

Дана заявка є заявкою у часткове продовження заявки за серійним номером 10/847599 від 17 травня 2004 року, на яку заявляється пріоритет і на яку у даному тексті робиться посилання; котра є заявкою у часткове продовження заявки за серійним номером 10/172217 від 14 червня 2002 року, на яку заявляється пріоритет і на яку у даному тексті робиться посилання; і котра є заявкою у часткове продовження заявки за серійним номером 10/172218 від 14 червня 2002 року, на яку заявляється пріоритет і на яку у даному тексті робиться посилання; і котра є заявкою у часткове продовження заявки за серійним номером 10/329143 від 23 грудня 2002 року, на яку заявляється пріоритет і на яку у даному тексті робиться посилання; і котра є заявкою у часткове продовження заявки за серійним номером 10/350968 від 22 січня 2003 року, на яку заявляється пріоритет і на яку у даному тексті робиться посилання; і котра є заявкою у часткове продовження заявки за серійним номером 10/371743 від 19 лютого 2003 року, на яку заявляється пріоритет і на яку у даному тексті робиться посилання.

Даний винахід стосується продукування виробів, що включають металічні композиції на основі титану, і, більш конкретно, продукування виробів, що зроблені із металічних композицій на основі титану, котрі містять частинки бориду титану.

Рівень техніки

Одним із найбільш актуальних застосувань матеріалів у галузі авіаційних газотурбінних двигунів є диски компресорів та вентиляторів (котрі інколи називають "роторами"), на які спираються відповідні компресорні та вентиляторні лопатки. При роботі газової турбіни зазначені диски обертаються при багатьох тисячах обертів за хвилину, у середовищі з помірно підвищеними температурами. За вказаних робочих умов вони мають виявляти потрібні механічні властивості.

Деякі із деталей газотурбінних двигунів, такі як деякі диски компресорів та вентиляторів, виготовляються із титанових металічних композицій. Типово, дані диски виготовляються шляхом плавлення металічних складових вибраної титанової металічної композиції та виливання зливка даної титанової металічної композиції. Потім литий зливков перетворюють у заготовку. Зазначену заготовку потім піддають механічній обробці, звичайно, шляхом кування. Після цього оброблену заготовку піддають штампуванню осадженням та обробляють для виготовлення деталі із металічної композиції на основі титану.

Досягнення потрібних механічних властивостей при кімнатній температурі з їх збереженням до помірно підвищених температур, збереження достатньо високого опору щодо навколишнього середовища та запобігання попередньому руйнуванню - основні проблеми у виборі конструкційних матеріалів та виготовленні зазначених виробів. Хімія та мікроструктура даної металічної композиції мають давати гарантію того, що механічні властивості даного виробу знаходяться на належному рівні у межах робочих температур, принаймні до приблизно 1200 °F для деталей із металічної композиції на основі титану, про які йде мова. Верхня межа у приблизно 1200 °F для експлуатації таких деталей зумовлена, головним чином, зниженням статичної міцності та границі повзучості при більш високих температурах та тенденцією титану реагувати з киснем при підвищених температурах з утворенням крихкого, збагаченого киснем шару, що називають альфа оболонкою. Невеликі механічні або хімічні неоднорідності у кінцевій деталі можуть спричинити її попередню руйнацію при експлуатації, і зазначені неоднорідності мають бути мінімізовані або, якщо вони присутні, мають виявлятися за допомогою наявних засобів контролю та взяті до уваги. Такі неоднорідності можуть включати, наприклад, механічні неоднорідності, такі як тріщини та порожнини, та хімічні неоднорідності, такі як тверді альфа неоднорідності (котрі інколи називають включеннями низької щільності) та включення високої щільності.

Один із сучасних підходів для поліпшення властивостей металічних композицій на основі титану, включаючи високотемпературну міцність, полягає у введенні у дану металічну композицію бору з утворенням диспергованих у ній частинок бориду титану. Уведення бору здійснюється за допомогою кількох різних способів, таких як звичайна обробка типу лиття-та-ковка, методами порошкової металургії, такими як газове розпилення, та з допомогою змішаного елементного підходу. Перші два способи потерпають від обмеженої розчинності бору у титані. Бор має тенденцію до значної сегрегації, утворюючи відносно великі частинки бориду титану, котрі мають негативний вплив на пластичність та утому. Для виключення проблеми сегрегації рівні бору, котрий додається до даної металічної композиції у двох перших зазначених способах, жорстко обмежені, що обмежує потенційні вигоди введення бору, або швидкість охолодження підчас твердіння має бути вельми високою. Змішаний елементний підхід дозволяє вводити набагато більші кількості бору. Проте, оскільки бор звичайно вводиться у вигляді дибориду титану, а фазою, що знаходиться у термодинамічній рівновазі з альфа фазою титану, є вельми стабільний моноборид титану, при підвищених температурах потрібний значний час для повного перетворення дибориду титану у моноборид титану. Необхідні високі температури та тривалий час не дають можливості одержувати однорідну тонку дисперсію частинок бориду титану у даній металічній композиції.

З використанням існуючої практики плавлення, лиття та перетворення можливо виготовляти деталі із металічних композицій на основі титану, що не містять бору, такі як компресорні та вентиляторні диски, котрі цілком придатні для експлуатації. Проте, є бажання та потреба у такому способі виготовлення, який забезпечує отримання дисків та інших деталей з навіть ще більш поліпшеними властивостями, що зумовлено присутністю частинок бориду титану, та більш вільних від неоднорідностей, в результаті чого розширюються границі безпечної експлуатації. Даний винахід задовольняє цю потребу у поліпшеному способі і додатково запроваджує супутні переваги.

Стислий виклад винаходу

Даний підхід запроваджує спосіб виготовлення металевого виробу із металічної композиції на основі титану, яка містить також бор у кількості, що перевищує границю розчинності бору у даній металічній композиції. Даний виріб характеризується гарним сполученням механічних властивостей у межах температур до приблизно 1300 °F, можливим високим опором до руйнування, спричиненого окисненням у навколишньому середовищі, та низьким відсотком неоднорідностей. Модуль пружності даного матеріалу поліпшений, і опір до зносу підвищений завдяки присутності частинок бориду титану. Боридна дисперсія більш однорідна та тонка, ніж у матеріалах, отриманих з використанням інших способів. Матеріал, що одержаний з використанням даного підходу, має кращі властивості

при тих самих робочих температурах, у порівнянні зі звичайними титановими металічними композиціями, і також може бути використаний при більш високих робочих температурах, ніж ті температури, що можливі при використанні звичайних титанових металічних композицій. Даний підхід застосовує спосіб виготовлення, котрий надає можливість уведення металічних легуючих елементів, котрі не можуть бути легко введені у металічні композиції на основі титану у придатній формі та при придатному розподілі з використанням звичайних процедур сплавлення.

Спосіб виготовлення виробу, що зроблений зі складових елементів у відповідних пропорціях складово-елемент, включає стадії уведення принаймні однієї неметалічної сполуки-попередника, де всі неметалічні сполуки-попередники колективно містять складові елементи у своїх відповідних пропорціях складово-елемент. Складові елементи включають металічну композицію на основі титану, і бор присутній на рівні, більшому, ніж границя розчинності у твердому стані при кімнатній температурі у даній металічній композиції на основі титану. Сполуки-попередники хімічно відновлені з утворенням матеріалу, котрий включає металічну композицію на основі титану, що має частинки бориду титану, без плавлення зазначеної металічної композиції на основі титану. Як застосовується у даному тексті, вираз "борид титану" стосується TiB , TiB_2 , Ti_3B_4 або інших сполук, що містять титан-бор, можливо модифікованих через присутність легуючих елементів. Зазначена металічна композиція на основі титану, що має частинки бориду титану, ущільнюється з одержанням ущільненого виробу без плавлення даної металічної композиції на основі титану та без плавлення даної ущільненої металічної композиції на основі титану. Даний підхід сумісний з варіантами, що обговорюються тут, та з тими, на які у даному тексті робиться посилання.

Борний складовий елемент уводиться, краще, у кількості, що не перевищує такої, котра потрібна для утворення приблизно 90 відсотків за об'ємом бориду титану в зазначеному ущільненому матеріалі. Більш конкретно, неметалічні сполуки-попередники вибираються у такий спосіб, що бор присутній у даному ущільненому матеріалі у кількості, яка не перевищує приблизно 17 вагових відсотків зазначеного ущільненого матеріалу. Краще, коли неметалічні сполуки-попередники вибираються у такий спосіб, що бор присутній у даному ущільненому матеріалі у кількості від приблизно 0,05 до приблизно 17 вагових відсотків зазначеного ущільненого матеріалу. Кількість бору, присутнього у даному матеріалі, можна розглядати у двох областях, це гіпоeutектична область, котра для бінарної системи титан-бор знаходиться у межах від приблизно 0,05 до приблизно 1,5 вагових відсотків бору, та гіперeutектична область, котра для бінарної системи титан-бор знаходиться у межах від приблизно 1,5 до приблизно 17 вагових відсотків бору. Сплави з іншими елементами, окрім титану та бору, можуть мати інші фази та області, але підпадають під обсяг даного підходу. Даний підхід дозволяє виготовляти матеріали, що мають такий самий вміст бору, котрий може досягатись з використанням інших способів, типово, приблизно до 5 вагових відсотки бору, і також матеріали, що мають більший вміст бору, ніж може досягатись при використанні інших способів, типово, у межах від приблизно 5 до приблизно 17 вагових відсотків бору. В усіх випадках зазначені матеріали містять тонку, однорідну дисперсію бориду титану.

Бор присутній на рівні, що перевищує його розчинність у твердому стані при кімнатній температурі у даній матриці із металічної композиції на основі титану, до рівня, котрий потрібен для утворення не більше приблизно 90 об'ємних відсотків бориду титану. Для менших добавок, що перевищують границю розчинності у твердому стані, утворюється тонка дисперсія частинок бориду титану, забезпечуючи тим самим вигоди значних високотемпературної статичної міцності та границі високотемпературної повзучості. Для більших добавок, що перевищують границю розчинності у твердому стані, існують більша об'ємна фракція присутніх частинок бориду титану та значні вигоди зміцнення згідно з правилом адитивності. При обох рівнях добавок бору, що перевищують границю розчинності у твердому стані, модуль пружності та стійкість до зносу даного матеріалу суттєво поліпшені у порівнянні зі звичайними металічними композиціями на основі титану.

При потребі, стадія введення може включати стадію введення неметалічної сполуки-попередника, адитивного елемента, утворювача оксиду, що утворює стабільний оксид у металічній композиції на основі титану. У такому матеріалі принаймні один адитивний елемент присутній на рівні, який перевищує границю його розчинності у твердому стані при кімнатній температурі у зазначеній металічній композиції на основі титану. Даний спосіб включає додаткову стадію, після стадії хімічного відновлення, окиснення металічної композиції, включаючи адитивний елемент, утворювач оксиду, при температурі, що перевищує кімнатну температуру. На стадії введення або стадії хімічного відновлення може додаватись інша адитивна складова.

Адитивний елемент - утворювач стабільного оксиду - являє собою сильний оксидоутворювач у металічній композиції на основі титану. Деякі адитивні елементи-утворювачі стабільного оксиду нездатні утворити стабільний оксид, коли дана металічна композиція на основі титану не містить, по суті, кисню в твердому розчині, і потребують для утворення стабільного оксиду наявності у даному розчині до приблизно 0,5 вагових відсотків кисню. Наявність таких адитивних елементів - утворювачів стабільного оксиду - підпадає під обсяг даного підходу, оскільки такі рівні кисню можуть бути присутніми у металічній композиції на основі титану даного винаходу. Таким чином, краще, коли зазначена металічна композиція на основі титану містить від 0 до приблизно 0,5 вагових відсотків кисню у твердому розчині. Вона може містити більші кількості кисню у твердому розчині, хоча пластичність може бути знижена, якщо кисень міститься у кількості, що перевищує приблизно 0,5 вагових відсотки. Адитивні елементи - утворювачі стабільного оксиду, яким віддається перевага, включають магній, кальцій, скандій, ітрій, лантан, церій, празеодим, неодим, прометій, самарій, європій, гадоліній, тербій, диспрозій, гольмій, ербій, тулій, ітербій, лютецій та їх суміші. Зазначені елементи не можуть бути введені у металічні композиції на основі титану на рівнях, що перевищують границю їх розчинності, з використанням звичайних способів сплавлення, через їх обмежену рідкофазову змішуваність, реакційність по відношенню до плавильних тиглів, та/або утворення грубих грудок підчас твердіння, що призводить до негативних ефектів щодо властивостей.

Вміст кисню може контролюватись до та/або підчас стадії відновлення, як буде описано далі. Кисень реагує з уведеними, при потребі, адитивними елементами - утворювачами стабільного оксиду з утворенням суттєво

однорідно розподіленої оксидної дисперсії у матриці із металічної композиції підчас або після стадії відновлення. Зазначена оксидна дисперсія поліпшує властивості кінцевого металевго виробу, зокрема, в плані границі повзучості при підвищених температурах, подібно до тонкої дисперсії бориду титану. Дана тонка оксидна дисперсія може змінити природу утвореної підчас експозиції окалини; якщо підчас або після відновлення не весь утворювач стабільного оксиду піддався окисненню, він може активно поглинати кисень, діючи як гетер, підчас експлуатації.

Сполука-попередник або сполуки-попередники вводяться у формі, що придатна для вибраного способу хімічного відновлення. Вони можуть вноситись, наприклад, як металічні оксиди або металічні галогеніди. Вони можуть подаватись на хімічне відновлення у вигляді попередньо стиснутої маси, краще, більшої за розміром, ніж потрібний розмір кінцевого виробу, у тонкоподрібненій формі або у газуватій чи рідкій формі.

Хімічне відновлення може проводитись з використанням будь-якого діючого підходу, доки даний металічний композиційний матеріал не плавиться. Якщо він плавиться, наступне повторне твердіння призводить до втрати багатьох переваг даного винаходу через особливості твердіння металічних фаз, бору та адитивного(их) елементу(тів), утворювача(чів) стабільного оксиду. Підходом, якому віддається перевага, є відновлення із парової фази, де зазначені сполуки-попередники та відновлений металічний композиційний матеріал не піддаються плавленню, і може застосовуватись також твердофазове відновлення. Даний спосіб відновлення дає металічний композиційний матеріал у такій фізичній формі, що є характерною для даного вибраного відновлювального способу. Наприклад, даний матеріал може являти собою губку або множину частинок.

Виготовлення металічної композиції на основі титану та виробу без плавлення має важливі переваги. Суттєвим у даному винаході є те, що бор та більшість адитивних елементів, котрі вводяться, при потребі, як утворювачі стабільних оксидів, не змішуються у достатній мірі з розплавленим титаном та титановими металічними композиціями щоб забезпечити введення великих кількостей у розплав та, відповідно, у плавлені та відлиті титанові металічні композиції, і/або ці елементи мають мінімальну розчинність у металічній композиції на основі титану з тим результатом, що після плавлення та виливання придатна структура, що містить боридну та оксидну дисперсію, не може утворитись. Коли робляться спроби щодо введення значної кількості бору шляхом плавлення та лиття або методами порошкової металургії, бор присутній у вигляді великих частинок боридної сполуки у кінцевому виробі з відповідним погіршенням властивостей, як зазначалось вище. Крім того, якщо адитивні елементи, утворювачі стабільних оксидів, вводяться, при потребі, шляхом плавлення та лиття, результатом буде хімічна реакція з навколишнім середовищем або розплавленим металом, і присутність зазначених адитивних елементів, утворювачів стабільних оксидів, у вигляді великих грудок у кінцевому виробі. Ці грудки матеріалу не запроваджують кисневу реакцію та потрібні гетерні (щодо кисню) властивості, які досягаються при застосуванні даного підходу.

Крім того, продукування даного матеріалу та виробу без застосування плавлення дозволяє запобігти забрудненню та сегрегації елементів, котрі пов'язані зі звичайними процесами виготовлення титанової губки, плавлення та легування і лиття. Даний металічний композиційний матеріал може бути одержаний без внесення забруднень, котрі характерні для звичайних процесів виготовлення металічної губки, та пов'язані з операціями плавлення та лиття. Особливу турботу викликає забруднення титанової металічної композиції залізом, хромом та нікелем, котрі можуть вноситись із посудин для продукування губки, оскільки ці елементи негативно впливають на границю повзучості даних титанових металічних композицій.

Після хімічного відновлення даний металічний композиційний матеріал, краще, ущільнюється з одержанням ущільненого металевго виробу, без плавлення даного металічного композиційного матеріалу та без плавлення ущільненого металевго виробу. Для цього може бути використаний будь-який діючий метод ущільнення, такий як гаряче ізостатичне пресування, кування, екструзія, пресування та спікання, або пряма порошкова ущільнююча екструзія чи прокатка, або комбінація перелічених методів. Ущільнення проводиться, краще, при максимально низькій температурі, щоб виключити укрупнення частинок бориду титану та додаткової оксидної дисперсії, та/або частинок утворювача стабільних оксидів. Як і на ранніх стадіях обробки, якщо металічний матеріал плавиться, при повторному твердінні переваги у значній мірі втрачаються через особливості твердіння даного матеріалу та внесення неоднорідностей при плавленні та твердінні.

Зазначений ущільнений виріб може бути оброблений у механічний спосіб, як це потрібно, з використанням будь-яких механічних засобів формування.

Зазначений матеріал може бути підданий термообробці як після стадії хімічного відновлення, після стадії ущільнення (якщо така застосовується), після механічної обробки, так і пізніше.

Після охолодження до кімнатної температури даний металічний композиційний матеріал являє собою металічну композицію на основі титану, що містить частинки бориду титану у вигляді як тонкої дисперсії, так і більшої об'ємної фракції фази бориду титану, і, при потребі, диспергований(і) в ній адитивний(і) елемент(и), утворювач(и) стабільних оксидів. Зазначений адитивний елемент, утворювач стабільного оксиду, або елементи присутні у твердому розчині (або нижче границі розчинності, або у пересиченому стані) та/або як одна або кілька дискретних дисперсійних фаз. Дані дисперсійні фази можуть бути неокисненими адитивними елементами, утворювачами стабільних оксидів, або вже окисненою дисперсією чи сумішшю обох. Адитивні елементи, утворювачі стабільних оксидів, котрі знаходяться у твердому розчині, або неокиснена дискретна дисперсія готові до наступної реакції з киснем, який може бути присутнім у матриці або дифундує у даний металічний матеріал підчас наступної обробки чи експлуатації.

Зазначений ущільнений матеріал може утворювати весь виріб або може додаватись як вкладка до іншого виробу, що виготовлений у будь-який спосіб, включаючи традиційне лиття та обробку, лиття або подібний підхід, як тут описано. Дана вкладка може включати єдину, суттєво однорідну об'ємну композицію, або може включати суміш принаймні двох матеріалів, що складаються із різних об'ємних композицій. У будь-якому із цих варіантів, де зазначений ущільнений матеріал вводиться як вкладка, оточуючий її виріб може мати такий самий або інший склад. Дана вкладка може запроваджуватись у будь-який робочий момент обробки.

У типовому застосуванні, де, при потребі, вводиться елемент, утворювач стабільного оксиду, виготовлений виріб піддається окисненню або у середовищі, що містить кисень, або за реакцією з киснем у титані, при температурі, котра перевищує кімнатну температуру, і звичайно складає більше приблизно 1000 °F, після хімічного відновлення, що переводить його у металічну форму. В результаті окиснення принаймні деяка кількість залишеної частини адитивного(них) елементу(тів), утворювача(чів) стабільних оксидів, що не прореагувала, піддається хімічній реакції з киснем, утворюючи додаткові оксидні дисперсоїди у даному матеріалі. Експозиція у кисні може мати місце або під час експлуатації або як частина термообробки, що передуює експлуатації, або на обох стадіях. Коли зазначена експозиція має місце під час експлуатації, киснеутворюючий(чі) елемент(и) хімічним шляхом об'єднуються (тобто діють як гетер) з киснем, який дифундує у зазначений виріб із навколишнього середовища. Ця реакція найбільш інтенсивно відбувається поблизу поверхні даного виробу, так що результуюча дисперсія оксидних дисперсоїдів утворюється, головним чином, поблизу поверхні. Коли зазначена експозиція є частиною термообробки, глибина шару оксидної дисперсії може контролюватись до деякої визначеної величини. У випадку, коли даний металевий виріб є дуже тонким (наприклад, приблизно 0,005 дюйм або менше), може бути одержана однорідна дисперсія.

Утворення боридної дисперсії має кілька важливих вигод. По-перше, суттєво однорідно розподілена дисперсія допомагає досягти потрібних механічних властивостей, включаючи статичну міцність, втомну міцність та границю повзучості, котрі зберігають стабільність протягом тривалих періодів експозиції при підвищених температурах, завдяки дисперсійному зміцненню матриці із базового металу на основі титанової металічної композиції. Суттєво однорідно розподілена дисперсія допомагає також обмежити ріст зерна зазначеної матриці із базового металу на основі титанової металічної композиції. По-друге, модуль пружності металічної композиції на основі титану суттєво підвищений, що дозволяє даному виробу витримувати суттєво більші навантаження при пружному деформуванні. По-третє, опір до зносу та до ерозії даного виробу суттєво поліпшений, що забезпечує триваліший термін експлуатації у даному застосуванні. По-четверте, наявність тонкої дисперсії дає поліпшену пластичність у порівнянні з виробом, що виготовлений з використанням звичайних методів типу лиття-за-ковка, лиття або методів порошкової металургії, таких як газове розпилення або змішаний елементний підхід. Зазначена боридна дисперсія може бути утворена у будь-якій металічній матриці на основі титану, включаючи альфа, близьку до альфа, альфа плюс бета, близьку до бета та бета титанові металічні композиції, і будь-які інтерметаліди на основі титану, включаючи ті, що базуються на альфа-2, орторомбічному та гамма титанових алюмінідах.

Додаткове, при потребі, утворення оксидної дисперсії має кілька важливих вигод. По-перше, суттєво однорідно розподілена дисперсія допомагає досягти потрібних механічних властивостей, котрі зберігають стабільність протягом тривалих періодів експозиції при підвищених температурах, завдяки дисперсійному зміцненню матриці із базового металу, і також допомагає обмежити ріст зерна зазначеної матриці із базового металу. По-друге, коли експозиція у кисні навколишнього середовища відбувається під час передексплуатаційного окиснення або під час експлуатації, кисень, що дифундує у даний виріб, звичайно зумовить утворення "альфа оболонки" поблизу поверхні звичайних титанових металічних композицій, що містять альфа-фазу. У даному підході адитивні елементи, утворювачі стабільного оксиду, або у розчині, або як окрема фаза, поглинають внутрішню дифундуючий кисень із твердого розчину і запроваджують додаткову оксидну дисперсію, чим знижують можливість утворення альфа оболонки та зв'язану з цим можливу попередню руйнацію. По-третє, у деяких випадках зазначені оксидні дисперсоїди мають більший об'єм, ніж дискретні металічні фази, із яких вони утворились. Утворення даних оксидних дисперсоїдів призводить до виникнення стану стискуючого напруження, котрий більше виражений поблизу поверхні даного виробу, ніж у глибині виробу. Такий стан стискуючого напруження допомагає запобігти попередньому утворенню тріщин та їх росту під час експлуатації. По-четверте, утворення стабільної оксидної дисперсії у поверхні даного виробу діє як бар'єр для внутрішньої дифузії додаткового кисню. По п'яте, вилучення надлишкового кисню у розчині із матриці дає можливість уводити більші кількості металічних легуючих альфа-стабілізуючих елементів, таких як алюміній та олово, що у свою чергу сприяє поліпшенню модуля пружності, границі повзучості та опору до окиснення даної матриці. По-шосте, присутність надлишкового кисню у розчині у деяких типах титанових металічних композицій, таких як альфа-2, орторомбічний та на основі гамма-фази алюмінідів, знижує пластичність даної титанової металічної композиції. У даному підході зазначений кисень поглинається, так що пластичність у значній мірі не погіршується.

Таким чином, даний підхід поширюється на виріб, що включає матрицю із титанової металічної композиції, деякий розподіл стабільних дисперсоїдів із бориду титану та, при потребі, деякий розподіл стабільних оксидних дисперсоїдів у зазначеній матриці із титанової металічної композиції. Бор присутній у кількості, що перевищує границю розчинності у твердому стані при кімнатній температурі у зазначеній матриці із титанової металічної композиції. Додаткові стабільні оксидні дисперсоїди являють собою оксиди адитивних елементів, утворювачів стабільного оксиду, що присутні у кількості, яка перевищує границю розчинності у твердому стані при кімнатній температурі у зазначеній матриці із титанової металічної композиції. Зазначена матриця із титанової металічної композиції не має мікроструктури, що характерна для плавленої-та-литої структури. Даний виріб може характеризуватись й іншими спорідненими властивостями, що обговорювались тут.

Виріб включає матрицю із титанової металічної композиції та деякий розподіл частинок бориду титану у зазначеній матриці із титанової металічної композиції, де даний виріб має від приблизно 0,05 до приблизно 17 вагових відсотків бору. Даний виріб може включати принаймні 0,1 об'ємний відсоток оксиду адитивного елементу. Інші споріднені властивості, що обговорювались у даному тексті, можуть бути застосовані до даного варіанту.

Краще, даний виріб виготовляється без присутності будь-якої вільно розподіленої фази бориду титану. Тобто один із можливих підходів для виготовлення виробу на основі титану з диспергованою у ньому фазою бориду титану полягає в одержанні фази бориду титану у вигляді вільно розташованих частинок, такому як порошок або волокна, з наступним диспергуванням зазначених вільно розташованих частинок у композиції на основі титану. Цей підхід має той недолік, що зазначені частинки звичайно більші за розмірами, ніж ті, що утворюються у даному

підході, і можуть мати дефекти, котрі погіршують їх механічні властивості, і їх важче диспергувати однорідним чином у матриці на основі титану.

Таким чином, даний підхід запроваджує металевий виріб на основі титану з поліпшеними властивостями та поліпшеною стабільністю. Інші особливості та переваги даного винаходу стануть зрозумілими із наступного більш детального опису варіанту, якому віддається перевага, взятого разом з супровідними фігурами, що ілюструють, як приклад, принципи даного винаходу. Проте, обсяг даного винаходу не обмежується зазначеним варіантом, якому віддається перевага.

Стислий опис фігур

Фігура 1 являє собою структурну блок-схему варіанту для практичного втілення даного винаходу;

Фігура 2 являє собою ідеалізовану мікроструктуру металевого виробу після деякого окиснення, що дає однорідну оксидну дисперсію;

Фігура 3 являє собою ідеалізовану мікроструктуру металевого виробу після внутрішньої дифузії кисню під час термообробки або експлуатації;

Фігура 4 являє собою ідеалізовану мікроструктуру вкладки мікроскопічного рівня в області на основі титану;

Фігура 5 являє собою ідеалізовану мікроструктуру двох різних типів металічних композицій на основі титану з бором, що поєднані на мікроскопічному рівні в єдину структуру;

Фігура 6 являє собою ідеалізовану мікроструктуру матеріалу, що має зерна з високим вмістом бору та зерна з низьким вмістом бору;

Фігура 7 являє собою ідеалізовану мікроструктуру матеріалу, що має зерна з високим вмістом бору та зерна, що, по суті, не містять бору;

Фігура 8 являє собою вид у перспективі газотурбінної деталі, що виготовлена з використанням даного підходу і містить титаново-борну вкладку; та

Фігура 9 являє собою розріз газотурбінної деталі Фігури 8 уздовж лінії 9-9.

Детальний опис винаходу

Фігура 1 змальовує спосіб, якому віддається перевага, виготовлення металевого виробу, що зроблений зі складових елементів у відповідних пропорціях складова-елемент. Уводиться принаймні одна неметалічна сполука-попередник, стадія 20. Всі неметалічні сполуки-попередники містять разом складові елементи у своїх відповідних пропорціях складова-елемент. Металічні елементи можуть постачатись сполуками-попередниками у будь-який діючий спосіб. У підході, якому віддається перевага, для кожного металічного легуючого елемента є точно одна сполука-попередник, і ця одна сполука-попередник запроваджує увесь матеріал для відповідної металічної складової у даній металічній композиції. Наприклад, для чотирьохелементного металічного матеріалу, котрий є кінцевим результатом даного процесу, перша сполука-попередник постачає весь перший елемент, друга сполука-попередник постачає весь другий елемент, третя сполука-попередник постачає весь третій елемент, і четверта сполука-попередник постачає весь четвертий елемент. Проте, у межах даного підходу є й альтернативи. Наприклад, кілька сполук-попередників можуть сумісно постачати один із конкретних металічних елементів у повному об'ємі. Як інша альтернатива, одна сполука-попередник може постачати всю кількість або частину двох або більшої кількості металічних елементів. Останнім підходам віддається менша перевага, оскільки вони роблять більш утрудненим точне визначення пропорцій елементів у кінцевому металевому матеріалі. Кінцевий металевий матеріал не є, звичайно, стехіометричною сполукою, що має відносні кількості металічних складових, котрі можуть бути виражені у вигляді невеликих цілих чисел.

Після обробки зазначені складові елементи містять металічну композицію на основі титану, бор та, при потребі, адитивний елемент, утворювач стабільного оксиду. Металічна композиція на основі титану має, за вагою, більше титану, ніж будь-якого іншого елемента (хоча за атомною долею титану не може бути більше, ніж будь-якого іншого елемента, як, наприклад, у деяких алюмінідах титану гамма-фази). Металічна композиція на основі титану може являти собою чистий титан (наприклад, комерційне чистий або CP титан), або металічний сплав титану та інших елементів, такий як, наприклад, Ti-6Al-4V, Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,1Si, Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo-0,1Si, Ti-5,8Al-4Sn-3,5Zr-0,7Nb-0,5Mo-0,35Si, Ti-10V-2Fe-3Al, Ti-15Mo-3Al-2,7Nb-0,25Si (відомий також як бета 21 S) та Ti-32,7Al-2,5Cr-4,8Nb (відомий також як Ti-48-2-2). Якщо в тексті не зазначено інше, всі склади подані у вагових відсотках. Титанові металічні сплавні композиції, які мають особливий інтерес, включають титанові металічні композиції альфа-бета фази, титанові металічні композиції бета фази, альфа-2, орторомбічну та гамма-фазову титаново-алюмінідну металічні композиції, хоча даний винахід не обмежується переліченими металічними композиціями. Рівень бору варіює від такого, що перевищує границю розчинності при кімнатній температурі бору у металічній композиції на основі титану, до рівня, потрібного для одержання не більше 90 об'ємних відсотків бориду титану. Типово, бор присутній у кількості від 0,05 до 17 вагових відсотків від загальної ваги кінцевого ущільненого матеріалу. Результатом є ущільнений матеріал, що містить принаймні дві фази, включаючи одну або кілька металічних фаз, котрі складають металічну композицію на основі титану, борид титану та, при потребі, одну або кілька стабільно-оксидних фаз. Як застосовується при описі даного способу, "борид титану" стосується TiB, котрий присутній у більшості матеріалів, виготовлених з використанням даного підходу, TiB₂, котрий присутній, де матриця являє собою алюмінід титану гамма-фази, Ti₃B₄ та інші бориди титану або інші сполуки, що містять титан-бор. можливо, модифіковані через присутність легуючих елементів. "Моноборид титану" стосується конкретно TiB, і "диборид титану" стосується конкретно TiB₂.

Адитивний елемент, утворювач стабільного оксиду, що вводиться при потребі, характеризується утворенням стабільного оксиду у металічній композиції на основі титану. Елемент вважається адитивним елементом, утворювачем стабільного оксиду, якщо він утворює стабільний оксид у металічній композиції на основі титану, де зазначена металічна композиція на основі титану або не містить кисню у твердому розчині, або де дана металічна композиція на основі титану містить невелику кількість кисню у твердому розчині. Для того, щоб даний адитивний елемент, утворювач стабільного оксиду, діяв як ефективний утворювач стабільного оксиду, може бути потрібно, щоб у твердому розчині містилось приблизно 0,5 вагових відсотків кисню. Таким чином, краще, коли

металічна композиція на основі титану містить від нуля до приблизно 0,5 вагових відсотків кисню у твердому розчині. Можуть бути присутніми більші кількості кисню, але такі більші кількості можуть негативним чином впливати на пластичність. Загалом, кисень може бути присутнім у матеріалі або у твердому розчині або як дискретна оксидна фаза, така як оксиди, що утворені адитивними елементами, утворювачами стабільного оксиду, коли вони реагують з киснем.

Титан має сильну спорідненість та є високореакційним щодо кисню, так що він розчиняє багато оксидів, включаючи свої власні оксиди. Адитивні елементи, утворювачі стабільного оксиду, в межах даного підходу утворюють стабільний оксид, котрий не розчиняється титановою металічною композиційною матрицею за звичайних теплових умов, що асоціюються з відновленням, ущільненням, термообробкою та експозицією. Прикладами адитивних елементів, утворювачів стабільних оксидів, є сильні оксидоутворювачі, такі як магній, кальцій, скандій та ітрій, і рідкісноземельні елементи, такі як лантан, церій, празеодим, неодим, прометій, самарій, європій, гадоліній, тербій, диспрозій, гольмій, ербій, тулій, ітербій та лютецій, і їх суміші.

Принаймні один адитивний елемент може, при потребі, бути присутнім на рівні, більшому, ніж його границя розчинності при кімнатній температурі у твердому стані у металічній композиції на основі титану. Після наступної обробки кожен такий адитивний елемент може бути присутнім в одній або кількох формах. Зазначений адитивний елемент може бути присутнім як неоксидна дисперсія даного елемента. Він може також бути присутнім у твердому розчині. Він може також бути присутнім у формі, котра реагує з киснем, з утворенням грубої оксидної дисперсії або тонкої оксидної дисперсії. Зазначена груба оксидна дисперсія утворюється за реакцією неоксидної дисперсії даного елемента з киснем, котрий звичайно присутній у металічній матриці, поглинаючи таким чином кисень. Тонка оксидна дисперсія утворюється за реакцією адитивного елемента, утворювача стабільного оксиду, котрий знаходиться у твердому розчині, з киснем, який знаходиться у матриці або дифундує у даний металічний матеріал від поверхні підчас експозиції у навколишньому середовищі, що містить кисень.

Сполуки-попередники є неметалічними і вибираються у такий спосіб, щоб вони могли діяти у процесі відновлення, в якому вони відновлюються до металічної форми. В одному зі способів відновлення, що являє інтерес, відновленні у паровій фазі, сполуки-попередники являють собою, краще, металічні галогеніди. В іншому способі відновлення, що являє інтерес, твердофазовому відновленні, сполуки-попередники являють собою, краще, металічні оксиди. Можуть також застосовуватись й суміші різних типів сполук-попередників.

Уведення у дану металічну композицію деяких складових, що називаються "інші адитивні складові", може бути утрудненим. Наприклад, придатні неметалічні сполуки-попередники даних складових можуть бути відсутні, або наявні неметалічні сполуки-попередники можуть бути такими, що не досить легко піддаються хімічному відновленню у спосіб або при температурі, котрі узгоджуються з хімічним відновленням інших неметалічних сполук-попередників. Може виникнути потреба у тому, щоб такі інші адитивні складові були присутні, у кінцевому рахунку, як елементи у твердому розчині у даній металічній композиції, як сполуки, утворені за реакцією з іншими складовими даної металічної композиції, або як такі, що вже прореагували, суттєво інертні сполуки, дисперговані у даній металічній композиції. Ці інші адитивні складові або їх попередники можуть вводитись із газуватої, рідкої або твердої фази, як потрібно, з використанням одного із чотирьох підходів, що будуть описані, або інших діючих підходів.

У першому підході зазначена інша адитивна складова або зазначені інші адитивні складові вводяться як елементи або сполуки і змішуються зі сполуками-попередниками до або сумісно зі стадією хімічного відновлення. Дана суміш сполук-попередників та інших адитивних складових піддається хімічному відновленню стадії 22, але відновлюються, фактично, лише сполуки-попередники, і інші адитивні складові не відновлюються.

У другому підході зазначена інша адитивна складова або зазначені інші адитивні складові вводяться у формі твердих частинок, але не піддаються обробці хімічним відновленням, що застосовується для основного металу. Замість цього, вони змішуються з первинним металічним матеріалом, котрий утворюється на стадії хімічного відновлення, але після того, як стадія хімічного відновлення 22 завершена. Цей підхід особливо ефективний, коли зазначена стадія хімічного відновлення здійснюється на порошковій формі сполук-попередників, але вона може також проводитись з використанням попередньо спресованої маси сполук-попередників, що дає в результаті губчасту масу первинного металічного матеріалу. Інші адитивні складові прилипають до поверхні даного порошку або до поверхні та пористої структури зазначеної губчастої маси. Тверді частинки можуть, при потребі, бути піддані реакції на одній або кількох стадіях, якщо вони є попередниками іншої адитивної складової.

У третьому підході зазначений попередник спочатку одержується у вигляді частинок порошку або як губка шляхом пресування сполук-попередників металічних елементів. Потім дані частинки або губка хімічно відновлюються. Після цього інша адитивна складова утворюється на поверхнях (зовнішній та внутрішній, якщо ці частинки подібні до губки) даних частинок, або на зовнішній та внутрішній поверхнях зазначеної губки із газуватої фази. В одному способі газуватий попередник або елементарна форма (наприклад, метан, азот або боран) перепускаються над поверхнею даної частинки або губки з осадженням даної сполуки або елемента на поверхні із даного газу. Матеріал, що утворився на поверхнях, може, при потребі, бути підданий реакції на одній або кількох стадіях, якщо він є попередником іншої адитивної складової. Як приклад, бор постачається на поверхню титану потоком борану над поверхнею, і при наступній обробці осаджений бор реагує з утворенням бориду титану. Газ, що є носієм складової, котра являє інтерес, може подаватись у будь-який діючий спосіб, наприклад, від джерела комерційного газу, або шляхом генерування газу, наприклад, методом електроннопроменевого випаровування кераміки або металу, або шляхом застосування плазми.

Четвертий підхід подібний до третього підходу, за виключенням того, що інша адитивна складова осаджується із рідини, а не із газу. Попередник спочатку одержується у вигляді частинок порошку або як губка, шляхом пресування сполук-попередників металічних елементів. Потім зазначені частинки або губка піддаються хімічному відновленню. Після цього інша адитивна складова утворюється на поверхнях (зовнішній та внутрішній, якщо ці частинки подібні до губки) даних частинок, або на зовнішній та внутрішній поверхнях зазначеної губки шляхом осадження із рідини. В одному способі частинки або губка занурюються у рідкий розчин сполуки-

попередника іншої адитивної складової з нанесенням покриття на поверхні частинок або губки. Сполука-попередник іншої адитивної складової потім піддається хімічній реакції, полишаючи на поверхнях даних частинок або на поверхнях губки іншу адитивну складову. Як приклад, лантан може бути введений у металічну композицію на основі титану шляхом покриття поверхонь відновлених частинок або губки (отриманих із сполук-попередників) хлоридом лантану. Покриті частинки або губка потім піддаються нагріванню та/або експозиції у вакуумі для вилучення хлору, і на поверхнях зазначених частинок або губки залишається лантан. При потребі, частинки або губка, покриті лантаном, можуть бути піддані окисненню з утворенням тонкої лантаново-кисневої дисперсії, з використанням кисню із навколишнього середовища або із розчину у металі, або частинки чи губка, покриті лантаном, можуть бути піддані реакції з іншим елементом, таким як сірка. В іншому підході дана складова осаджується на частинки або губку електрохімічним шляхом. Ще в одному підході зазначені частинки або губка можуть занурюватись у ванну, що містить іншу адитивну складову, потім вилучаються із ванни, і будь-який розчинник або носій випаровують, і в результаті на поверхнях частинок чи губки залишається покриття.

Який би спосіб відновлення не застосовувався на стадії 22, і у який би спосіб не вводилась інша адитивна складова, результатом є суміш, котра включає дану металічну композицію. Способи введення інших адитивних складових можуть бути реалізовані на попередниках до відновлення складової із основного металу або на вже відновленому матеріалі. Зазначена металічна композиція може являти собою, за деяких обставин, порошок частинки, або мати подібну до губки структуру в інших випадках. Структура, що подібна до губки, утворюється при варіанті твердофазового відновлення, якщо сполуки-попередники попередньо були спресовані до початку фактичного хімічного відновлення. Зазначені сполуки-попередники можуть бути спресовані з утворенням стиснутої маси, котра більша за розмірами, ніж потрібний кінцевий металевий виріб.

Хімічний склад первинної металічної композиції визначається типами та кількостями металів у даній суміші неметалічних сполук-попередників, що вводились на стадії 20, та іншими адитивними складовими, котрі вводились при обробці. Відносні пропорції металічних елементів визначаються їх відповідними відношеннями у даній суміші стадії 20 (не відповідними відношеннями сполук, а відповідними відношеннями металічних елементів). Первинна металічна композиція має більше титану за вагою, ніж будь-якого іншого металічного елементу у сполуках-попередниках, утворюючи первинну металічну композицію на основі титану.

Неметалічні сполуки-попередники вибираються з метою запровадження необхідних металічних легуючих елементів у кінцевому металевому виробі, і змішуються разом у відповідних пропорціях з одержанням потрібних пропорцій цих металічних легуючих елементів у зазначеному металевому виробі. Наприклад, коли кінцевий виріб мав містити визначені пропорції титану, алюмінію, ванадію, бору, ербію та кисню у відношенні 86,5:6,4:2:3:0,5 за вагою, неметалічні сполуки-попередники являють собою, переважно, хлорид титану, хлорид алюмінію, хлорид ванадію, хлорид бору та хлорид ербію для відновлення у паровій фазі. Кінцевий вміст кисню контролюється процесом відновлення, як буде обговорено далі. Можуть також застосовуватись неметалічні сполуки-попередники, котрі слугують джерелом більш ніж одного металу у кінцевому металевому виробі. Ці сполуки-попередники вводяться та змішуються разом у відповідних пропорціях, так що відношення титану до алюмінію та до ванадію, до бору та до ербію у даній суміші сполук-попередників є таким, яке потрібне для утворення металічної композиції у кінцевому виробі.

При потребі, зазначені неметалічні сполуки-попередники можуть бути попередньо ущільнені, стадія 21, до хімічного відновлення, з використанням таких способів як твердофазове відновлення. Попереднє ущільнення приводить до одержання при наступній обробці не частинок, а губки. Стадія 21 попереднього ущільнення, коли вона застосовується, проводиться з допомогою будь-якого діючого підходу, такого як пресування неметалічних сполук-попередників у попередньо ущільнену масу.

Окрема неметалічна сплука-попередник або суміш неметалічних сполук-попередників відновлюється у хімічний спосіб з одержанням металічних частинок або губки, без плавлення сполук-попередників або металу, стадія 22. Як застосовується у даному тексті, вирази "без плавлення", "не плавиться" і споріднені ним означають, що даний матеріал макроскопічно або у своїй масі не плавиться протягом тривалого періоду часу, так що він не розм'якшується і не втрачає свою форму. Незначні сліди локального плавлення можуть мати місце, оскільки низькоплавкі елементи плавляться і дифузійним чином змішуються з більш тугоплавкими елементами, котрі не плавляться, або може мати місце вельми коротке плавлення протягом менше приблизно 10с. Навіть у таких випадках загальна форма даного матеріалу залишається незмінною.

В одному варіанті відновлення, якому віддається перевага і котрий називається відновленням із парової фази, оскільки неметалічні сполуки-попередники вводяться у вигляді парової або газуватої фази, хімічне відновлення може здійснюватись шляхом відновлення сумішей галогенідів базового металу та металічних легуючих елементів з використанням рідкого лужного металу або рідкого лужноземельного металу. Наприклад, тетрахлорид титану та галогеніди металічних легуючих елементів вводяться як гази. Суміш цих газів у відповідних кількостях контактує з розплавленим натрієм, так що зазначені металічні галогеніди відновлюються до металічної форми. Дану металічну композицію відокремлюють від натрію. Це відновлення проводиться при температурах, нижчих точки плавлення даної металічної композиції. Більш детально даний підхід описаний у патентній публікації США за номером 2004/0123700, на яку в даному тексті робиться повне посилання.

Перевага віддається відновленню при більш низьких температурах, ніж при високих. Краще, коли відновлення здійснюється при температурах 600 °C або нижче, і краще, при 500 °C або нижче. Для порівняння, у попередніх підходах для одержання титанової та інших металічних композицій часто застосовувались температури 900 °C або вище. Низькотемпературне відновлення більш контрольоване і також менше піддається введенню забруднень у дану металічну композицію, де зазначені забруднення можуть, у свою чергу, призвести до утворення хімічних неоднорідностей. Крім того, знижені температури знижують вірогідність спікання частинок на стадії відновлення і обмежують потенційне укрупнення стабільної боридної та додаткової оксидної дисперсій.

У такому варіанті відновлення із парової фази неметалічний модифікуючий елемент або сплука, що представлені у газуватій формі, можуть змішуватись з газуватою неметалічною сполукою-попередником до її

реакції з рідким лужним металом або рідким лужноземельним металом. В одному прикладі, газуватий кисень може змішуватись з газуватою неметалічною сполукою(ами)-попередником(ами) для підвищення рівня кисню, відповідно, у первинній металічній частинці. Інколи бажано, наприклад, щоб вміст кисню у металевому матеріалі був спочатку достатньо високим для утворення оксидних дисперсій за реакцією з адитивними елементами, утворювачами стабільних оксидів, та зміцнення кінцевого металевого виробу. Замість того, щоб додавати кисень у формі твердого порошку діоксиду титану, як це інколи практикується для металічних композицій на основі титану, котрі виготовляються за допомогою звичайних методів плавлення, його додають у газуватій формі, що полегшує змішування та мінімізує вірогідність утворення твердої альфа-фази у кінцевому виробі. Коли кисень додається у формі порошку діоксиду титану у звичайній практиці плавлення, порошкові агломерати можуть повністю не розчинитися, полишаючи у кінцевому металевому виробі тонкі частинки, котрі складають хімічні неоднорідності. Даний підхід виключає таку можливість. На стадії відновлення бор може вводитись як газ боран, або може додаватись азот у газуватій формі.

В іншому варіанті відновлення, який називається твердофазовим відновленням, оскільки неметалічні сполуки-попередники вводяться як тверді речовини, хімічне відновлення може здійснюватись шляхом електролізу розплавлених солей. Електроліз розплавлених солей є відомим методом, що описаний, наприклад, в опублікованій патентній публікації WO 99/64638, на яку в даному тексті зроблено повне посилання. Коротко кажучи, у цьому різновиді електролізу розплавлених солей суміш неметалічних сполук-попередників, котра введена у тонкоподрібненій твердій формі, занурюється в електролізну комірку в електроліті із плавленої солі, такому як хлоридна сіль, при температурі, нижчій температури плавлення даної металічної композиції, котра утворюється із даних неметалічних сполук-попередників. Суміш неметалічних сполук-попередників утворює катод даної електролізної комірки з інертним анодом. Елементи, що поєднані з металами у даних неметалічних сполуках-попередниках, такі як кисень у випадку, якому віддається перевага, оксидних неметалічних сполук-попередників, частково або цілком вилучаються із даної суміші методом хімічного відновлення (тобто за допомогою процесу, що є зворотним до хімічного окиснення). Дана реакція проводиться при підвищеній температурі для прискорення дифузії кисню або іншого газу від катоду. Величина катодного потенціалу контролюється з метою забезпечення реакції відновлення даних неметалічних сполук-попередників, а не протікання інших можливих хімічних реакцій, таких як розклад даної розплавленої солі. Даний електроліт являє собою сіль, краще, сіль, що є більш стабільною, ніж еквівалентна сіль металів, які піддаються очищенню, і в ідеалі дуже стабільною для вилучення кисню або іншого газу до потрібного низького рівня. Перевага віддається хлоридам та сумішам хлоридів барію, кальцію, цезію, літію, стронцію та ітрію. Зазначене хімічне відновлення проводиться, краще, але не обов'язково, до завершення, так що дані неметалічні сполуки-попередники цілком відновлюються. Зупинка даного процесу на стадії до його завершення є способом контролю вмісту кисню в одержаному металі, і дозволяє у подальшому одержувати оксидну дисперсію. Якщо була реалізована стадія 21 попереднього ущільнення, результатом стадії 22 може бути металічна губка. Вміст бору та азоту може контролюватись, коли виходять із бориду або нітриду та відновлюють дану сполуку за допомогою електролітичного процесу.

В іншому варіанті відновлення, що називається відновленням "шляхом швидкого плазмового гартування", сполука-попередник, така як хлорид титану, піддається дисоціації у плазмовій дузі при температурі вище 4500 °C. Дана сполука-попередник швидко нагрівається, дисоціює та піддається гартуванню у газуватому водні. В результаті утворюються тонкі металогідридні частинки. Будь-яке плавлення даних металічних частинок вельми нетривале, порядку 10 с або менше, і підпадає під визначення "без плавлення" та подібні вирази, що застосовуються у даному тексті. Водень у подальшому вилучається із частинок металогідриду шляхом вакуумної термообробки. Може також додаватись кисень для реакції з адитивними елементами, утворювачами стабільних оксидів, з утворенням дисперсії стабільних оксидів. Бор додається для реакції з титаном з утворенням бориду титану.

Який би спосіб відновлення не застосовувався на стадії 22, результатом є матеріал, що являє собою металічну композицію на основі металічного титану, борид титану та, при потребі, частинки стабільних оксидів. Зазначений матеріал може являти собою, за деяких обставин, порошковаті частинки, або мати подібну до губки структуру в інших випадках. Структура, що подібна до губки, утворюється у варіанті твердофазового відновлення, якщо сполуки-попередники попередньо були спресовані (тобто, при потребі, стадія 21) до початку фактичного хімічного відновлення. Зазначені сполуки-попередники можуть бути спресовані з утворенням стиснутої маси, котра більша за розмірами, аніж потрібний кінцевий металевий виріб.

При потребі, але краще, коли даний матеріал ущільнюється з одержанням ущільненого металічного виробу, стадія 24, без плавлення даної металічної композиції на основі титану та без плавлення даної ущільненої металічної композиції на основі титану. Зазначена стадія 24 ущільнення може здійснюватись з використанням будь-якого діючого методу ущільнення, такого, наприклад, як гаряче ізостатичне пресування, кування, екструзія, пресування та спікання, або пряма порошкова ущільнююча екструзія чи прокатка, або комбінація перелічених методів.

Фігури 2 та 3 ілюструють мікроструктуру матеріалу 40, що має поверхню 42, яка обернена до навколишнього середовища 42. Металевий виріб 40 має мікроструктуру матриці 46 із металічної композиції на основі титану з частинками бориду титану та, при потребі, з диспергованими у ній адитивним(ми) елементом(ами), утворювачем(ами) стабільного оксиду. Частинки бориду титану можуть бути присутніми у різних формах, у залежності від відсотку присутнього бору та інших чинників. Краще, коли бор присутній у кількості від 0,05 вагових відсотків до 17 вагових відсотків від загальної ваги. Якщо кількість бору складає менше 0,05 вагових відсотків, борид титану як ефективний зміцнювач відсутній, оскільки бор знаходиться у твердому розчині. Коли бор присутній у кількості від 0,05 до 1,5 вагових відсотків, частинки бориду титану присутні у вигляді тонкої дисперсоїдної фази бориду титану 62, що диспергована у металічній композиційній матриці на основі титану 46, як зображено на Фігурі 2, що запроваджує дисперсоїдно-зміцнюючий ефект. Зазначені тонкі дисперсоїдні

частинки менші за розміром, ніж ті, що продукуються у попередніх способах одержання титан-боридних титанових матеріалів. Коли бор присутній у кількості від 1,5 до 17 вагових відсотків, частинки бориду титану присутні у вигляді грубої фази бориду титану 64, що має відносно більшу об'ємну долю, як показано на Фігурі 3., у порівнянні зі структурою, зображеною на Фігурі 2. (Як застосовується у даному тексті, вирази "грубий" та "тонкий" використовуються лише у відносному сенсі один відносно одного, де "груба" фаза більша за розміром, ніж "тонкі" дисперсоїди.) Зазначена груба фаза бориду титану 64 дає складний зміцнювальний ефект. Проте, можливо маніпулювати мікроструктурою композиції з високим ваговим відсотком бору (1,5-17%) шляхом низькотемпературної обробки підчас ущільнення, так що дана мікроструктура у деякій мірі подібна до зображеної на Фігурі 2, але з більшою об'ємною долею тонкої дисперсоїдної фази 62. Коли бор присутній у кількості більше 17 вагових відсотків, дана структура містить більше 90 об'ємних відсотків бориду титану, і вигоди присутності металічної композиційної матриці на основі титану 46 зменшуються, і фактично втрачаються.

На Фігурі 3 тонка дисперсоїдна фаза 62 бориду титану і груба дисперсоїдна фаза бориду титану 64 дають зміцнювальні ефекти, хоча й за відмінними механізмами. Тонка дисперсоїдна фаза 62 бориду титану запроваджує дисперсоїдне (тобто ооровановське) зміцнення шляхом взаємодії з дислокаціями у металічній композиційній матриці на основі титану 46. Груба дисперсоїдна фаза 64 бориду титану може запровадити деяке дисперсоїдне зміцнення, але запроваджує також композиційне зміцнення згідно з правилом адитивності, коли вона присутня, як показано на Фігурі 3. В області 1,5-17 вагових відсотків бору можуть бути як тонкі дисперсоїди бориду титану 62, так і грубі дисперсоїди бориду титану 64, так що у деякій мірі спостерігаються обидва типи зміцнення. З підвищенням кількості присутнього бору об'ємна доля бориду титану підвищується, так що він стає у більшій мірі майже суцільним.

Адитивний(ні) елемент(и), утворювач(и) стабільного оксиду, що вводяться при потребі, можуть бути присутніми у твердому розчині, позиція номер 48, або як одна або кілька дискретних фаз 50, що не піддавались реакції. Деякі із адитивних елементів, утворювачів стабільних оксидів, що містяться спочатку у твердому розчині, можуть прореагувати з киснем, що присутній спочатку у матриці 46, з утворенням дисперсії тонких оксидних дисперсоїдів 52. Деякі із адитивних елементів, утворювачів стабільних оксидів, що присутні спочатку як дискретна фаза 50, що не піддавалась реакції, можуть прореагувати з киснем, що присутній спочатку у матриці 46, з утворенням дисперсії грубих оксидних дисперсоїдів 54. Зазначені дисперсоїди стабільних оксидів 52 та 54 розподілені суттєво однорідно у матриці 46.

Взяті разом, дисперсоїдні фази 62 або 64 бориду титану та оксидні дисперсоїди 52 або 54 запроваджують значну гнучкість щодо контролю механічних властивостей кінцевого матеріалу 40. Відносні кількості, розміри та розподіли дисперсоїдних фаз 62 або 64 бориду титану та оксидних дисперсоїдів 52 або 54 встановлюються у значній мірі незалежно, шляхом контролю кількостей сполук-попередників, що містять бор, та сполук-попередників адитивних елементів, утворювачів стабільних оксидів, і наступної обробки, котра буде описана далі.

При потребі, але краще, коли має місце додаткова обробка, стадія 26, ущільненого металевого виробу. При цій обробці даний виріб не плавиться. Така додаткова обробка може включати, наприклад, механічне формування даного ущільненого металевого виробу, стадія 28, з використанням будь-якого діючого підходу, або термообробку зазначеного ущільненого металевого виробу, стадія 30, з використанням будь-якого діючого підходу. Стадія формування 28 та/або стадія термообробки 30, коли вони застосовуються, вибираються згідно з природою даної металічної композиції на основі титану.

Зазначений ущільнений матеріал 40 може бути підданий окисненню при температурі, що перевищує кімнатну температуру, стадія 32, зокрема, коли сильні оксидоутворюючі елементи присутні у розчині у титаново-сплавній матриці та/або у формі частинок. Стадія експонування у кисні 32, що веде до утворення типів кисневмісних мікроструктур, зображених на Фігурі 3, може реалізовуватись або підчас первинного виготовлення металевого виробу, за контрольованих умов, або підчас наступної експлуатаційної експозиції при підвищеній температурі.

В обох випадках кисень дифундує усередину від поверхні 42 у матрицю 46. Продифундований усередину кисень хімічно реагує з адитивним(и) елементом(ами), утворювачами оксидів, котрі присутні поблизу поверхні 42 або у твердому розчині 48, або у дискретних фазах 50. У результаті, поблизу поверхні 42 у твердому розчині 48 або у дискретних фазах 50 залишається невелика кількість або взагалі не залишається зазначених адитивних елементів, утворювачів стабільних оксидів, що не прореагували, а замість цього, в результаті реакції утворюються, відповідно, додаткові тонкі дисперсоїди 52 та грубі оксидні дисперсоїди 54. Отже, більш висока концентрація тонких оксидних дисперсоїдів 52 мається у дифузійно-окиснювальній зоні 56 глибиною D1 на поверхні 42 та якраз нижче неї, у порівнянні з концентрацією тонких оксидних дисперсоїдів 52 на більших глибинах. Типово, D1 лежить у межах від приблизно 0,001 до приблизно 0,003 дюймів, але може складати меншу чи більшу величину. Крім того, у залежності від конкретних оксидів, утворених елементами, утворювачами стабільних оксидів, може утворитись оксидний поверхневий шар 58, котрий слугує дифузійним бар'єром щодо дифузії додаткового кисню із навколишнього середовища 44 у виріб 40.

Наявність та характер розподілу оксидних дисперсоїдів 52 та 54 має кілька додаткових важливих наслідків. Оксидні дисперсоїди 52 та 54 слугують для зміцнення матриці 46 за рахунок ефекту дисперсійного зміцнення, і також поліпшення границі повзучості при підвищених температурах даної матриці 46. Оксидні дисперсоїди 52 та 54 можуть також заблокувати границі зерен матриці 46, інгібуючи у такий спосіб закручення структури зерен підчас обробки та/або експозиції при підвищеній температурі. Крім того, за деяких обставин зазначені оксидні дисперсоїди 52 та 54 мають більший питомий об'єм, ніж адитивні елементи, утворювачі стабільних оксидів, із яких вони утворились. Цей підвищений питомий об'єм створює стискувальну силу, зазначену стрілкою 60, у матриці 46 поблизу поверхні 42. Дана стискувальна сила 60 інгібуює виникнення тріщин та їх ріст, коли виріб піддається навантаженню розтягування або крутіння підчас експлуатації, що є вельми сприятливим результатом.

Одним із важливих застосувань даного підходу є те, що зазначений ущільнений виріб може утворювати вкладку, з урахуванням маси другого матеріалу. Фігури 4-7 ілюструють кілька варіантів цього підходу. Дана вкладка може мати єдиний об'ємний склад, як показано на Фіг. 4 та 5, або може включати суміш принаймні двох

матеріалів, що мають різні об'ємні склади, як показано на Фіг. 6 та 7. У варіанті Фігури 4, частинки ущільненої металічної композиції на основі титану, котрі містять частинки бориду титану, позиція 70, утворюють вкладку у металічній масі 72, що не є ущільненою металічною композицією на основі титану, котра містить частинки бориду титану. У варіанті Фігури 5, частинки першої ущільненої металічної композиції на основі титану, котрі містять першу об'ємну долю частинок бориду титану, позиція 74, утворюють вкладку у масі 76, що являє собою другу ущільнену металічну композицію на основі титану, котра містить другу об'ємну долю частинок бориду титану. У варіанті Фігури 6, зерна 90, котрі містять велику об'ємну долю частинок бориду титану, змішані із зернами 92, котрі містять малу об'ємну долю бориду титану, з утворенням вкладки. У варіанті Фігури 7, зерна 94, котрі містять велику об'ємну долю (та/або малу об'ємну долю 96) бориду титану, змішані із зернами 98, котрі фактично не містять бориду титану, з утворенням вкладки.

Також можуть застосовуватись й інші сумісні розташування. У варіанті Фігур 8-9, вкладка 78 ущільненої металічної композиції на основі титану, котра містить частинки бориду титану, розміщена у металічному сплаві, що не містить бориду, котрий утворює баланс аеродинамічного профілю 80 лопатки 82 газотурбінного двигуна. Переріз даної лопатки може мати мікроструктуру, що подібна до зображеної на Фігурі 4. Дана вкладка підвищує міцність та модуль аеродинамічної поверхні 80 без її спеціального експонування у вихлопних газах та зміни форми зазначеної аеродинамічної поверхні 80. Як альтернатива, дана вкладка може містити суміш принаймні двох матеріалів, що мають різні об'ємні склади, так як зображено на Фігурах 6 та 7. Вкладки можуть вводитись з використанням будь-якого діючого підходу, такого як виготовлення неборидної частини шляхом відливки за місцем, литтям та обробкою або підходу без застосування плавлення, такого як дифузійне з'єднання.

Інші приклади виробів, які можуть бути виготовлені за допомогою даного підходу, включають деталі газотурбінних двигунів, включаючи лопаті, диски, вали, корпуси, підвіски двигунів, нерухомі лопаті, ущільнення, кожухи та інші деталі. Інші вироби включають автомобільні деталі та біомедичні вироби. Проте, застосування даного винаходу не обмежується переліченими конкретними виробами.

Хоча конкретний варіант даного винаходу описаний детально з метою ілюстрації, можуть бути зроблені також різні модифікації та розширення винаходу без відходу від його суті та обсягу. Відповідно, даний винахід обмежується лише пунктами формули винаходу, що додаються.

Перелік позицій

- 20 Фігура 1
- 22 Фігура I
- 24 Фігура 1
- 26 Фігура 1
- 28 Фігура 1
- 30 Фігура 1
- 32 Фігура 1
- 40 Матеріал
- 42 Поверхня
- 44 Навколишнє середовище
- 46 Компоненти матеріалу на основі титану
- 48 Оксидні форми у системі
- 50 Дискретна фаза, що не прореагувала
- 52 Розташування тонких оксидів
- 54 Розташування грубих оксидів
- 56 Зона різних оксидів
- 58 Оксидний поверхневий шар
- 60 Стрілка
- 62 Тонка титанова фаза
- 64 Груба титанова фаза
- 70 Область Ti/TiB
- 72 Область Ti
- 74 Isb Ti/TiB
- 76 2d Ti/TiB
- 78 Вкладка
- 80 Аеродинамічний профіль
- 82 Лопатка турбіни
- 90 Велика доля
- 92 Мала доля
- 94 Велика доля
- 96 Мала доля
- 98 Ti-B відсутній

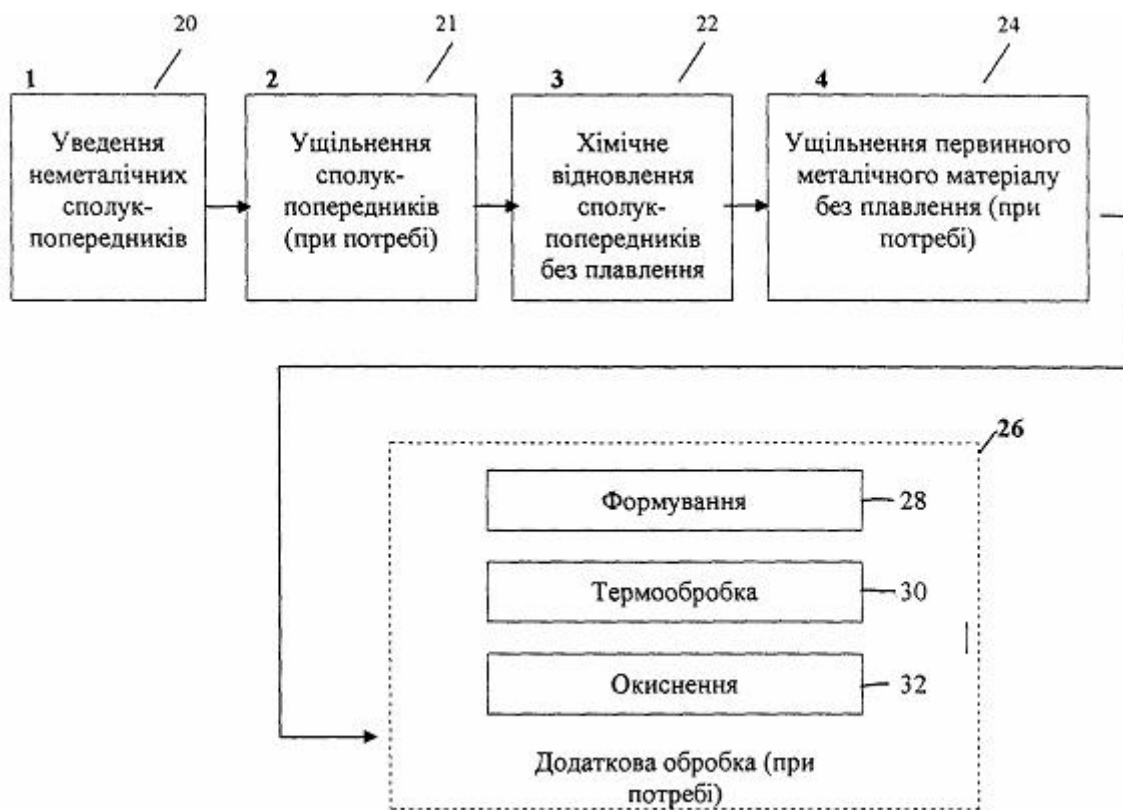


Fig. 1

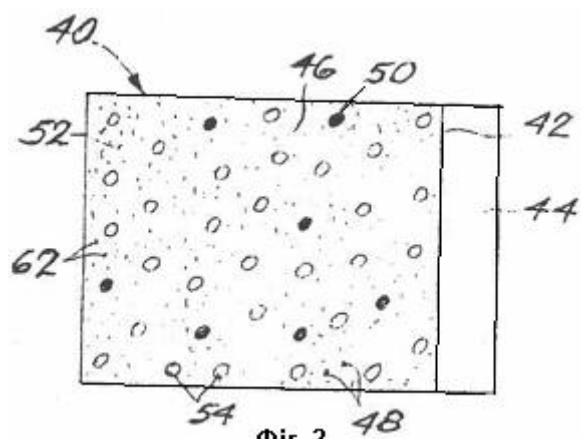


Fig. 2

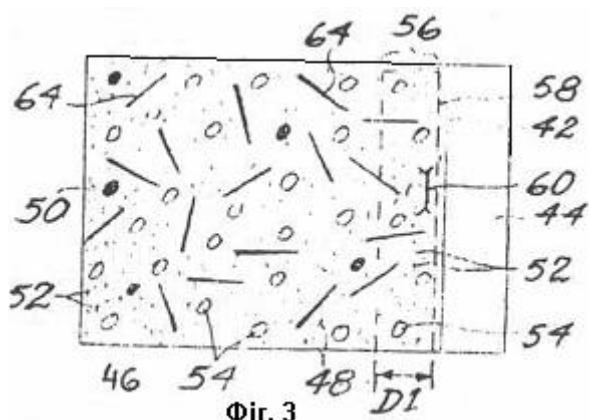
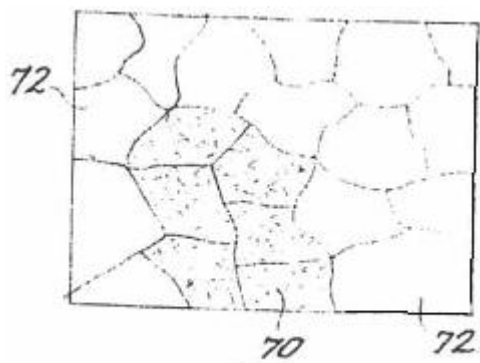


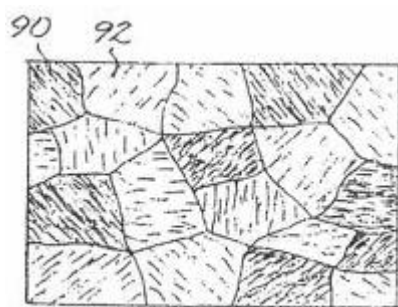
Fig. 3



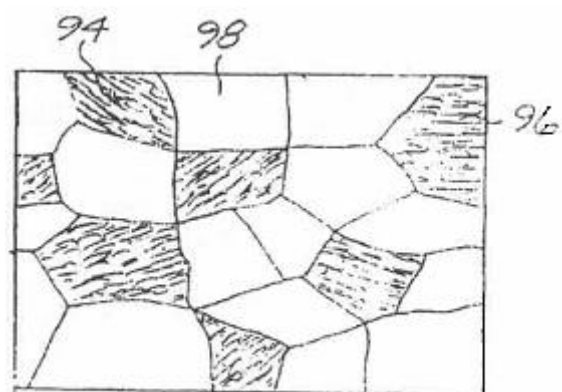
Φir. 4



Φir. 5



Φir. 6



Φir. 7

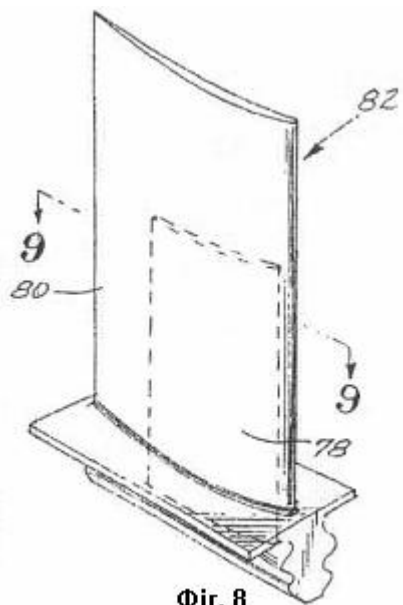


Fig. 8

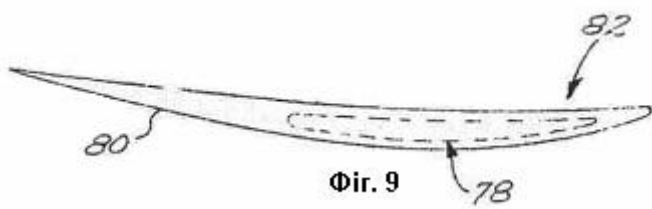


Fig. 9