



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129682** (13) **C2**
(51) МПК (2025.01)
B22F 3/105 (2006.01)
B33Y 10/00
B33Y 70/00
C22C 33/02 (2006.01)

НАЦІОНАЛЬНИЙ ОРГАН
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ ВЛАСНОСТІ
ДЕРЖАВНА ОРГАНІЗАЦІЯ
"УКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ
ОФІС ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ ТА ІННОВАЦІЙ"

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2022 02581 (22) Дата подання заявки: 20.12.2019 (24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 03.07.2025 (41) Публікація відомостей про заявку: 15.02.2023, Бюл.№ 7 (46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 02.07.2025, Бюл.№ 27 (86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: РСТ/IB2019/061158, 20.12.2019	(72) Винахідник(и): Мартінез Ана (ES), Молі Лаура (BE), Дель Ріо Фернандес Лаура (ES), Ван Стінберге Неле (BE), Дюпрез Лоде (BE) (73) Володілець (володільці): АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, 1160 Luxembourg, Luxembourg (LU) (74) Представник: Слободянюк Алла Василівна, реєстр. №25 (56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: WO 2018/024892 A1, 08.02.2018 EP 3533539 A1, 04.09.2019 US 2018/0339341 A1, 29.11.2018
---	--

(54) СПОСІБ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА МАРТЕНСИТНОСТАРІЮЧИХ СТАЛЕЙ**(57) Реферат:**

Винахід належить до способу адитивного виготовлення деталі з металічного порошку, який має в своєму складі такі елементи, мас. %: $6 \leq \text{Ni} \leq 14$; $5 \leq \text{Cr} \leq 10$; $0,5 \leq \text{Si} \leq 2,5$; $0,5 \leq \text{Ti} \leq 2$; $\text{C} \leq 0,04$, решту становить Fe і неминучі домішки, що утворюються в результаті обробки, металічний порошок має мікроструктуру в частках площі більше 98 % об'ємноцентрованої кубічної кристалічної фази, причому спосіб включає стадію, під час якої щонайменше частину металічного порошку розплавляють в атмосфері, що містить інертний газ, відмітний від аргону, або комбінації інертних газів, відмітних від аргону.

UA 129682 C2

Цей винахід відноситься до способу виготовлення мартенситно-старіючих сталей і, зокрема, їх адитивного виробництва. Цей винахід відноситься до металічного порошку для виготовлення мартенситно-старіючих сталей.

Множину деталей виготовляють зі смуг мартенситно-старіючої сталі, які містять у масових відсотках близько 18 % нікелю, 9 % кобальту, 5 % молібдену, 0,5 % титану і 0,1 % алюмінію і оброблених для досягнення границі пружності більше 1800 МПа. Ці смуги одержують шляхом гарячої прокатки і холодної прокатки. Смуги або деталі, вирізані зі смуг, потім проходять загартування термообробкою при температурі близько 500 °С. На жаль, форма деталей, одержуваних з допомогою цього процесу, так чи інакше є обмеженою.

Тому, метою цього винаходу є усунення недоліків відомого рівня техніки створенням адитивного способу виробництва мартенситно-старіючих сталей.

Для цього перший об'єкт цього винаходу складається зі способу виготовлення адитивної деталі з металічного порошку, який має склад, який містить такі елементи з масовим вмістом:

6 % $\leq$ Ni $\leq$ 14 %

5 % $\leq$ Cr $\leq$ 10 %

0,5 % $\leq$ Si $\leq$ 2,5 %

0,5 % $\leq$ Ti $\leq$ 2 %

C $\leq$ 0,04 %

і необов'язково містить:

0,5 % $\leq$ Cu $\leq$ 2 %

решту становить Fe і неминучі домішки, що виникають в результаті обробки, причому металічний порошок має мікроструктуру, яка включає в частках площі більше 98 % об'ємно-центрованої кубічної кристалічної фази, де спосіб включає стадію, під час якої, щонайменше, частину металічного порошку розплавляють в атмосфері, яка складається в основному з інертного газу, відмітного від аргону, або із комбінації інертних газів, відмітних від аргону.

Спосіб згідно винаходу, також може мати наведені нижче необов'язкові ознаки, які розглядаються окремо або в комбінації:

- інертним газом, відмітним від аргону, є азот,

- атмосфера містить менше 1000 част/млн кисню,

- інертний газ, відмітний від аргону, або комбінація інертних газів, відмітних від аргону, знаходяться в герметично закритій камері,

- деталь, виготовлена методом адитивного виробництва, виготовляється розплавленням в шарі порошку лазером (LPBF),

- потужність лазера становить 80-200 Вт,

- лінійна щільність енергії (LED) становить 175-550 Н,

- об'ємна густина енергії (VED) становить 100-510 Дж/мм³.

Інші характеристики і переваги винаходу будуть більш докладно описані в наступному описі.

Винахід буде краще зрозумілим при читанні подальшого опису, який надано виключно з метою пояснення і жодним чином не призначений для обмеження винаходу.

Нікель присутній в композиції винаходу у кількості 6-14 мас. % Для одержання повністю мартенситної структури кінцевої деталі потрібно, щонайменше, 6 мас. % нікелю. При вмісті вище 14 мас. % є тенденція до утворення залишкового аустеніту, що призводить до зниження міцності.

Вміст хрому становить 5-10 мас. % для покращення корозійної стійкості сталі.

Вміст кремнію становить 0,5-2,5 мас. % для забезпечення виділення G-фази. При вмісті Si вище 2,5 мас. % є тенденція блокування утворення аустеніту за високої температури і, отже, утворення мартенситу.

Вміст титану становить 0,5-2 мас. %. Для забезпечення дисперсійного зміцнення необхідно, щонайменше, 0,5 мас. % титану. Вміст Ti обмежений 2 мас. % з міркувань продуктивності.

Вміст вуглецю підтримується нижче 0,04 мас. %, щоб уникнути утворення карбідів титану, які сильно знижують ударну в'язкість, пластичність і в'язкість. Переважно вміст C не перевищує 0,015 мас. %.

Необов'язково додають мідь у кількості 0,5-2 мас. %. Комбінація Ti з більш ніж 0,5 мас. % Cu додатково покращує дисперсійне зміцнення. Вважається, що кластери, багаті на мідь, посилюють спільне виділення інших інтерметалідів, зокрема, виділення G-фази.

Решта складається із заліза і неминучих домішок, що виникають в результаті обробки. Основними домішками є алюміній, арсеній, вісмут, кадмій, кобальт, магній, марганець, азот, фосфор, свинець, сірка, антимоній, олово, кисень, ванадій. Вони не додаються цілеспрямовано. Вони можуть бути присутніми у феросплавах і/або чистих сировинних елементах. Їх вміст

переважно контролюють, щоб уникнути негативної зміни мікроструктури і/або збільшення розміру зерна і крихкості. Тому вміст кожної домішки має бути обмежений 0,05 мас. %.

Металічний порошок має мікроструктуру, яка включає за площею більше 98 % об'ємно-центрованої кубічної кристалічної фази. Ця фаза може бути мартенситною і/або феритною. Її можна виміряти за допомогою рентгенофазового аналізу (XRD) або дифракції зворотного розсіювання електронного променя (EBDS).

Сферичність порошку є високою. Сферичність SPHT може бути виміряна за допомогою Camsizer і визначається за ISO 9276-6 як $4\pi A/P^2$, де A – виміряна площа, яка покриває проекцією частинки, а P – виміряний периметр/довжина кола проекції частинки. Значення 1,0 вказує на ідеальну сферу. Середня сферичність порошку становить, щонайменше 0,75. Завдяки такій сферичності металічний порошок є досить сипким. Отже, адитивне виробництво спрощується.

Переважає, щонайменше 80 % частинок металевого порошку мають розмір в діапазоні 20-260 мкм.

Розподіл частинок за розмірами, виміряний з допомогою лазерної дифракції відповідно до ISO 13320:2009 або ASTM B822-17, переважно задовольняє таким вимогам (в мкм):

$25 \leq D_{10} \leq 35$

$80 \leq D_{50} \leq 100$

$170 \leq D_{90} \leq 280$.

Металічний порошок має відповідну сипкість з коефіцієнтом Хауснера нижче 1,25 і індексом Карра нижче 21 %. Коефіцієнт Хауснера (густина після ущільнення/об'ємна густина) і індекс Карра ((густина після ущільнення - об'ємна густина)/щільність після ущільнення×100 %) одержують із густини після ущільнення, виміряної відповідно до ASTM B527-15; ISO 3953:2011.

Порошок може бути одержаний шляхом попереднього змішування і плавлення чистих елементів і/або феросплавів як сировини.

Зазвичай бажані чисті елементи, щоб уникнути надто великої кількості домішок, які надходять з феросплавів, оскільки ці домішки можуть полегшити кристалізацію. Тим не менш, у випадку цього винаходу було помічено, що домішки, які надходять з феросплавів, не ускладнюють одержання мікроструктури.

Феросплави відносяться до різних сплавів заліза з високою часткою одного або кількох інших елементів, таких як хром, алюміній, марганець, молібден, кремній, титан... Основними сплавами є FeAl (який зазвичай містить 40-60 мас. % Al), FeB (який зазвичай містить 17,5-20 мас. % B), FeCr (який зазвичай містить 50-70 мас. % Cr), FeMg, FeMn, FeMo (який зазвичай містить 60-75 мас. % Mo), FeNb (який зазвичай містить 60-70 мас. % Nb), FeNi, FeP, FeSi (який зазвичай містить 15-90 мас. % Si), FeSiMg, FeTi (який зазвичай містить 45-75 мас. % Ti), FeV (який зазвичай містить 35-85 мас. % V), FeW (який зазвичай містить 70-80 мас. % Mo).

Чисті елементи можуть бути зокрема чистими металами, такими як-от залізо, мідь, нікель.

Фахівці в цій галузі техніки знають, як змішувати різні феросплави і чисті елементи для одержання цільового складу.

Переважає суміш містить феросплав FeCr, феросплав FeSi, феросплав FeTi, Cu, Ni і Fe.

Після того, як композиція одержана шляхом змішування чистих елементів і/або феросплавів у відповідних пропорціях, композицію нагрівають при температурі, щонайменше, на 210 °C вище температури її ліквідусу. Завдяки цьому перегріванню вдається уникнути затвердіння розплаву в тиглі. Крім того, зниження в'язкості розплавленої композиції сприяє одержанню порошку з високою сферичністю без супутніх елементів, з відповідним гранулометричним складом і специфічною структурою. Тим не менш, оскільки поверхневий натяг збільшується з температурою, переважно не нагрівати композицію до температури більш ніж на 350 °C вище температури її ліквідусу.

Переважає, композицію нагрівають при температурі на 215-250 °C вище температури її ліквідусу.

В одному варіанті винаходу композицію нагрівають до температури 1640-1720 °C, що являє собою хороший компроміс між зниженням в'язкості і збільшенням поверхневого натягу.

Потім розплавлену композицію розпорошують на дрібні краплі металу шляхом нагнітання потоку розплавленого металу через отвір сопла при помірному тиску і обдуваючи його струменями газу (розпилення газом) або води (розпилення водою). У разі розпилення газом газ вводять в металічний потік безпосередньо перед виходом із сопла, яке служить для створення турбулентності, оскільки захоплений газ розширюється (через нагрівання) і виходить у великий об'єм розпилювальної колоні. Остання заповнюється газом для подальшого завихрення струменя розплавленого металу. Краплі металу охолоджуються при падінні в розпилювальній колоні. Газове розпилення є переважним, оскільки воно сприяє одержанню частинок порошку,

які мають високий ступінь округлості і невелику кількість супутніх речовин.

Газом розпилення є аргон або азот. Обидва ці гази збільшують в'язкість розплаву повільніше, ніж інші гази, наприклад, гелій, що сприяє утворенню частинок менших розмірів. Вони також контролюють чистоту хімічного складу, дозволяючи уникати небажаних домішок, і відіграють ключову роль в хорошій морфології порошку. З аргонном можна одержати дрібніші частинки, ніж з азотом, оскільки молярна маса азоту становить 14,01 г/моль порівняно з 39,95 г/моль для аргону. З іншого боку, питома теплоємність азоту становить 1,04 Дж/(г·К) порівняно з 0,52 Дж/(г·К) для аргону. Тому, азот підвищує швидкість охолодження частинок. В цьому випадку переважним є азот, оскільки він може покращити утворення нано-виділень TiN за рахунок поглинання азоту порошком.

Тиск газу має велике значення, оскільки він безпосередньо впливає на розподіл частинок за розмірами і мікроструктуру металевго порошку. Зокрема, що вищий тиск, то вища швидкість охолодження. Отже, тиск газу встановлюють у межах 15-30 бар, щоб оптимізувати розподіл частинок за розмірами і сприяти формуванню мікроструктури. Переважно тиск газу встановлюють в межах 18-22 бар, щоб сприяти утворенню частинок, розмір яких найбільш сумісний з технологіями адитивного виробництва.

Діаметр сопла безпосередньо впливає на швидкість потоку розплавленого металу і, отже, на розподіл частинок за розмірами і на швидкість охолодження. Максимальний діаметр сопла обмежений 4 мм, щоб обмежити збільшення середнього розміру частинок і зниження швидкості охолодження. Діаметр сопла переважно становить 2,5-3,5 мм, щоб більш точно контролювати розподіл частинок за розмірами і сприяти формуванню певної мікроструктури.

Згідно з одним варіантом винаходу у разі поглинання вологи металевий порошок, одержаний розпиленням, висушують для подальшого покращення його сипкості. Сушіння переважно проводять при температурі 50-100 °C у вакуумній камері протягом однієї години.

Металевий порошок, одержаний розпиленням, можна використовувати як такий або просіяти, щоб зберегти частинки, розмір яких більш відповідає технології адитивного виробництва для подальшого використання. Наприклад, у разі адитивного виробництва методом розплавлення в шарі порошку лазером переважним є діапазон 20-63 мкм. У разі адитивного виробництва методом лазерного осадження металу або прямого осадження металу переважним є діапазон 45-150 мкм.

Деталі, виготовлені з металічного порошку згідно з винаходом, можуть бути одержані методами адитивного виробництва, такими як-от розплавлення в шарі порошку лазером (LPBF), пряме лазерне спікання металу (DMLS), електронно-променеве плавлення (EBM), селективне термічне спікання (SHS), селективне лазерне спікання (SLS), лазерне осадження металу (LMD), пряме осадження металу (DMD), пряме лазерне плавлення металу (DMLM), прямий друк металом (DMP), лазерне плакування (LC), струменеве нанесення, розпилення матеріалу, розпилення зв'язувальної речовини, моделювання методом наплавлення (FDM).

Несподівано було виявлено, що деталі, одержані з допомогою адитивного виробництва, мають відносну густину, яка сильно варіюється в залежності від інертного газу (газів), які використовуються в процесі виробництва. Під інертним газом мають на увазі, зокрема, азот, гелій, неон, аргон, криптон, ксенон і радон, враховуючи, що інертний газ або комбінація інертних газів може містити до 1000 част/млн O₂ як залишкову домішку наприкінці стадії інертизації. Зокрема, як тільки Ar використовується як інертний газ або додається до складу суміші інертних газів, відносна густина виготовлюваних деталей знижується. Зокрема, заміна N₂ на Ar сильно впливає на відносну густину при інших однакових параметрах процесу.

Переважно, весь металічний порошок, який розплавляється в процесі виробництва, розплавляють в атмосфері, яка складається в основному з інертного газу, відмітного від аргону, або з комбінації інертних газів, відмітних від аргону. Іншими словами, всі стадії, під час яких розплавляється, щонайменше, частина металічного порошку, виконують в атмосфері, яка складається в основному з інертного газу, відмітного від аргону, або з комбінації інертних газів, відмітних від аргону.

Залежно від використовуваної технології інертний газ може знаходитися в герметичній камері, яка використовується в процесі виробництва, якщо така є, або він може оточувати ванну розплаву.

Цей несподіваний результат особливо спостерігався під час виготовлення деталей методом розплавлення шару порошку лазером (LPBF).

LPBF є технологією пошарового адитивного виробництва. Тонкі шари металічного порошку рівномірно розподіляються з допомогою механізму нанесення покриття на платформу підкладки, зазвичай металічну, яка кріпиться до діляльного поворотного столу, який переміщається вздовж вертикальною осі (Z). Це відбувається всередині камери із жорстко

контрольованою атмосферою. Після розподілу кожного шару кожен 2D зріз геометрії деталі сплавляється шляхом вибіркового плавлення порошку. Це досягається з допомогою потужного лазерного променя, зазвичай ітербієвого волоконного лазера. Енергія лазера досить інтенсивна, щоб забезпечити повне плавлення (зварювання) частинок у вигляді доріжки або

5 смуги. По суті після того, як доріжка готова, процес повторюється з наступною доріжкою, яка відокремлена від першої на відстань штрихування (h). Процес повторюється шар за шаром, поки деталь не буде готова. Нависаюча геометрія підтримується нерозплавленим порошком з попередніх шарів. Схематично основними параметрами використовуваного процесу в LPBF, є товщина шару, відстань між штрихуваннями, швидкість сканування і потужність лазера. Після

10 завершення процесу порошок, що залишився, просівається для повторного використання.

Процес виготовлення адитивної деталі методом розплавлення порошку в шарі лазером (LPBF) включає першу стадію формування шару порошку з порошку згідно винаходу. Переважно, шар порошку становить менше 40 мкм. Більше 40 мкм лазер може не розплавити порошок по всій товщині шару, що може призвести до пористості деталі. Товщину шару

15 переважно підтримують в межах 10-30 мкм для оптимізації плавлення порошку.

На другій стадії сфокусований лазерний промінь формує формувальний шар шляхом плавлення, щонайменше, частини порошкового шару в умовах процесу, докладно описаного нижче.

У разі LPBF кожен шар друкованої деталі, щонайменше, частково розплавляється в атмосфері, яка в основному складається з інертного газу, відмітного від аргону, або з комбінації інертних газів, відмітних від аргону. Іншими словами, процес включає стадію, під час якої сфокусований лазерний промінь формує послідовні сформовані шари шляхом плавлення, щонайменше, частини металічного порошку в атмосфері, яка складається в основному з інертного газу, відмітного від аргону, або з комбінації інертних газів, відмітних від аргону.

Потужність лазера переважно обмежується максимум 200 Вт. Переважно, потужність лазера встановлюють вище 80 Вт, щоб полегшити плавлення по всій товщині шару. Переважно, лазерна пляма має ширину близько 55 мкм.

Швидкість сканування переважно становить 300-1000 мм/с. Нижче 300 мм/с надлишкова енергія, створювана лазером, може призвести до появи бризок, які, якщо не вивести належним чином за межі шару порошку, осядуть на шарі порошку, створивши порожнечі в друкованій деталі. При швидкості вище 1000 мм/с енергія, яка подається лазером на порошок, може бути недостатньою для розплавлення порошку по всій товщині шару. Більш переважно швидкість сканування становить 0,4-0,9 м/с, що додатково покращує якість друкованих деталей.

Лінійна щільність енергії (LED) переважно становить 160-890 Н. LED визначається як відношення потужності лазера до швидкості сканування, виражене в м/с. Нижче 160 Н LED може бути недостатньою для відповідного друку деталей (через зазори). Понад 890 Н надлишкова енергія, створювана лазером, може призвести до утворення бризок, які, якщо їх не вивести за межі шару порошку належним чином, осядуть на шарі порошку. Такі відкладення створюють порожнечі в друкованій частині. LED переважно становить 180-550, а більш

40 переважно 200-425, щоб ще більше обмежити виникнення зазорів, грудок і бризок.

Швидкість потоку подаваного в камеру інертного газу переважно перевищує 2 м/с, тому можливі бризки, які виникають при плавленні порошку, ефективно видаляються з порошкового шару. Таким чином запобігається пористість друкованої деталі. Більш переважно швидкість потоку газу становить 2-3,5 м/с.

Відстань між штрихами переважно становить 30-100 мкм. Нижче 30 мкм кожна точка друкованої деталі може багаторазово переплавлятися, що може призвести до перегрівання. Нерозплавлений порошок розміром понад 100 мкм може потрапити між двома доріжками. Більш переважно відстань між штрихами становить від 70-100 мкм.

Об'ємна густина енергії (VED) переважно становить 100-510 Дж/мм³, а більш переважно 120-400 Дж/мм³. VED визначається як $P/(v \cdot h \cdot l_t)$, де P – потужність лазера, v – швидкість сканування, h – крок штрихування, l_t – товщина порошкового шару. Така VED додатково сприяє уникнути порожнеч в друкованій частині. Це також допомагає уникнути перегрівання, яке може призвести до гарячого розтріскування.

Приклади

Наступні приклади і тести, подані нижче, не мають обмежувального характеру і повинні розглядатися лише з ілюстративною метою. Вони ілюструють переваги цього винаходу, значення параметрів, вибраних авторами після багатьох експериментів, і додатково визначають властивості, які можуть бути досягнуті з допомогою способу згідно винаходу.

Порошок №1:

Чисті елементи змішують так, щоб одержати композицію, яка містить 1,15 мас. % Si, 0,56

мас. % Ti, 0,97 мас. % Cu, 7,55 мас. % Cr, 7,07 мас. % Ni, 0,013 мас. % C, решту становить Fe і неминучі домішки, що виникають під час обробки. Композицію нагрівають при температурі на 215 °C вище за температуру її ліквідусу (тобто 1685 °C) і потім розпорошують газовим розпорошенням в азоті при 20 бар з діаметром сопла 3 мм.

- 5 Одержаний металічний порошок мав сферичність 0,79 і такий розподіл часток за розмірами, що D10=27,3 мкм, D50=70,4 мкм і D90=179,7 мкм. Металічний порошок мав відповідну сипкість з коефіцієнтом Хауснера 1,129 і індексом Карра 11,012 %.

Порошок № 2:

- 10 Феросплави і чисті елементи змішують так, щоб одержати композицію, яка містить 0,97 мас. % Si, 0,85 мас. % Ti, 1,00 мас. % Cu, 7,73 мас. % Cr, 7,15 мас. % Ni, 0,038 мас. % C, решта Fe і неминучі домішки, що виникають в результаті обробки. Композицію нагрівають при температурі на 215 °C вище за температуру її ліквідусу (тобто 1683 °C) і потім розпорошують газовим розпорошенням N₂ при 20 бар з діаметром сопла 3 мм.

- 15 Одержаний металічний порошок мав сферичність 0,82 і такий розподіл часток за розмірами, що D10=32,4 мкм, D50=92,7 мкм і D90=250,8 мкм. Металічний порошок мав відповідну сипкість з коефіцієнтом Хауснера 1,098 і індексом Карра 9,856 %.

Порошок № 3:

- 20 Феросплави і чисті елементи змішують так, щоб одержати композицію, яка містить 0,95 мас. % Si, 0,77 мас. % Ti, 1,06 мас. % Cu, 7,97 мас. % Cr, 7,11 мас. % Ni, 0,026 мас. % C, решта Fe і неминучі домішки, що виникають в результаті обробки. Композицію нагрівають при температурі на 236 °C вище за температуру її ліквідусу (тобто 1698 °C) і потім розпорошують газовим розпорошенням N₂ при 20 бар з діаметром сопла 3 мм.

- 25 Одержаний металічний порошок мав сферичність 0,77 і такий розподіл часток за розмірами, що D10=30,8 мкм, D50=89,8 мкм і D90=246,2 мкм. Металічний порошок мав відповідну сипкість з коефіцієнтом Хауснера 1,109 і індексом Карра 11,12 %.

Фракції F2 (тобто частинки розміром 20-63 мкм) порошоків № 1-3 потім використовують для виготовлення деталей методом LPBF в умовах процесу, докладно описаних в таблиці 1, і з товщиною шару 20 мкм.

- 30 Відносну густину друкованих деталей вимірюють спочатку шляхом вимірювання абсолютної густини методом Архімеда відповідно до ISO 3369:2006, а потім шляхом розрахунку відношення абсолютної густини і теоретичною густиною матеріалу (можливо, одержаної для деталі, відлитої з того самого складу, що друковані деталі).

- 35 Як видно з одержаних значень відносної густини, деталі, виготовлені в середовищі N₂, мають дуже високу відносну густину незалежно від умов процесу. Як тільки Ar використовується як інертний газ, відносна густина деталей сильно знижується.

Таблиця 1

Приклад №	Порошок №	Інертний газ	Потужність (Вт)	Швидкість (мм)	LED (Н)	Штрих (мм)	VED (Дж/мм ³)	Відносна густина
1*	1	N ₂	170	800	213	0,09	118	99,56 %
2*	1	N ₂	200	700	286	0,09	159	99,56 %
3*	1	N ₂	200	700	286	0,07	205	99,86 %
4*	1	N ₂	200	500	400	0,08	250	99,75 %
5*	1	N ₂	200	400	500	0,08	312	99,74 %
6*	1	N ₂	200	400	500	0,07	357	99,85 %
7*	2	N ₂	175	900	194	0,08	122	99,90 %
8	2	Ar	175	900	194	0,08	122	97,86 %
9*	2	N ₂	185	800	231	0,08	145	99,58 %
10*	2	N ₂	185	600	308	0,08	193	99,39 %
11*	2	N ₂	200	500	400	0,08	250	99,42 %
12*	2	N ₂	170	400	425	0,07	304	99,61 %
13*	3	N ₂	150	400	375	0,08	234	99,58 %
14	3	Ar	150	400	375	0,08	234	98,99 %
15*	3	N ₂	170	400	425	0,07	304	99,48 %
16	3	Ar	170	400	425	0,07	304	98,36 %
17*	3	N ₂	175	1000	175	0,07	124	99,06 %
18	3	Ar	175	1000	175	0,07	124	98,52 %
19*	3	N ₂	175	300	583	0,10	307	99,23 %
20	3	Ar	175	300	583	0,10	307	98,86 %
21*	3	N ₂	175	200	875	0,09	505	99,19 %
22	3	Ar	175	200	875	0,09	505	98,82 %
23*	3	N ₂	200	900	222	0,06	179	99,19 %
24	3	Ar	200	900	222	0,06	179	98,73 %

* відповідні винаходу

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб адитивного виготовлення деталі з металічного порошку, який має склад, який містить такі елементи, мас. %:
5 $6 \leq Ni \leq 14$,
 $5 \leq Cr \leq 10$,
 $0,5 \leq Si \leq 2,5$,
 $0,5 \leq Ti \leq 2$,
10 $C \leq 0,04$,
решту становлять Fe і неминучі домішки, що виникають в результаті обробки, причому металічний порошок має мікроструктуру, яка включає в частках площі більше 98 % об'ємноцентрованої кубічної кристалічної фази, причому спосіб включає стадію, під час якої щонайменше частину металічного порошку розплавляють в атмосфері, яка містить інертний газ, відмітний від аргону, або комбінації інертних газів, відмітних від аргону.
15 2. Спосіб за п. 1, за яким інертний газ, відмітний від аргону, є азотом.
3. Спосіб за п. 1 або 2, за яким атмосфера містить менше 1000 част./млн кисню.
4. Спосіб за будь-яким з пп. 1-3, за яким інертний газ, відмітний від аргону, або комбінація інертних газів, відмітних від аргону, знаходиться в закритій герметично камері.
20 5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, за яким деталь одержують адитивним способом, шляхом розплавлення шару порошку лазером (LPBF).
6. Спосіб за п. 5, в якому потужність лазера становить 80-200 Вт.
7. Спосіб за п. 5 або 6, за яким лінійна щільність енергії (LED) становить 175-550 Н.
25 8. Спосіб за будь-яким з пп. 5-7, за яким об'ємна густина енергії (VED) становить 100-510 Дж/мм³.