охолодження від температури T_E до більш низької температури утворюється пориста металева фаза у більш широкій середній області (див. поперечний переріз C_2).

Якщо система метал-газ має евтектичний склад C_3 , то метал починає затверджуватися при температурі T_E і у той же самий час утворюються пори, так що формується частина непористої металевої твердої фази. Розмір пор відносно однаковий (див. поперечний переріз C_3).

Якщо концентрація C_4 атомів газу вище, ніж евтектичний склад C_3 , то у ході охолодження від температури T_4 до T_E у рідкій фазі утворюються великі пори і метал починає затверджуватися при температурі T_E . Менші пори утворюються у ході охолодження від температури T_3 до більш низької температури. Отже, у цьому випадку утворюється пориста металева фаза, що включає пори різного розміру, а частина непористої металевої твердої фази не утворюється (див. поперечний переріз C_4).

На Фіг.5 представлений графік, що ілюструє приклад зміни пористості пористого чистого заліза (99,99%), одержаного при підвищеному тиску з газовою сумішшю азот-аргон. Як видно на Фіг.5, якщо тиск газоподібного аргону постійний, пористість пористого тіла зростає із збільшенням тиску газу азоту. І навпаки, якщо тиск газоподібного азоту постійний, пористість пористого металевого тіла зменшується із збільшенням тиску газоподібного аргону. Як показано трьома переривистими лініями, пористість пористого тіла має тенденцію зростати із збільшенням тиску всієї газової суміші.

На Фіг.6 представлений графік зразкової зміни пористості пористого чистого заліза (99,99%), одержаного в умовах постійного підвищеного тиску (2,1МПа) з газовою сумішшю азот-аргон. Як видно на Фіг.6, при постійному підвищеному тиску пористість пористого тіла зростає із збільшенням парціального тиску азоту. Якщо Фіг.5 і 6 розглядати разом, то буде ясно, що газоподібний азот вносить істотний внесок у збільшення пористості пористого металевого тіла. Аналогічні результати були одержані при використанні газової суміші азот-гелій замість газової суміші азот-аргон.

З результатів, поданих на Фіг.5 і 6, видно, що пористість пористого металевого тіла можна регулювати шляхом коректування складу підвищуючої тиск газової атмосфери.

На Фіг.7 показано вміст азоту у пористому чистому залізі (99,99%), одержаному при постійному підвищеному тиску (2,1МПа) з газовою сумішшю азот-аргон. Вміст азоту постійно зростає із збільшенням парціального тиску азоту, але насичується, коли парціальний тиск азоту складає приблизно 1МПа. Одержане пористе чисте залізо має високий уявний вміст азоту, але більша частина цього азоту сконцентрована у виключно тонкому поверхневому шарі на поверхні ігор, і тільки сліди Fe_4N містяться і дисперговані в α -фазі всередині чистого заліза. Це означає, що твердість одержаного пористого тіла значно вище, як якби всю поверхню, включаючи поверхні пор, піддали азотуванню. Цей відмітний аспект усього пористого тіла, у якому всередині присутні тільки сліди Fe_4N , навіть якщо велика кількість азоту міститься у пористому тілі загалом, приблизно пояснюється ледве помітними змінами кількості розчиненого азоту у результаті переходу від рідкої фази до твердої фази (δ -фази, γ -фази і α -фази).

Пористе металеве тіло, одержане згідно з винаходом, також має інші чудові характеристики (такі як міцність, ударна в'язкість, оброблюваність, технологічність, зварюваність, ослаблення вібрації, акустичне ослаблення, висока питома площа поверхні і т.п.). Наприклад, пористий металевий матеріал згідно з винаходом має питому міцність (міцність/вага), яка на 20-30% перевершує міцність вихідного металевого матеріалу, і твердість за Вікерсом вище майже у три рази.

Пористе металеве тіло на основі заліза, одержане згідно з винаходом, можна додатково загартувати, щоб підвищити його твердість за Вікерсом майже вдвічі у порівнянні з твердістю до загартування.

На Фіг.8 показаний поперечний переріз, що ілюструє зразковий варіант пристрою, що використовується для одержання пористого металевого тіла згідно з винаходом.

Пристрій на Фіг.8 містить секцію 1 для нагрівання і плавлення вихідного металевого матеріалу і секцію 2 для охолодження і ствердіння розплавленого металу, які є основними складовими частинами, розташованими один над одним.

Секція 1 для нагрівання і плавлення вихідного металевого матеріалу містить резервуар 4 для плавлення металу, індукційну нагрівальну котушку 7, стопор 8, канал дегазації 31, газопідвідний трубопровід 9 і газовідвідний трубопровід 10. На етапі (1) вихідний металевий матеріал вміщують у плавильний резервуар 4, а потім стопор 4 встановлюють у закриті положення для герметизації плавильного резервуара 4, після чого приводиться у дію вакуумний насос (не показаний) для випуску газу з плавильного резервуара 4 через канал дегазації 31 і для забезпечення необхідної умови зниженого тиску. Потім подають електричну енергію у індукційну нагрівальну котушку 7 і вихідний металевий матеріал нагрівають відповідно до заданих параметрів нагрівання при зниженому тиску. Ця термообробка в умовах зниженого тиску значно зменшує кількість газових домішок, таких як кисень, азот і т.п. у вихідному металевому матеріалі. У результаті також значно зменшується вміст газу у одержаному пористому металевому тілі.

Потім вводять газ через газопідвідний трубопровід 9 у верхній простір 3-b плавильного резервуара 4, а газові домішки, що виділяються з вихідного металевого матеріалу, випускають через газовідвідний трубопровід 10 назовні з плавильного резервуара.

На етапі (2) при закритому газопідвідному трубопроводі 10 визначений газ вводиться з газопідвідного трубопроводу 9 у верхній простір 3-b плавильного резервуара 4, і метал плавлять за допомогою подачі електричної потужності у індукційну нагрівальну котушку 7 у час або після того, як у плавильному резервуарі 4 буде досягнуто заданий підвищений тиск. Підвищуючий тиск газ на етапі (2) і газ, що випускається на етапі (1), можуть мати однакові або різні склади, але з точки зору спрощення пристрою для підведення газу, полегшення операції підведення газу і т.п. переважно, щоб їх склади були однаковими. При плавленні металу у таких умовах підвищеного тиску велика кількість газу розчиняється у металі, як видно на Фіг.3 і Фіг.4.

Потім стопор 8 підіймають і розплавлений метал 3-а, у якому був розчинений газ, заливають через

впускний отвір 11 у кристалізатор 5, розташований на дні секції 2 для охолодження і ствердіння розплавленого металу, внаслідок чого утворюється пористе металеве тіло. Перед заливтням розплавленого металу з газопідвідного трубопроводу 12 у секції 2 для охолодження і ствердіння розплавленого металу вводять визначений газ, щоб підтримувати всередині секції заданий тиск. Тиск газу всередині секції 2 для охолодження і ствердіння розплавленого металу можна легко регулювати за допомогою відкриття і закриття газопідвідного трубопроводу 12 і газопідвідного трубопроводу 13. При цьому швидкість охолодження розплавленого металу всередині кристалізатора 5, який оснащений охолоджуючим механізмом 6, можна регулювати шляхом зміни кількості охолоджуючої води, яка подається з трубопроводу 14 для подачі води або подібного холодоагенту (оскільки звичайно використовується вода, надалі буде згадуватися вода) і випускається з трубопроводу 15 для випуску охолоджуючої води.

При цьому внаслідок охолодження розплавленого металу, що заливається у кристалізатор 5, знизу за допомогою охолоджуючого механізму 6 і регулювання тиску газу всередині секції 2 для охолодження і ствердіння розплавленого металу утворюються численні пухирці з газу, розчиненого у частині рідкої фази, поблизу межі між рідкою фазою, що знаходиться зверху, і твердою фазою, що знаходиться на дні, і ці пухирці створюють пори у твердій фазі. У результаті утворюється пористий металевий матеріал, що має певний розмір пор, пористість і т.п..

На Фіг.9 показана схема зразкового варіанту виконання кристалізатора 5 з охолоджуючим механізмом 6, використаного у пристрої, зображеному на Фіг.8. У цьому варіанті охолоджуючий механізм 6 сам є дном кристалізатора 5. У цьому випадку охолоджуюча вода подається від дна охолоджуючого механізму 6, який контактує з розплавленим металом 3-а, що забезпечує швидке охолодження розплавленого металу. Хоча на Фіг.6 показаний стан, у якому у ході охолодження розплавленого металу утворюються вертикальні пори, у кінцевому результаті, коли метал затвердіє, можна одержати пористе металеве тіло 3 з порами, що тягнуться вертикально від дна до верху.

На Фіг.10 показана спрощена схема іншого зразкового варіанту кристалізатора 5 з охолоджуючим механізмом 6, що використовується у пристрої, показаному на Фіг.8. У цьому варіанті охолоджуючий механізм 6 розташований у центрі кристалізатора 5 і розплавлений метал 3-а заливають у циліндричний простір між ними. Хоча на Фіг.10 показаний стан, у якому у ході охолодження розплавленого металу формуються поперечні пори, у кінцевому результаті можна одержати пористе металеве тіло 3 з порами, що тягнуться поперечно від внутрішньої сторони до зовнішньої сторони циліндра.

На Фіг.11 схематично показаний зразковий варіант пристрою для одержання пористого металевого тіла за методом безперервного розливання.

Пристрій, зображений на Фіг.11, містить секцію 1 для нагрівання і плавлення вихідного металевого матеріалу і секцію 2 для витримки розплавленого металу, розташовані одна над іншою, при цьому пристрій для безперервного розливання приєднаний у поперечному напрямі до секції 2 для витримки розплавленого металу. Дегазацію і плавлення вихідного металевого матеріалу у секції 1 для нагрівання і плавлення здійснюють точно також, як у пристрої, показаному на Фіг.8.

Потім підіймають стопор 8 і розплавлений метал 3-а з розчином у ньому газом заливають через впускний отвір 11 для розплавленого металу у контейнер 19 для витримки розплаву, розташований на дні держателя 22 розплавленого металу. Перед заливтням розплавленого металу у контейнер 19 для витримки розплаву приводиться у дію вакуумний насос (не показаний), щоб випустити газ через трубопровід 31 для дегазації і тим самим знизити тиск всередині секції 22 охолодження і ствердіння розплавленого металу, після чого через газопідвідний трубопровід 17 подають визначений газ для підтримки всередині заданого тиску. Тиск газу всередині секції 22 охолодження і ствердіння розплавленого металу можна легко регулювати за допомогою відкриття або закриття газопідвідного трубопроводу 17 і газопідвідного трубопроводу 18. Розплавлений метал, який був залитий у контейнер 19 для витримки розплаву, підтримують при заданій температурі за допомогою нагрівника 20.

Потім розплавлений метал при підвищеному тиску, створеному газом, що поступає з газопідвідного трубопроводу 16, поступає у кристалізатор 21 і безперервно розливається, утворюючи у результаті довге пористе металеве тіло. Поведінка газу на межі рідкої фази і твердої фази у ході ствердіння розплавленого металу, утворення пор у металевому тілі і т.п. практично такі ж, як у пристрої, зображеному на Фіг.8. Основні компоненти пристрою для безперервного розливання включають у себе частину кристалізатора 21, оточеного охолоджуючим механізмом 25 (в цій частині утворюється межа рідкої фази і твердої фази), додатковий охолоджуючий механізм 26, який може бути встановлений факультативно, направляючий поршень 27, що контактує з кінцем затверділого пористого металевого тіла, ролики 28 і так далі. Пристрій для безперервного розливання встановлений всередині герметизованої конструкції 30, щоб запобігти окисленню пористого металевого тіла при високих температурах, захистити охолоджуючий механізм і т.д. Герметизована конструкція 30 забезпечена герметичним кільцем 29, трубопроводом 23 для введення інертного газу і трубопроводом 24 для випуску інертного газу, щоб коректувати тиск інертного газу всередині цієї конструкції. На Фіг.11, коли кінець пористого металевого тіла, що направляється направляючим поршнем 27, рухомим ліворуч, досягає положення, де встановлене герметичне кільце 29, герметичне кільце 29 рухається всередину, щоб прийти у тісний контакт із зовнішньою окружною поверхнею пористого металевого тіла. Потім направляючий поршень 27 витягується з герметизованої конструкції 30 і пористе металеве тіло поступово виводиться з герметизованої конструкції 30. Таким чином утворюється довге пористе металеве тіло.

На Фіг.12 схематично показаний інший зразковий варіант пристрою для безперервного розливання, що використовується для одержання довгого пористого металевого тіла. На Фіг.12 не показані механічні елементи, пов'язані з дегазацією і плавленням вихідного матеріалу, У цьому пристрої у ході ствердіння межа рідкої і твердої фаз металу утворюється похило по відношенню до напрямку руху металевого тіла за рахунок форми і положення охолоджуючого механізму 26, швидкості охолодження, тиску газу і т.п., так що виходить пористе металеве тіло з похилими порами, як показано на кресленні. Форма пористого металевого тіла може бути будь-якою, наприклад, циліндричною, прямолінійною, трубчастою, призматичною і т.д., відповідно до

форми внутрішньої поверхні кристалізатора.

На Фіг.13 схематично показаний ще один зразковий варіант пристрою для безперервного розливання, що використовується для одержання пористого металевго тіла у формі стержня або дроту. На Фіг.13 також не показані механічні елементи, пов'язані з дегазацією і плавленням вихідного металевго матеріалу. У цьому пристрої у ході ствердіння регулюються конструкція і положення охолоджуючого механізму 26, швидкість охолодження, тиск газу і т.д., а також межа рідкої і твердої фаз у металі відносно напрямку руху металевго тіла, внаслідок чого утворюється пористе металеве тіло з порами, що мають форму, показану на кресленні.

На Фіг.14(a)-(h) представлені схематичні косокутні зображення з частковими вирізами пористого металевго тіла, виготовленого запропонованим способом безперервного розливання. Наприклад, пористе металеве тіло (a) являє собою циліндричне металеве тіло з перерізом, відповідним C_3 на Фіг.2, яке одержується, коли межа рідкої і твердої фаз у металі переміщається з постійною швидкістю руху вздовж поперечного перерізу циліндра від одного кінця до іншого. Циліндричне пористе-металеве тіло (b) має переріз, відповідний C_3 на Фіг.2, і може бути одержане, коли швидкість руху межі рідкої і твердої фаз у металі змінюється переривистим чином вздовж поперечного перерізу циліндра від одного кінця до іншого. Циліндричне пористе металеве тіло (c) має переріз, відповідний C_3 на Фіг.2, і може бути одержане, коли тиск газу змінюється переривистим чином, а швидкість руху межі рідкої і твердої фаз у металі є постійною вздовж поперечного перерізу циліндра від одного кінця до іншого. Циліндричне пористе металеве тіло (d) має переріз, відповідний C_3 на Фіг.2, і може бути одержано, коли тиск газу і швидкість руху межі рідкої і твердої фаз у металі вздовж поперечного перерізу циліндра від одного кінця до іншого змінюються переривистим чином. Як показано на Фіг.10, циліндричне пористе металеве тіло (e) можна одержати, коли охолоджуючий механізм 6 розташований у центрі кристалізатора, а межа рідкої і твердої фаз у металі рухається у напрямі поперечного перерізу від центра циліндра у напрямі до його периферійної частини. Циліндричне пористе металеве тіло (f) можна одержати, коли охолоджуючий механізм розташований навколо периферійної частини циліндричного кристалізатора, а межа рідкої і твердої фаз у металі переміщається з постійною швидкістю у напрямі поперечного перерізу від периферійної частини до центра циліндра. У цьому випадку шляхом швидкого початкового охолодження навколо периферії можна сформувати кільцеву частину без пор. Циліндричне пористе металеве тіло (g) можна одержати за допомогою процедури, показаної на Фіг.11. Пористе металеве тіло (h), яке має прямокутний переріз, можна одержати за допомогою процедури, показаної на Фіг.11, при використанні кристалізатора, що має прямокутну внутрішню поверхню.

Промислова застосовність

Даний винахід дозволяє одержувати пористе металеве тіло, що має форму і розмір пор, пористість і т.п., легко регульовані за допомогою простого обладнання.

Згідно з даним винаходом можна одержувати пористе металеве тіло будь-якої необхідної форми.

При використанні даного винаходу за методом безперервного розливання можна одержувати великі і довгі пористі металеві матеріали.

Винахід також дозволяє помітно зменшити вміст домішок у одержаному пористому металевому тілі у порівнянні з початковим металевим матеріалом. Наприклад, можна знизити вміст кисню до 1/20 або нижче і зменшити вміст азоту до 1/6 або нижче.

У даному винаході при використанні заліза або його сплаву як вихідний металевий матеріал і азоту як підвищуючий тиск газ утворюється азотуюча фаза на всіх поверхнях, включаючи внутрішні поверхні пор, що приводить до значного збільшення твердості.

Пористе металеве тіло, одержане згідно з даним винаходом, має малу вагу, високу питому міцність (міцність/вага), а також чудову оброблюваність, зварюваність і так далі.

Крім того, з пористого металевго матеріалу згідно з даним винаходом можна одержати новий композитний матеріал, що має відмітні характеристики, шляхом заповнення його пористих частин іншим матеріалом або утримання іншого матеріалу у його пористій частині. Одним з спеціальних прикладів такого композитного матеріалу може служити каталізатор, носієм якого є пористе металеве тіло замість звичайного стільникового носія (наприклад, каталізатор для обробки вихлопних газів у автомобілях і т.п., дезодоруючий каталізатор і т.д.).

Даний винахід дозволяє істотно підвищити безпеку операцій за рахунок використання азоту, гелію, аргону або іншою незаймистого газу як підвищуючого тиск газу.

Завдяки унікальній структурі і чудовим характеристикам запропоноване пористе металеве тіло можна використати у різних областях. Прикладами можуть служити матеріали для зберігання водню, стійкі до вібрації матеріали, амортизуючі матеріали, матеріали для електромагнітного екранування, деталі і конструкційні матеріали для різних споруд (частин двигунів для транспортних засобів, таких як автомобілі, кораблі, літаки і т.п., керамічних опор для ракетних і реактивних двигунів, легких панелей для космічного обладнання, деталей машин і т.д.), матеріали для медичних інструментів (наприклад, матеріали, що імплантуються і т.п.), теплообмінні матеріали, звукоізоляційні матеріали, матеріали для розділення газу і рідини, легкі конструкційні деталі, фільтри для очищення води і газу, матеріали для самозмашувальних підшипників, газодувні матеріали для реакцій газу з рідиною і т.д.). Пористе металеве тіло згідно з винаходом не обмежене приведеними вище застосуваннями і може бути також використано у різних інших застосуваннях.

Для додаткового пояснення характеристик даного винаходу надалі будуть описані кращі шляхи (прикладі) його реалізації. Даний винахід не обмежений наступними прикладами і можливі його різні зміни і модифікації, що не виходять за рамки об'єму винаходу.

Приклад 1

Пористий мідний матеріал одержували за допомогою пристрою, зображеного на Фіг.8.

Більш конкретно, вихідний мідний матеріал (чистота 99,99%) витримували протягом 0,1 години при 1250°C і 5×10^{-2} тор, а потім плавили протягом 0,5 години при 1250°C у атмосфері одного з підвищуючих тиск газів, які будуть детально описані нижче. Потім, при тому ж підвищеному тиску розплавлену мідь з розчином у ній газом заливали у циліндричний кристалізатор (висота 100мм, внутрішній діаметр 30мм) і стверджували знизу

вгору за допомогою водоохолоджувального механізму, встановленого на дні кристалізатора, внаслідок чого був одержаний пористий мідний циліндр зі структурою, показаною на Фіг.14 (с).

Газова атмосфера, що підвищує тиск (що створює надмірний тиск)

(a) 0,2МПа H_2 +0,6МПа Ar

(b) 0,4Мпа H_2 +0,4Мпа Ar

(c) 0,6МПа H_2 +0,2МПа Ar

(d) 0,8Мпа H_2

На Фіг.15 показана пористість кожного з одержаних чотирьох різних пористих мідних циліндрів (a)-(d). З результатів, показаних на Фіг.15, видно, що в умовах постійного підвищеного тиску пористість зростає із збільшенням парціального тиску водню.

На Фіг.16(a)-(d) представлені оброблені електронним методом зображення (відповідні оптичним мікрофотографіям), що ілюструють частину поперечного перерізу кожного з вищезазначених чотирьох різних пористих мідних циліндрів (a)-(d). На них видно, що розмір пор можна змінювати шляхом регулювання відношення парціального тиску аргону/водню.

На Фіг.17 показане оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє вертикальний переріз пористого мідного циліндра (с). Видно, що утворилися однорідні подовжені пори, орієнтовані за вертикаллю.

Мідний вихідний матеріал містив 157млн^{-1} кисню і 13млн^{-1} азоту, а у одержаному мідному пористому тілі вміст кисню і азоту впав до 7млн^{-1} і 2млн^{-1} відповідно.

Приклад 2

Пористий залізний матеріал був одержаний за допомогою пристрою, схематично зображеного на Фіг.8.

Більш конкретно, вихідний залізний матеріал (чистота 99,99%) витримували протягом 0,1 години при 1800°C і 5×10^{-2} тор, а потім плавивали протягом 0,5 години при 1650°C у атмосфері одного або декількох підвищуючих тиск газів, описаних детально нижче. Потім, в умовах того ж підвищеного тиску розплавлене залізо з розчиненням у ньому газом заливали у циліндричний кристалізатор (висота 100мм, внутрішній діаметр 200мм) і стверджували знизу, вгору за допомогою водоохолоджувального механізму, встановленого на дні кристалізатора, внаслідок чого був одержаний пористий залізний циліндр зі структурою, зображеною на Фіг.14 (a).

Газова атмосфера, що підвищує тиск (що створює надмірний тиск)

(a) 0,3МПа N_2 +1,2 МПа He

(b) 0,1Мпа N_2 +1,0Мпа He

(c) 1,0МПа N_2 +0,5МПа He

(d) 1,5МПа N_2 +0,5МПа He

На Фіг.18 показана пористість кожного з одержаних чотирьох різних пористих залізних циліндрів (a)-(d). З результату, показаного на Фіг.18, видно, що в умовах постійного підвищеного тиску пористість можна регулювати шляхом зміни парціальних тисків азоту і гелію.

На Фіг.19(a)-(d) показані оброблені електронним методом зображення (відповідні оптичним мікрофотографіям), що ілюструють частину поперечного перерізу кожного з вищезазначених чотирьох різних пористих залізних циліндрів (a)-(d). На них видно, що розмір пор можна змінювати шляхом регулювання відношення парціальних тисків аргону/водню.

Одержані пористі залізні матеріали нагрівали до біля 1000°C , а потім занурювали у воду для загартування, внаслідок чого твердість за Вікерсом зросла приблизно у 2,5-3 рази.

Приклад 3

Пористий мідний матеріал одержували за допомогою пристрою, зображеного на Фіг.8.

Більш конкретно, вихідний нікелевий матеріал (чистота 99,99%) витримували протягом 0,1 години при 1600°C і 5×10^{-2} тор, а потім плавивали протягом 0,5 години при 1600°C у газовій атмосфері з підвищеним тиском (0,6МПа N_2 +0,2МПа Ar). Потім, у тих же умовах підвищеного тиску, розплавлений нікель з розчиненням у ньому газом заливали у циліндричний кристалізатор (висота 100мм, внутрішній діаметр 30мм) і стверджували знизу вгору за допомогою водоохолоджувального механізму, встановленого на дні кристалізатора, внаслідок чого був одержаний пористий нікелевий циліндр зі структурою, зображеною на Фіг.14(a).

На Фіг.20, показана частина поперечного перерізу пористого нікелевого циліндра у вигляді обробленого електронним методом зображення (відповідного оптичній мікрофотографії).

Приклад 4

Пористу мідну колонку (висота 100мм, внутрішній діаметр 30мм) одержали за допомогою пристрою, схематично показаного на Фіг.8, і кристалізатора, схематично показаного на Фіг.10, після чого з колонки виготовляли пористий циліндр.

Зокрема, мідний вихідний матеріал (чистота 99,99%) витримували протягом 0,1 години при 1250°C і тиску 5×10^{-2} тор, а потім плавивали протягом 0,5 години при 1250°C у газовій атмосфері з підвищеним тиском (0,3МПа H_2 +0,6МПа Ar).

Потім, у таких же умовах підвищеного тиску розплавлену мідь з розчиненням у ній газом заливали у циліндричний кристалізатор і стверджували знизу вгору, щоб одержати пористу колонку. Після цього на електроерозійному вирізному станку з колонки виготовляли пористий мідний циліндр, що має форму, показану на Фіг.21, зовнішній діаметр 20мм і товщину 1мм.

На Фіг.22 показане оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє частину горизонтального перерізу одержаного пористого мідного циліндра. На зображенні видно, що утворилися пори, що тягнуться від внутрішньої поверхні циліндра до його периферійної поверхні.

На Фіг.23 показане оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє частину зовнішньої поверхні пористого мідного циліндра, показаного на Фіг.22. На зображенні видно, що утворилися численні пори на всьому просторі від внутрішньої поверхні циліндра до зовнішньої периферійної поверхні.

Приклад 5

Пористу мідну колонку (висота 100мм, внутрішній діаметр 30мм) одержали за допомогою пристрою, схематично показаного на фіг. 8, і кристалізатора, схематично показаного на Фіг.10, а потім з колонки виготовляли пористий циліндр.

Більш конкретно, вихідний мідний матеріал (чистота 99,99%) витримували протягом 0,1 години при 1250°C і тиску 5×10^{-2} тор, а потім плавили протягом 0,5 години при 1250°C у газовій атмосфері з підвищеним тиском (0,3МПа H_2 +0,2МПа Ar). Потім, у тих же умовах підвищеного тиску розплавлену мідь з розчиненим у ній газом заливали у циліндричний кристалізатор і охолоджували знизу, щоб вона затвердівала у напрямі до циліндричного кристалізатора, внаслідок чого одержали пористу мідну колонку. З цієї колонки на електроерозійному вирізному станку виготовляли пористий мідний циліндр, що має форму, показану на Фіг.24, зовнішній діаметр 22мм і товщину 1мм.

Одержаний пористий мідний циліндр мав настільки високу пористість, що можна було неозброєним оком бачити пропущення світла.

На Фіг.25 показане оброблене електронним методом зображення (відповідне септичній мікрофотографії), що ілюструє частину поперечного перерізу пористого мідного циліндра, зображеного на Фіг.24. На зображенні видно, що утворилися пори, що тягнуться від внутрішньої поверхні циліндра до периферійної поверхні.

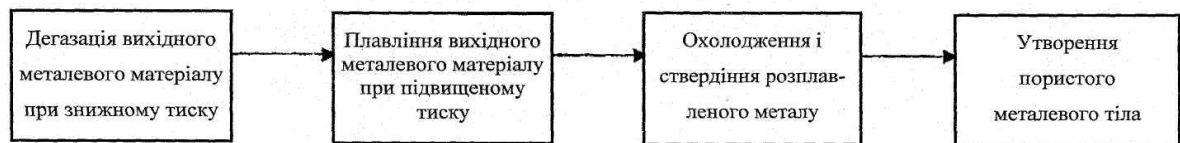
На Фіг.26 показане оброблене електронним методом зображення (відповідне оптичній мікрофотографії), що ілюструє частину зовнішньої поверхні пористого мідного циліндра, показаного на Фіг.24. На зображенні видно, що утворилися численні пори на всьому просторі від внутрішньої поверхні циліндра до зовнішньої периферійної поверхні.

Приклад 6

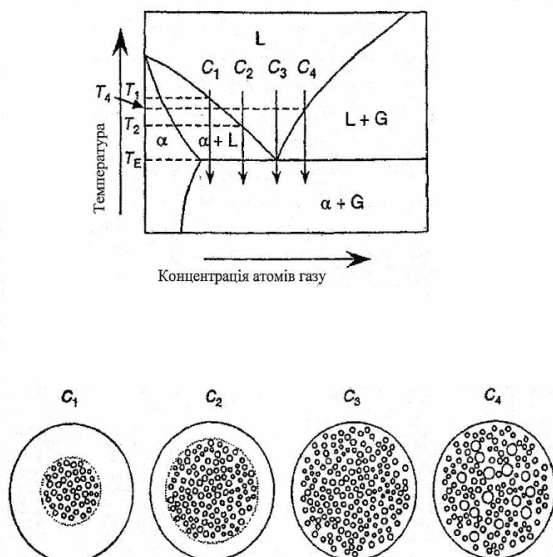
Пористу мідну колонку (висота 100мм, зовнішній діаметр 30мм) одержали за допомогою пристрою, схематично зображеного на Фіг.8, і кристалізатора, схематично зображеного на Фіг.9.

Більш конкретно, вихідний мідний матеріал (чистота 99,99%) витримували протягом 0,1 години при 1250°C і 5×10^{-2} тор, а потім плавили протягом 0,5 години при 1250°C у газовій атмосфері з підвищеним тиском (0,4МПа H_2 +4МПа Ar). Потім, у тих же умовах підвищеного тиску, розплавлену мідь з розчиненим у ній газом заливали у циліндричний кристалізатор і стверджували у напрямі до верху циліндричного кристалізатора від охолоджуючої поверхні на дні, щоб одержати пористий мідний циліндр, що має форму, показану на Фіг.14(с).

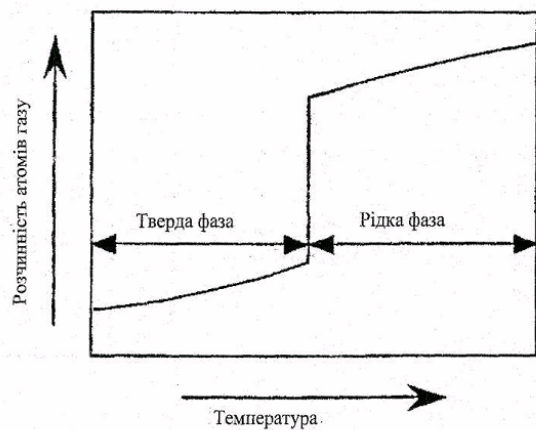
Від цього циліндра відрізали дослідний зразок у вигляді диску товщиною 3мм і вмістили на білий папір. Його освітили зверху, щоб підтвердити утворення численних пор однакового розміру, як видно на Фіг.27.



Фіг. 1

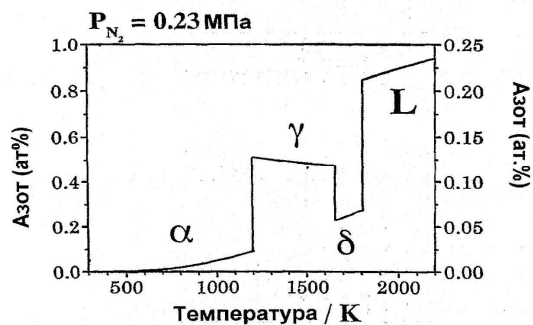


Фіг. 2



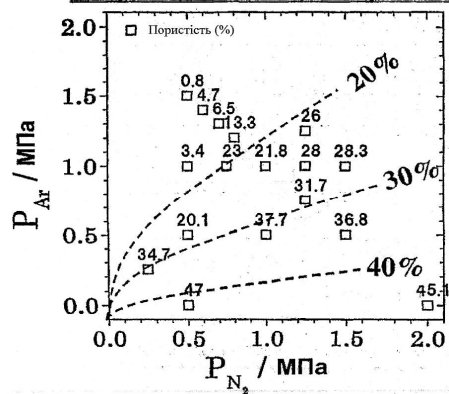
Фіг. 3

Розчинність азоту у залізі



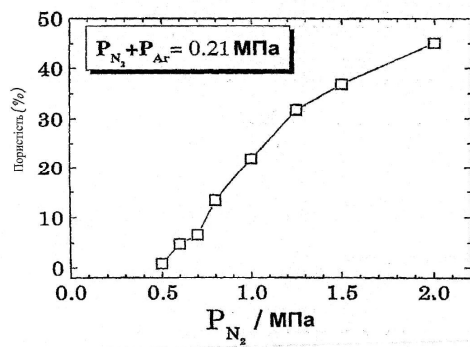
Фіг. 4

Експериментальні результати

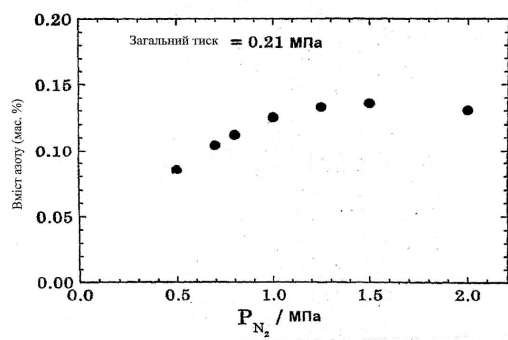


Фіг. 5

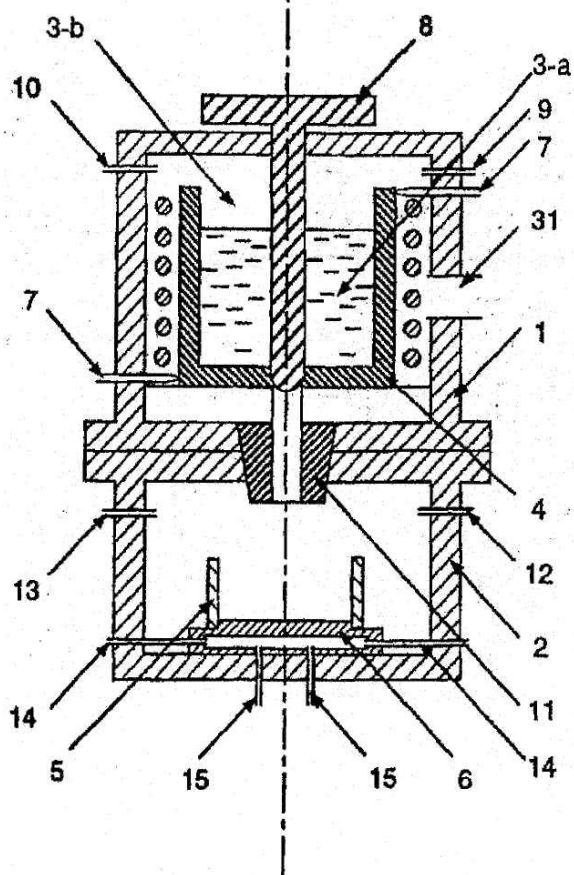
Графік залежності пористості від тиску газоподібного азоту



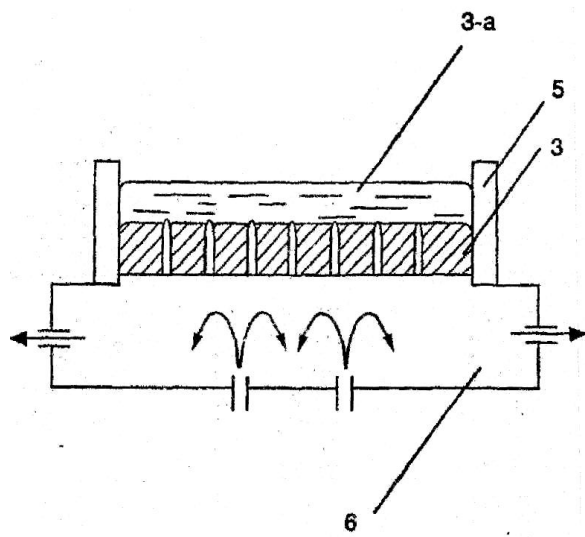
Фіг. 6



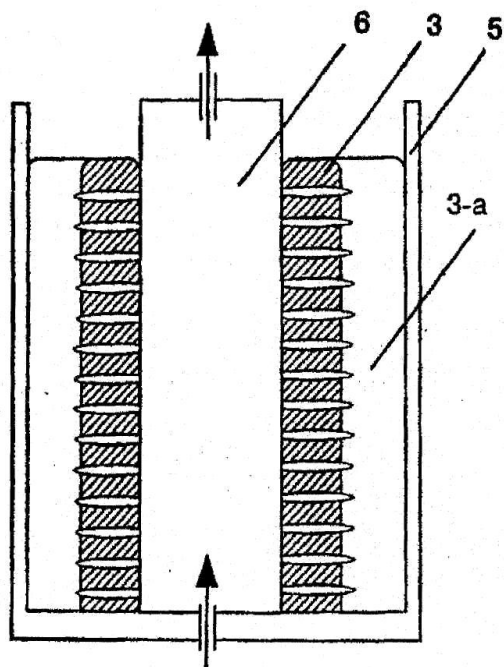
Фиг. 7



Фиг. 8



Фиг. 9



Фиг. 10

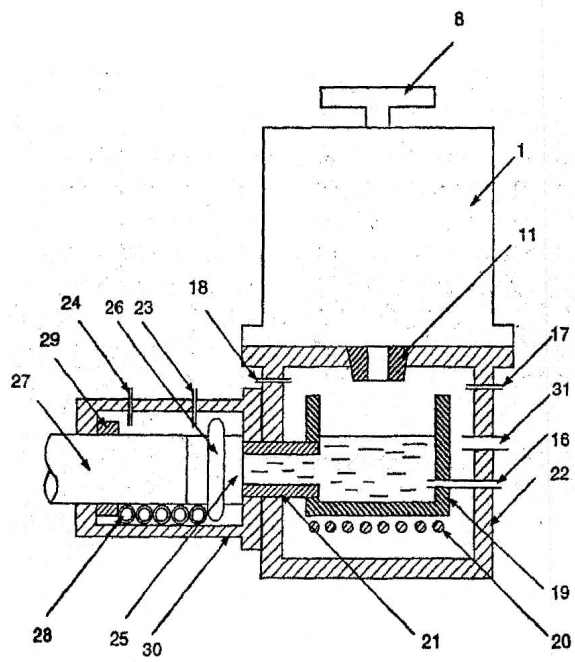


Fig. 11

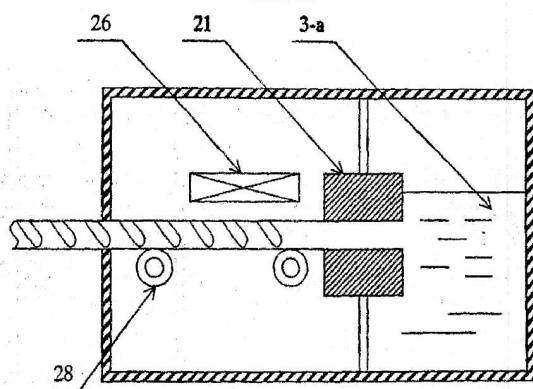


Fig. 12

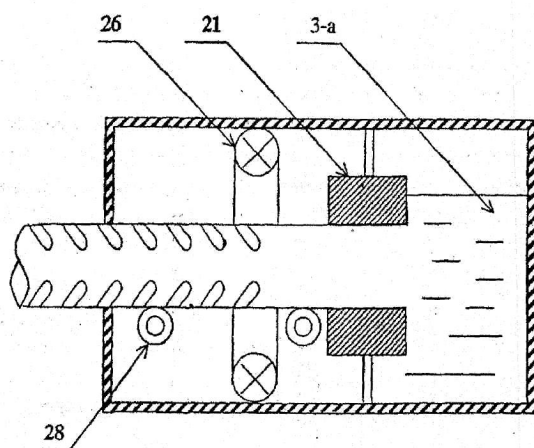


Fig. 13

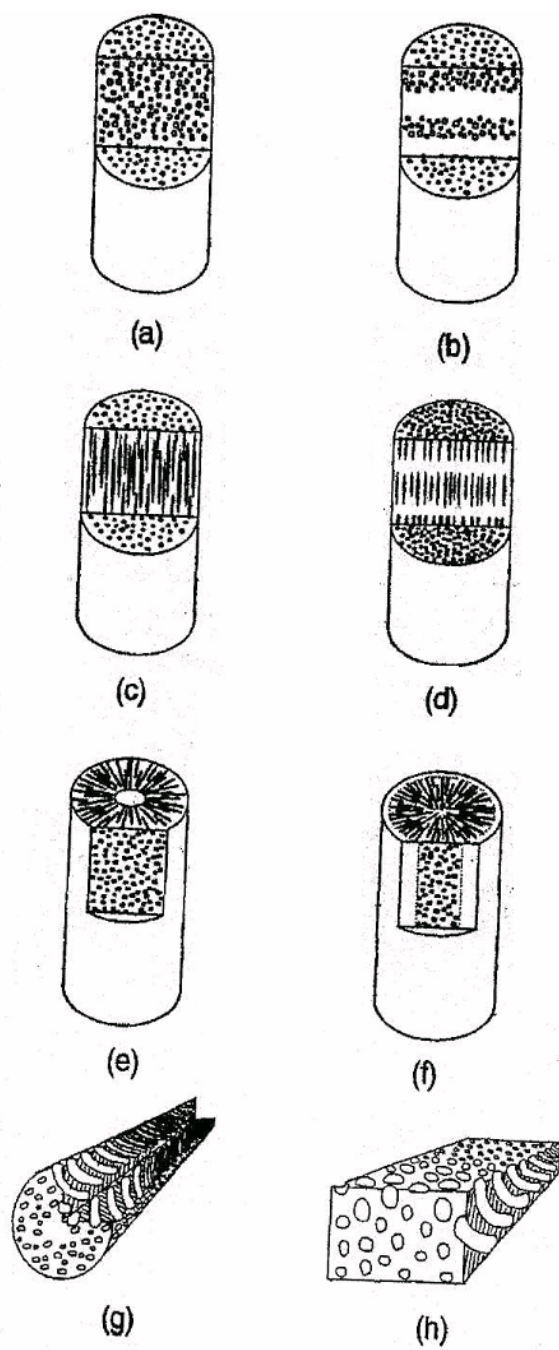


Fig. 14

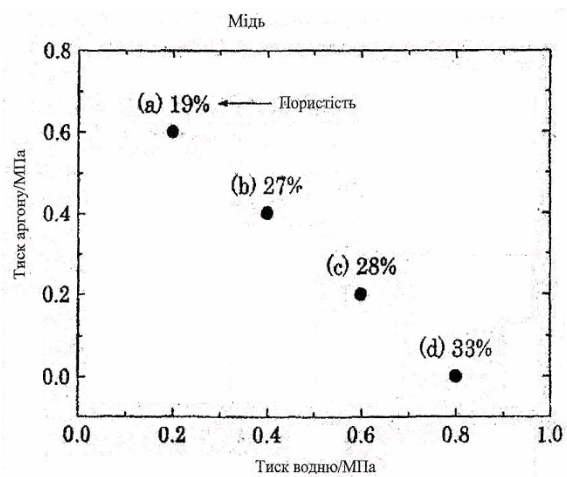


Fig. 15

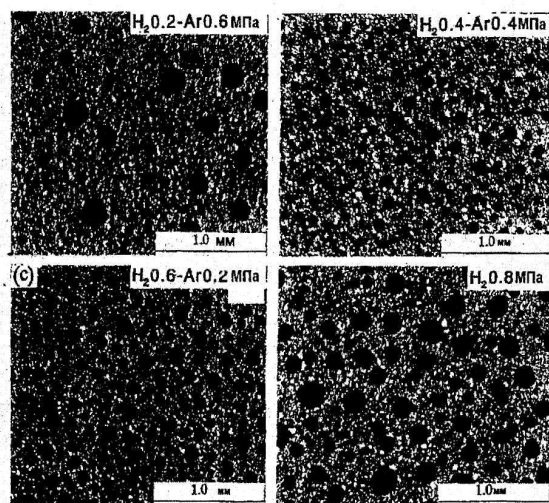
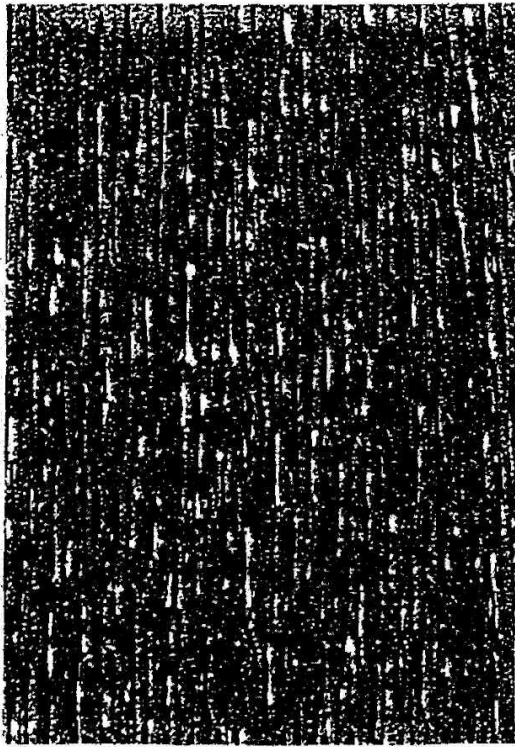
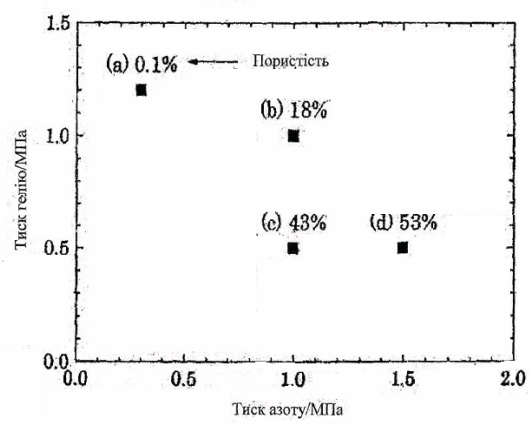


Fig. 16



Фиг. 17

Залізо



Фиг. 18

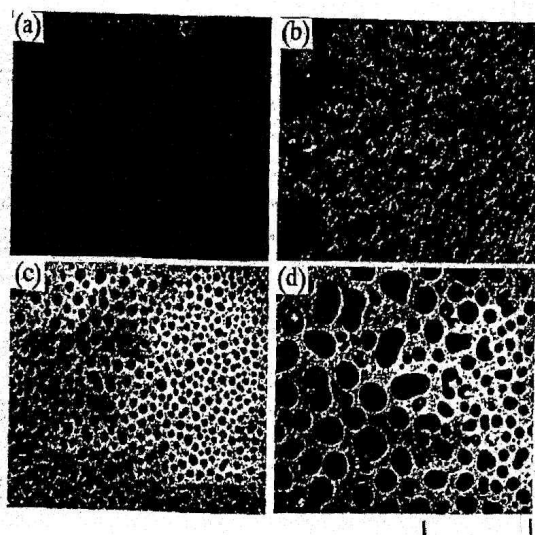


Fig. 19

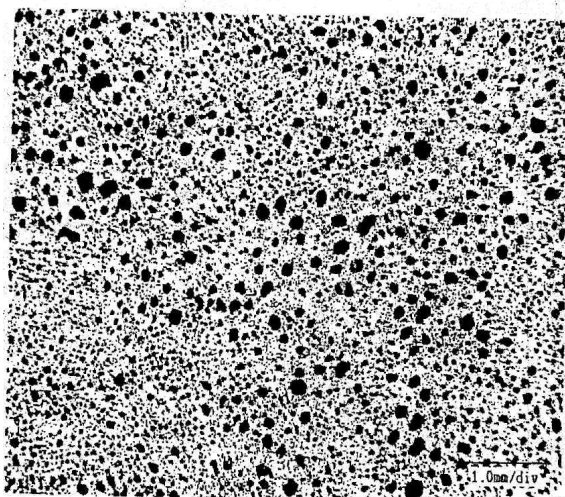


Fig. 20



Fig. 21

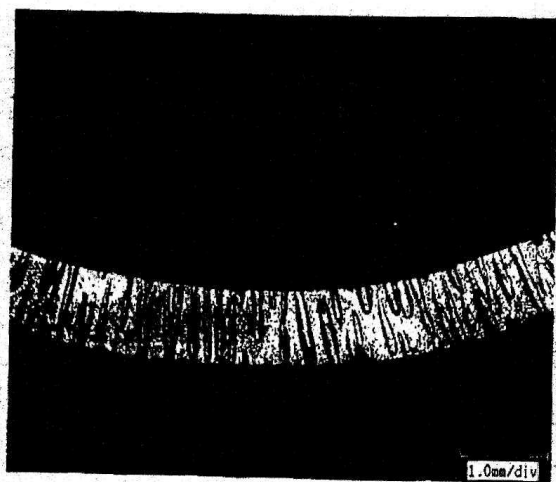


Fig. 22

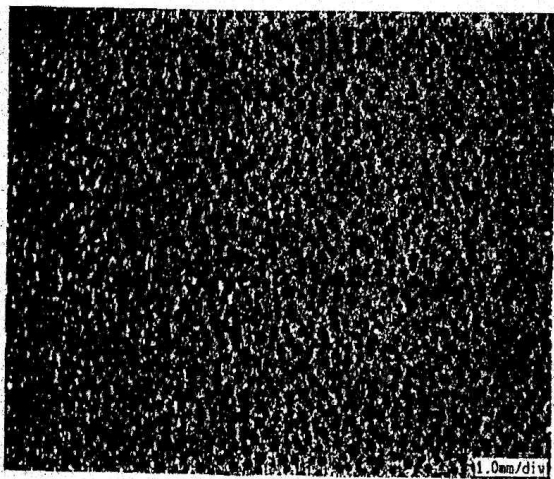


Fig. 23

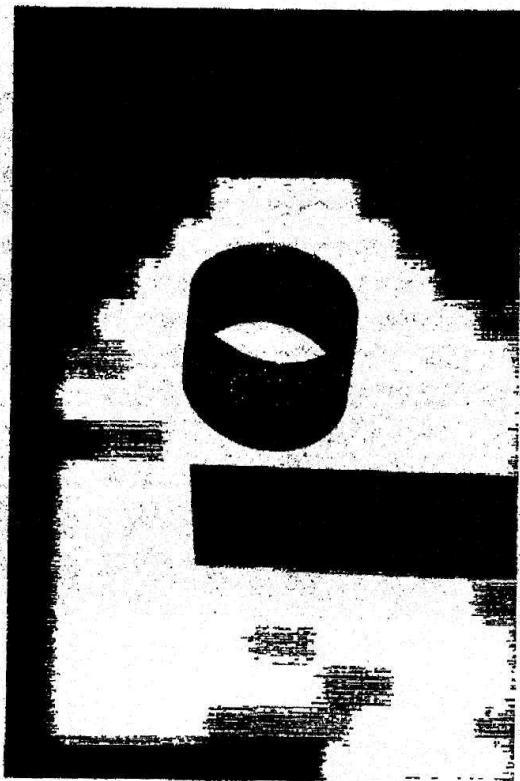
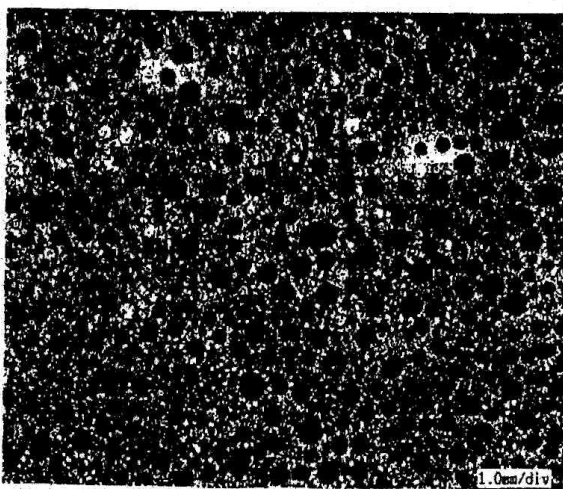


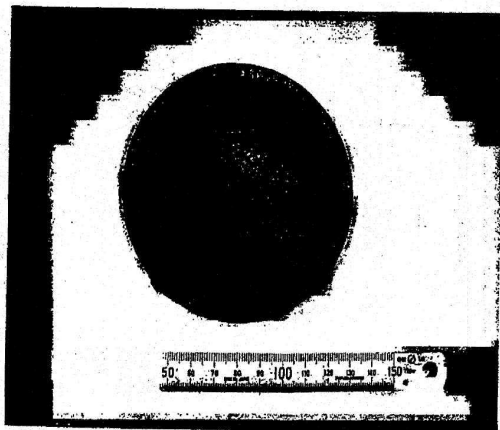
Fig. 24



Фиг. 25



Фиг. 26



Фиг. 27