



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **115157** (13) **C2**
(51) МПК (2017.01)**C22C 14/00****C22F 1/18** (2006.01)**B21J 1/00****B21J 5/02** (2006.01)МІНІСТЕРСТВО
ЕКОНОМІЧНОГО
РОЗВИТКУ І ТОРГІВЛІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД**

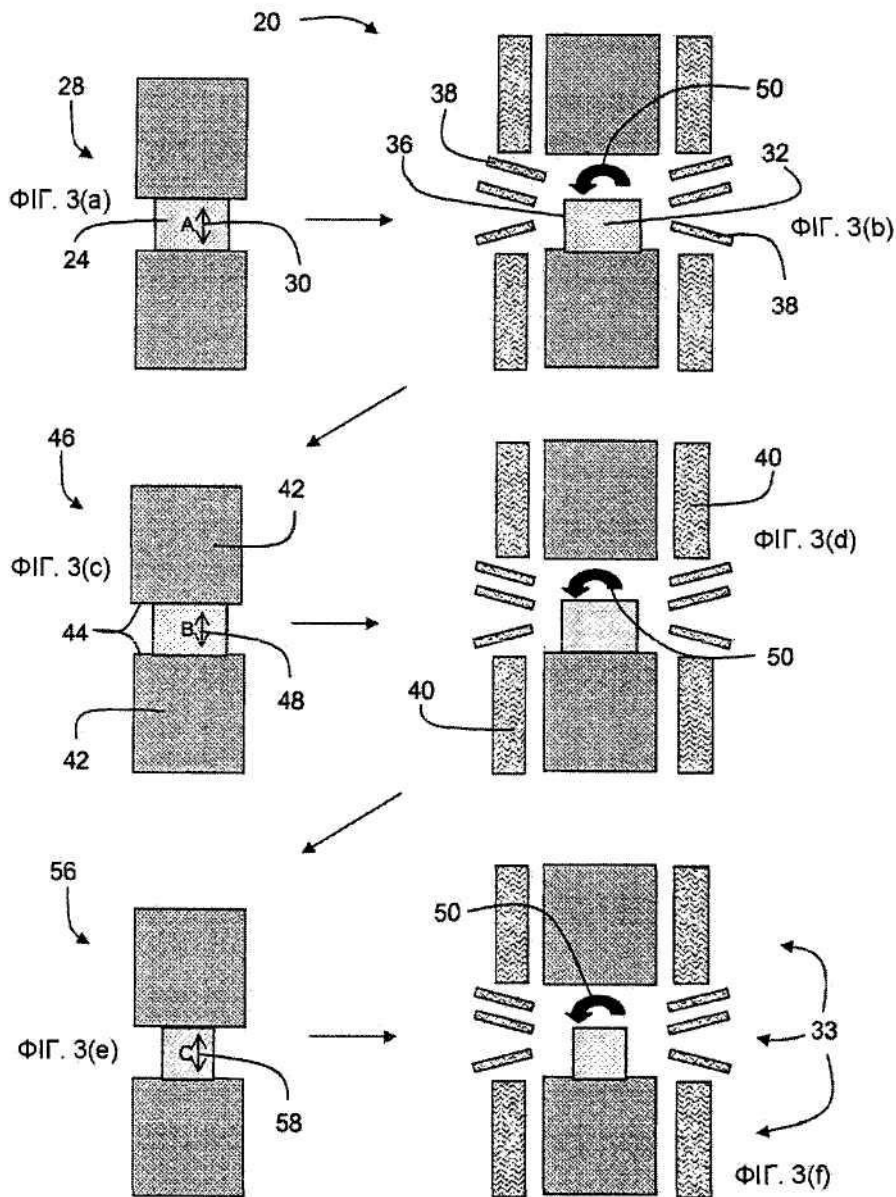
(21) Номер заявки: а 2015 06963	(72) Винахідник(и): Брайан Девід Дж. (US), Мантіон Джон В. (US), Тома Жан-Філіпп (US)
(22) Дата подання заявки: 26.11.2013	(73) Власник(и): ЕйТіАй ПРОПЕРТІЗ, ЕлЕлСі, 1600 N.E. Old Salem Road, Albany, Oregon 97321, United States of America (US)
(24) Дата, з якої є чинними права на винахід: 25.09.2017	(74) Представник: Мошинська Ніна Миколаївна, реєстр. №115
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 13/714,465	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: US 2012060981 A1, 15.03.2012 US 20050145310 A1, 07.07.2005 Li X et. al. The optimal determination of forging process parameters for Ti-6.5Al-3.5Mo-1.5Zr- 0.3Si alloy with thick lamellar microstructure in two phase field based on P-map // Journal of Materials Processing Technology. - No 210. - 2010. - P. 370 - 377 Renat Imayev et. al. Principles of Fabrication of Bulk Ultrafine-Grained and Nanostructured Materials by Multiple Isothermal Forging // Materials Science Forum. - Vol. 638 - 642. - 2010. - P. 1702 - 1707 Rafail G. Characterization of Submicron- Grained Ti6Al4V Sheets with Enhanced Superplastic Properties // Material Science Forum. - Vol. 447 - 448. - 2004. - P. 441 - 446 Salishchev G. A. et. al. Effect of Deformation Conditions on Grain Size and Microstructure Homogeneity of β -Rich Titanium Alloys // Journal of Materials Engineering and Performance. - Vol. 14. - 2005. - P. 709 - 716 WO 9817838 A1, 30.04.1998
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 14.12.2012	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 25.02.2016, Бюл.№ 4	
(46) Публікація відомостей про видачу патенту: 25.09.2017, Бюл.№ 18	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: PCT/US2013/071801, 26.11.2013	

(54) СПОСОБИ ОБРОБКИ СПЛАВІВ ТИТАНУ**(57) Реферат:**

Способи модифікування розміру зерен в заготовці зі сплаву титану включають бета-відпал заготовки, охолодження бета-відпаленої заготовки до температури, що є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану, і всебічне кування заготовки з високою швидкістю деформації. Всебічне кування з високою швидкістю деформації виконують, поки в заготовці зі сплаву титану не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1, або поки в

UA 115157 C2

заготовці зі сплаву титану не буде досягнута повна деформація від щонайменше 1 до 3,5. Сплав титану заготовки може містити щонайменше щось одне із зерноутворюючих легуючих добавок і бета-стабілізуючого складу, ефективного для зменшення виділення альфа-фази і кінетики зростання.



ФІГ. 3

[0001] Цей винахід був здійснений за підтримки урядом Сполучених Штатів за контрактом NIST № 70NANB7H7038, розміщеним Національним інститутом стандартів і технології (NIST) Міністерства торгівлі США. Уряд США може мати певні права в цьому винаході.

Рівень техніки

5 Галузь техніки

[0002] Цей винахід належить до способів обробки сплавів титану.

Опис рівня техніки

10 [0003] Способи виготовлення титану і сплавів титану, що мають крупнозернисту (CG), дрібнозернисту (FG), дуже дрібнозернисту (VFG) або наддрібнозернисту (UFG) мікроструктуру, охоплюють застосування багатократних етапів повторного нагрівання і кування. Етапи кування можуть включати один або більше етапів кування осадкою на додаток до кування витягуванням на пресі з відкритим штампом.

[0004] У контексті цієї заявки, коли йдеться про мікроструктуру сплавів титану:

15 термін "грубе зерно" вказує на розміри альфа-зерен у діапазоні від 400 мкм і менше до більше ніж близько 14 мкм; термін "дрібне зерно" вказує на розміри альфа-зерен у діапазоні від 14 мкм і менше до більше ніж 10 мкм; термін "дуже дрібне зерно" вказує на розміри альфа-зерен у діапазоні від 10 мкм і менше до більше ніж 4,0 мкм; і термін "наддрібне зерно" вказує на розміри альфа-зерен, що становлять 4,0 мкм або менше.

20 [0005] У відомих промислових способах кування титану і сплавів титану для одержання крупнозернистих або дрібнозернистих мікроструктур використовують швидкості деформації, що становлять від 0,03 с⁻¹ до 0,10 с⁻¹, із застосуванням багатократних етапів повторних нагрівань і кування.

25 [0006] У відомих способах, призначених для виготовлення дрібнозернистої, дуже дрібнозернистої або наддрібнозернистої мікроструктур, використовують спосіб всебічного кування (MAF) з ультраповільною швидкістю деформації, що становить 0,001 с⁻¹ або менше (дивись, наприклад, публікацію Саліщева Г. (G. Salishchev) зі співавторами, Materials Science Forum, Vol. 584-586, pp. 783-788 (2008)). Комплексний спосіб MAF описаний, наприклад, у публікації С. Desrayaud зі співавторами, Journal of Materials Processing Technology, 172, pp. 152-156 (2006).

30 [0007] Ключовий фактор модифікування зерен у способі MAF з ультраповільною швидкістю деформації полягає в можливості безперервної роботи в режимі динамічної рекристалізації, що є результатом ультраповільних використовуваних швидкостей деформації, тобто 0,001 с⁻¹ або менше. Під час динамічної рекристалізації відбувається одночасне утворення ядер зерен, їхнє зростання і дислокація накопичення. Генерація дислокацій у новоутворених зернах безперервно зменшує рушійну силу для зростання зерен, і утворення ядер зерен є енергетично сприятливим. Спосіб MAF з ультраповільною швидкістю деформації використовує динамічну рекристалізацію для безперервної рекристалізації зерен під час кування.

35 [0008] Відносно однорідні куби наддрібнозернистого сплаву Ti-6-4 (UNS R56400) можуть бути одержані з використанням способу MAF з ультраповільною швидкістю деформації, але сукупний час, витрачений на виконання етапів MAF, може бути занадто великим для випадків промислового застосування. Крім того, звичайне великогабаритне, наявне в продажі кувально-пресове обладнання з відкритими штампами може не забезпечувати можливість досягнення ультраповільних швидкостей деформації, потрібних у таких варіантах реалізації винаходу, і, таким чином, для виконання MAF з ультраповільною швидкістю деформації у промислових масштабах може знадобитися налаштування кувального обладнання.

45 [0009] Таким чином, завдання цього винаходу переважно полягає в створенні способу виготовлення сплавів титану, що мають крупнозернисту, дрібнозернисту, дуже дрібнозернисту або наддрібнозернисту мікроструктуру, який не потребує багатократних повторних нагрівань, використовує більш високі швидкості деформації, скорочує час, необхідний для обробки, і/або усуває необхідність налаштування кувального обладнання.

Суть винаходу

50 [0010] Згідно з необмежующим аспектом цього винаходу, спосіб модифікування зерен заготовки, яка містить сплав титану, включає бета-відпал заготовки. Після бета-відпалу заготовку охолоджують до температури, нижчої за температуру бета-переходу сплаву титану. Потім заготовку піддають всебічному куванню. Всебічне кування включає: кування заготовки на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку першої ортогональної осі заготовки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки; кування заготовки на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку другої ортогональної осі заготовки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного

нагрівання внутрішньої області заготовки; і кування заготовки на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку третьої ортогональної осі заготовки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки. Необов'язково, між послідовними етапами кування на пресі забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, в діапазоні температур кування заготовки і нагрівають зовнішню область поверхні заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, в діапазоні температур кування заготовки. Повторюють щонайменше один з етапів кування на пресі, поки щонайменше в області заготовки не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу повторюють щонайменше один з етапів кування на пресі, поки щонайменше в області заготовки не буде досягнута повна деформація, яка становить від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу швидкість деформації, використовувана під час кування на пресі, знаходиться в діапазоні від 0,2 с⁻¹ до 0,8 с⁻¹.

[0011] Згідно з іншим необмежуючим аспектом цього винаходу, необмежуючий варіант реалізації способу модифікування зерен заготовки, яка містить сплав титану, включає бета-відпал заготовки. Після бета-відпалу заготовку охолоджують до температури, нижчої за температуру бета-переходу сплаву титану. Потім заготовку піддають всебічному куванню з використанням послідовності, яка включає наступні етапи кування.

[0012] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку першої ортогональної осі А заготовки до основної висоти осадки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки. Як використовується в цій заявці, основна висота осадки являє собою відстань, рівну необхідному кінцевому розміру після кування для кожної ортогональної осі заготовки.

[0013] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку другої ортогональної осі В заготовки при першій блокуючій осадці до першої блокуючої висоти осадки. Першу блокуючу осадку застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при першій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при першій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Перша блокуюча висота осадки є більшою, ніж основна висота осадки.

[0014] Заготовку кують на пресі заготовки при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку третьої ортогональної осі С заготовки при другій блокуючій осадці до другої блокуючої висоти осадки. Другу блокуючу осадку застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при другій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час другої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при другій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Друга блокуюча висота осадки є більшою, ніж основна висота осадки.

[0015] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку другої ортогональної осі В заготовки до основної висоти осадки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки.

[0016] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку третьої ортогональної осі С заготовки при першій блокуючій осадці до першої блокуючої висоти осадки. Першу блокуючу осадку застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при першій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при першій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Перша блокуюча висота осадки є більшою, ніж основна висота осадки.

[0017] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку першої ортогональної осі А заготовки при другій блокуючій осадці до другої блокуючої висоти осадки. Другу блокуючу осадку застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при другій

блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час другої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при другій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Друга блокуюча висота осадки є більшою, ніж основна висота осадки.

[0018] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку третьої ортогональної осі С заготовки при основній осадці до основної висоти осадки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки.

[0019] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку першої ортогональної осі А заготовки при першій блокуючій осадці до першої блокуючої висоти осадки. Першу блокуючу осадку застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при першій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при першій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Перша блокуюча висота осадки є більшою, ніж основна висота осадки.

[0020] Заготовку кують на пресі при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку другої ортогональної осі В заготовки при другій блокуючій осадці до другої блокуючої висоти осадки. Другу блокуючу осадку застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при другій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час другої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при другій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Друга блокуюча висота осадки є більшою, ніж основна висота осадки.

[0021] Необов'язково, між послідовними етапами кування на пресі наданого вище варіанту реалізації способу забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до майже температури кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки і нагрівають зовнішню область поверхні заготовки до майже температури кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки. Повторюють щонайменше один з наданих вище етапів кування на пресі варіанту реалізації способу, поки щонайменше в області заготовки не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0. В необмежуючому варіанті реалізації способу повторюють щонайменше один з етапів кування на пресі, поки щонайменше в області заготовки не буде досягнута повна деформація, яка становить від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу швидкість деформації, використовувана під час кування на пресі, знаходиться в діапазоні від 0,2 с⁻¹ до 0,8 с⁻¹.

Короткий опис графічних матеріалів

[0022] Особливості і переваги приладу і способів, описані в цій заявці, можуть бути краще зрозумілі з посиланням на супровідні графічні матеріали, в яких:

[0023] ФІГ. 1 являє собою графік теоретичного розрахунку об'ємної часткової концентрації рівноважної альфа-фази, присутньої в сплавах Ti-6-4, Ti-6-2-4-6 і Ti-6-2-4-2, залежно від температури;

[0024] ФІГ. 2 являє собою блок-схему, в якій перелічені етапи необмежуючого варіанту реалізації способу обробки сплавів титану згідно з цим винаходом;

[0025] ФІГ. 3 являє собою схематичне зображення аспектів необмежуючого варіанту реалізації способу всебічного кування з високою швидкістю деформації з використанням управління тепловим режимом для обробки сплавів титану для модифікування зерен, причому на ФІГ. 2(a), 2(c) і 2(e) проілюстровані необмежуючі варіанти реалізації етапів кування на пресі, а на ФІГ. 2(b), 2(d) і 2(f) проілюстровані необов'язкові необмежуючі етапи охолодження і нагрівання згідно з необмежуючими аспектами цього винаходу;

[0026] ФІГ. 4 являє собою схематичне зображення аспектів відомого способу всебічного кування з повільною швидкістю деформації, використовуваного для модифікування зерен у дрібномасштабних зразках;

[0027] ФІГ. 5 являє собою блок-схему з переліком етапів необмежуючого варіанту реалізації способу обробки сплавів титану згідно з цим винаходом, що включає основну осадку уздовж ортогональних осей для досягнення кінцевого необхідного розміру заготовки, а також першу і другу блокуючі осадки;

[0028] ФІГ. 6 являє собою температурно-часовий графік термомеханічної обробки для необмежуючого варіанту реалізації способу всебічного кування з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом;

5 [0029] ФІГ. 7 являє собою температурно-часовий графік термомеханічної обробки для необмежуючого варіанту реалізації багатотемпературного способу всебічного кування з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом;

[0030] ФІГ. 8 являє собою температурно-часовий графік термомеханічної обробки для необмежуючого варіанту реалізації способу всебічного кування з високою швидкістю деформації з перетином бета-переходу згідно з цим винаходом;

10 [0031] ФІГ. 9 являє собою схематичне зображення аспектів необмежуючого варіанту реалізації способу багатократної осадки і витягування для модифікування зерен згідно з цим винаходом;

[0032] ФІГ. 10 являє собою блок-схему, в якій перелічені етапи необмежуючого варіанту реалізації способу обробки сплавів титану шляхом багатократної осадки і витягування для модифікування зерен згідно з цим винаходом;

[0033] ФІГ. 11(a) являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-2, кованого і обробленого в промисловому масштабі;

20 [0034] ФІГ. 11(b) являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-2, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації згідно з варіантом реалізації, описаним у Прикладі 1 цього винаходу;

[0035] ФІГ. 12(a) являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-6, кованого і обробленого в промисловому масштабі;

25 [0036] ФІГ. 12(b) являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-6, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації згідно з варіантом реалізації, описаним в Прикладі 2 цього винаходу;

[0037] ФІГ. 13 являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-6, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації згідно з варіантом реалізації, описаним у Прикладі 3 цього винаходу;

30 [0038] ФІГ. 14 являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-2, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації згідно з варіантом реалізації, описаним у Прикладі 4 цього винаходу, в результаті якого застосована однакова деформація уздовж кожної осі;

35 [0039] ФІГ. 15 являє собою мікрофотографію мікроструктури сплаву Ti-6-2-4-2, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації згідно з варіантом реалізації, описаним у Прикладі 5 цього винаходу, згідно з яким для мінімізації випинання заготовки, яке відбувається після кожної основної осадки, використовують блокуючі осадки;

[0040] ФІГ. 16(a) являє собою мікрофотографію мікроструктури центральної області сплаву Ti-6-2-4-2, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації згідно з варіантом реалізації з використанням МАФ перетину бета-переходу, який описаний у Прикладі 6 цього винаходу; і

[0041] ФІГ. 16(b) являє собою мікрофотографію мікроструктури області поверхні сплаву Ti-6-2-4-2, обробленого способом термокерування МАФ з високою швидкістю деформації, згідно з варіантом реалізації з використанням МАФ перетину бета-переходу, який описаний у Прикладі 6 цього винаходу.

45 [0042] Описані вище, а також інші подробиці стануть зрозумілішими після прочитання подальшого детального опису деяких необмежуючих варіантів реалізації згідно з цим винаходом.

Детальний опис деяких необмежуючих варіантів реалізації винаходу

50 [0043] У цьому описі необмежуючих варіантів реалізації, на відміну від робочих прикладів або ситуацій, в яких вказане інше, усі числа, що виражають кількості або характеристики, повинні розумітися як змінювані в усіх випадках терміном "близько". Відповідно до цього, якщо тільки не буде зазначено протилежне, будь-які чисельні параметри, надані в приведеному далі описі винаходу, є наближеними значеннями, які можуть варіюватися залежно від бажаних властивостей, одержання яких домагаються в цьому винаході. У самому крайньому випадку та не у спробі обмеження заявки доктрини еквівалентів обсягом формули винаходу кожен чисельний параметр повинен щонайменше сприйматися у світлі кількості приведених значущих розрядів та як результат застосування звичайних методик округлення.

60 [0044] Крім того, будь-який числовий діапазон, наданий у цій заявці, призначений для охоплення усіх піддіапазонів, віднесених до його категорії. Наприклад, діапазон "1-10" призначений для охоплення усіх піддіапазонів між (і в тому числі) вказаним мінімальним

значенням 1 і вказаним максимальним значенням 10, тобто піддіапазонів, що мають мінімальне значення, яке є рівним або більшим, ніж 1, і максимальне значення, яке є рівним або меншим, ніж 10. Будь-яке максимальне числове обмеження, вказане в цій заявці, призначене включати усі більш низькі числові обмеження, віднесені до його категорії, і будь-яке мінімальне числове обмеження, вказане в цій заявці, призначене включати усі більш високі числові обмеження, віднесені до його категорії. Відповідно, Заявники резервують право на внесення змін у цей винахід, у тому числі в пункти формули винаходу, для явного зазначення будь-якого піддіапазону, включеного в категорію діапазонів, явно вказаних у цій заявці. Усі такі діапазони призначені для безумовного розкриття в цій заявці таким чином, що внесення змін для явного позначення будь-яких таких піддіапазонів відповідає вимогам першої статті положення § 112 розділу 35 Зводу законів США, і положення § 132(а) розділу 35 Зводу законів США.

[0045] Граматичні терміни "один" і "деякий", використовувані в цій заявці, призначені включати "щонайменше один" або "один або більше", якщо не вказане інше. Таким чином, ці терміни використовують у цій заявці для позначення одного або більше ніж одного (тобто щонайменше одного) з граматичних об'єктів терміну. Як приклад, термін "компонент" означає один або більше компонентів, і, таким чином, можливо, передбачається більше, ніж один компонент, і може бути застосовано або використано в реалізації описаних варіантів реалізації.

[0046] Цей винахід містить описи різних варіантів реалізації. Слід розуміти, що усі описані в цій заявці варіанти реалізації є типовими, ілюстративними і необмежуваними. Таким чином, цей винахід не обмежений описом різних типових, ілюстративних і необмежуваних варіантів реалізації. Точніше, цей винахід визначається виключно формулою винаходу, в яку можуть бути внесені зміни для уточнення будь-яких особливостей, прямо або по суті описаних у цій заявці або іншим чином прямо або по суті підтримуваних нею.

[0047] Будь-який патент, публікація або інший матеріал розкриття, в повному обсязі або частково, включений у вигляді посилання в цей документ так, щоб включений матеріал не суперечив існуючим визначенням, твердженням або іншим матеріалам розкриття, викладеним у цій заявці. Таким чином і в необхідній мірі розкриття, викладене в цьому документі, замінює будь-який суперечливий матеріал, включений у вигляді посилання в цей документ. Будь-який патент, публікація або інший матеріал розкриття, в повному обсязі або частково, включений у вигляді посилання в цей документ так, щоб включений матеріал не суперечив існуючим визначенням, твердженням або іншим матеріалам розкриття, викладеним у цій заявці.

[0048] Один аспект цього винаходу спрямований на необмежуючі варіанти реалізації способу всебічного кування сплавів титану, який включає застосування високих швидкостей деформації під час етапів кування для зменшення розміру зерен. Ці варіанти реалізації способу в цілому вказані в цьому винаході як "всебічне кування з високою швидкістю деформації" або "MAF з високою швидкістю деформації". Як використовувані в цій заявці, терміни "осадка" і "удар" взаємозамінно належать до індивідуального етапу кування на пресі, при якому заготовку кують між поверхнями штампів. Як використовується в цій заявці, фраза "висота осадки" належить до розміру або товщини заготовки, виміряних уздовж однієї ортогональної осі після осадки уздовж цієї осі. Наприклад, після осадки шляхом кування на пресі уздовж конкретної осі до висоти осадки, що становить 4,0 дюйми, товщина заготовки після кування на пресі, виміряна уздовж цієї осі, становить близько 4,0 дюймів. Поняття і використання висот осадки відомі фахівцям в галузі кування на пресі і не потребують додаткового обговорення в цій заявці.

[0049] Вище було визначено, що для підготовки заготовок з наддрібними зернами із сплавів, таких як сплав Ti-6Al-4V (ASTM Сорт 5; UNS R56400), який також може бути позначений як сплав "Ti-6-4", може бути використане всебічне кування з високою швидкістю деформації, при якому заготовку кують щонайменше до повної деформації, що становить 3,5. Цей спосіб описаний у патентній заявці США за серійним номером № 12/882538, поданій 15 вересня 2010 року, під назвою "Технологічні схеми для титану і сплавів титану" (далі "Заявка '538"), яка в повному обсязі включена в цю заявку у вигляді посилання. Досягнення деформації, яка становить щонайменше 3,5, може вимагати значної тривалості обробки і складності, що збільшує вартість продукції і підвищує вірогідність виникнення непередбачених проблем. У цьому винаході пропонується спосіб всебічного кування з високою швидкістю деформації, який може забезпечити одержання структур з наддрібною зернистістю з використанням повної деформації в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5.

[0050] Способи згідно з цим винаходом включають застосування всебічного кування і його модифікацій, таких як спосіб багатократної осадки і витягування (MUD), описаний у Заявці '538, до сплавів титану, що проявляють повільніше ефективне виділення альфа-фази і кінетику зростання, ніж сплав Ti-6-4. Зокрема, сплав Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,08Si (UNS R54620), який також може бути позначений як сплав "Ti-6-2-4-2", має повільнішу ефективну альфа-кінетику, ніж

сплав Ti-6-4, у результаті присутності додаткових зерноутворюючих елементів, таких як Si. Крім того, сплав Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (UNS R56260), який також може бути позначений як сплав "Ti-6-2-4-6", має повільнішу ефективну альфа-кінетику, ніж сплав Ti-6-4, у результаті збільшеного бета-стабілізуючого складу. Вважають, що відносно компонентів сплаву вказані зростання і виділення альфа-фази є функцією швидкості дифузії компонента сплаву в сплаві на основі титану. Молібден, як відомо, має одну з найбільш повільних швидкостей дифузії з усіх добавок, що легують титан. Крім того, бетастабілізатори, такі як молібден, знижують температуру (T β) бета-переходу сплаву, причому зниження температури T β в цілому призводить до уповільнення дифузії атомів у сплаві при температурі обробки цього сплаву. Результат відносно повільного ефективного альфавиділення і кінетики зростання для сплавів Ti-6-2-4-2 і Ti-6-2-4-6 полягає в тому, що бетатепова обробка, яку використовують перед MAF згідно з варіантами реалізації цього винаходу, призводить до утворення дрібного і стійкого розміру альфа-пакетів у порівнянні з ефектом такої обробки сплаву Ti-6-4. Крім того, після бета-обробки з нагріванням і охолодженням сплави Ti-6-2-4-2 і Ti-6-2-4-6 мають дрібнозернисту бета-структуру, яка обмежує кінетику зростання альфа-зерен.

[0051] Ефективна кінетика альфа-зростання може бути оцінена шляхом ідентифікації найбільш повільно дифундуючих часток при температурі, безпосередньо нижчій за температуру бета-переходу. Цей підхід теоретично обґрунтований і експериментально перевірений у літературі (дивися публікацію Семятіна (Semiatin) зі співавторами, Metallurgical and Materials Transactions A: Physical Metallurgy and Materials Science 38 (4), 2007, pp. 910-921). Для титану і його сплавів дані про дифузійну здатність усіх потенційних компонентів сплаву не завжди доступні; проте огляди літератури, такої як Titanium (Second Edition, 2007) за авторством Lutjering та Williams, в цілому згодні з наступною відносною класифікацією деяких загальних компонентів сплаву:

DMo<DNb<DAI~DV~DSn~DZr~DHf <DCr~DNi~DCr~DCo~DMn~DFe.

[0052] Таким чином, сплави, такі як сплав Ti-6-2-4-6 і сплав Ti-6-2-4-2, які містять молібден, демонструють бажану повільну альфа-кінетику, необхідну для досягнення наддрібних мікроструктур зерен при порівняно нижчій деформації, ніж для сплаву Ti-6-4, в якому кінетика контролюється дифузією алюмінію. Виходячи із зв'язка груп періодичної таблиці, також можна обґрунтовано стверджувати, що тантал і вольфрам належать до групи повільних дифузантив.

[0053] На додаток до включення повільно дифундуючих елементів для зменшення ефективної кінетики альфа-фази, зменшення температури бета-переходу в сплавах, що контролюється дифузією алюмінію, створює подібний ефект. Зменшення температури бетакпереходу до 100 °C зменшує дифузійну здатність алюмінію у бета-фазі приблизно на порядок величини при температурі бета-переходу. Альфа-кінетика в сплавах, таких як сплав ATI 425® (Ti-4Al-2,5V; UNS 54250) і сплав Ti-6-6-2 (Ti-6Al-6V-2Sn; UNS 56620), швидше за все, контролюється дифузією алюмінію; проте знижені температури бетакпереходу цих сплавів відносно сплаву Ti-6Al-4V також призводять до бажаної уповільненої ефективної альфа-кінетики. Сплав Ti-6Al-7Nb (UNS R56700), що зазвичай являє собою біомедичну версію сплаву Ti-6Al-4V, також може проявляти уповільнену ефективну альфакінетику завдяки вмісту ніобію.

[0054] Спочатку очікувалося, що альфа-бета-сплави, за винятком сплаву Ti-6-4, можуть бути оброблені в умовах, подібних до описаних у Заявці '538, при температурах, які призведуть до подібних об'ємних часткових концентрацій альфа-фази. Наприклад, згідно з попередніми оцінками, зробленими з використанням програмного забезпечення PANDAT, яке являє собою комерційно доступний обчислювальний інструмент, наявний у продажу в компанії CompuTherm, LLC, Мадісон, штат Вісконсін, США, було спрогнозовано, що сплав Ti-6-4 при температурі 1500 °F (815,6 °C) повинен мати приблизно ту ж саму об'ємну часткову концентрацію альфа-фази, що і сплав Ti-6-2-4-2 при температурі 1600 °F (871,1 °C) і сплав Ti-6-2-4-6 при температурі 1200 °F (648,9 °C), як проілюстровано на ФІГ. 1. Проте сплави Ti-6-2-4-2 і Ti-6-2-4-6 розтріскуються при обробці способом, яким був оброблений сплав Ti-6-4 в Заявці '538, з використанням температури, для якої було спрогнозовано утворення подібної об'ємної часткової концентрації альфа-фази. Для успішної обробки сплавів Ti-6-2-4-2 і Ti-6-2-4-6 потрібні набагато вищі температури, що забезпечують зменшені рівноважні об'ємні часткові концентрації альфа-фази і/або значно зменшену деформацію на один прохід.

[0055] Кожна зі змін у способі MAF з високою швидкістю деформації, в тому числі температури (температур) альфа/бета-кування, швидкості деформації, деформації на удар, часі паузи між ударами, кількості і тривалості повторних нагрівань і проміжних термічних обробок, може впливати на результуючу мікроструктуру, а також наявність і міру розтріскування. Спочатку були зроблені знижені повні деформації для блокування розтріскування без надії на досягнення наддрібних зернистих структур. Проте, після досліджень, зразки, оброблені з

використанням знижених повних деформацій, показали виразну перспективу створення наддрібних зернистих структур. Цей результат виявився цілком несподіваним.

[0056] Згідно з деякими необмежуваними варіантами реалізації цього винаходу, спосіб одержання зерен наддрібного розміру включає такі етапи: 1) вибір сплаву титану, що демонструє ефективну кінетику зростання альфа-фази, яка є повільнішою, ніж у сплаву Ti6-4; 2) виконання бета-відпалу сплаву титану для створення стійкого альфа-пакету дрібного розміру і 3) виконання MAF з високою швидкістю деформації (або подібного похідного способу, такого як спосіб багатократної осадки і витягування (MUD), описаного в Заявці '538) для повної деформації, що становить щонайменше 1,0, або, згідно з іншим варіантом реалізації, для повної деформації, що становить щонайменше від 1,0 до менше ніж 3,5. Слово "дрібний" для опису зерен і розміру пакету, яке використовується в цій заявці, належить до найменшого розміру зерен і пакету, який може бути досягнутий і який, згідно з необмежуваними варіантами реалізації, становить близько 1 мкм. Слово "стійкий" використовується в цій заявці для позначення того, що етапи всебічного кування не укрупнюють значною мірою розмір альфа-зерен і не збільшують розмір альфа-зерен більше, ніж близько на 100 %.

[0057] Блок-схема на ФІГ. 2 і схематичне зображення на ФІГ. 3 ілюструють аспекти необмежувачого варіанту реалізації способу (16) використання всебічного кування (MAF) з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом для зменшення розміру зерен у сплавах титану. Перед всебічним куванням (26) виконують бета-відпал (18) і охолодження (20) заготовки 24 зі сплаву титану. Охолодження повітрям може бути використане при невеликих розмірах заготовки, таких як, наприклад, заготовка кубічної форми з ребром 4 дюйми; проте також може бути використане охолодження водою або рідиною. Швидші швидкості охолодження призводять до дрібнішого пакету і розмірів альфа-зерен. Бетавідпал (18) включає нагрівання заготовки 24 до температури, вищої за температуру бетакпереходу сплаву титану в заготовці 24, і витримку впродовж часу, достатнього для формування усієї бета-фази в заготовці 24. Бета-відпал (18) являє собою спосіб, відомий фахівцям у цій галузі техніки, і, отже, не описаний детально в цій заявці. Необмежувачий варіант реалізації бета-відпалу може включати нагрівання заготовки 24 до температури бета-відпалу, яка близько на 50 °F (27,8 °C) вища за температуру бетакпереходу для сплаву титану, і витримку заготовки 24 при цій температурі впродовж близько 1 години.

[0058] Після бета-відпалу (18) заготовку 24 охолоджують (20) до температури, нижчої за температуру бетакпереходу сплаву титану в заготовці 24. В необмежувачому варіанті реалізації цього винаходу заготовку охолоджують до температури довкілля. Як використовується в цій заявці, термін "температура довкілля" вказує на температуру середовища. Наприклад, у необмежувачому промисловому сценарії виготовлення термін "температура довкілля" вказує на температуру виробничого середовища. В необмежувачому варіанті реалізації охолодження (20) може включати гартування. Гартування включає занурення заготовки 24 у воду, олію або іншу прийнятну рідину і являє собою спосіб, відомий фахівцям у галузях металургії. В інших необмежувачих варіантах реалізації, зокрема, для заготовок меншого розміру, охолодження (20) може включати охолодження повітрям. Будь-який спосіб охолодження заготовки 24 із сплаву титану, відомий фахівцям у цій галузі техніки нині або який буде відомий згодом, знаходиться в межах обсягу цього винаходу. Крім того, в деяких необмежувачих варіантах реалізації винаходу охолодження (20) включає охолодження безпосередньо до температури кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки для подальшого всебічного кування з високою швидкістю деформації.

[0059] Після охолодження (20) заготовки її піддають всебічному куванню (26) з високою швидкістю деформації. Фахівцям у цій галузі техніки зрозуміло, що всебічне

кування ("MAF"), яке також може бути позначене як кування "A-B-C", являє собою форму жорсткої пластичної деформації. Всебічне кування (26) з високою швидкістю деформації, згідно з необмежувачим варіантом реалізації цього винаходу, включає нагрівання (етап 22 на ФІГ. 2) заготовки 24, яка містить титановий сплав, до температури кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки, який знаходиться межах області альфа+бета-фази сплаву титану з подальшим MAF (26) з використанням високої швидкості деформації. Очевидно, що у варіанті реалізації винаходу, в якому етап охолодження (20) включає охолодження до температури в діапазоні температур кування заготовки, етап нагрівання (22) не є необхідним.

[0060] Високу швидкість деформації використовують при MAF з високою швидкістю деформації для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки. Проте в необмежувачих варіантах реалізації цього винаходу щонайменше в останньому циклі ударів A-B-C MAF з високою швидкістю деформації за цикл температура внутрішньої області заготовки 24 зі сплаву титану не повинна перевищувати температуру (T_β) бетакпереходу заготовки зі сплаву

титану. Таким чином, у таких необмежуваних варіантах реалізації винаходу температура кування заготовки щонайменше для кінцевого циклу ударів А-В-С, або щонайменше для останнього удару циклу, МАФ з високою швидкістю деформації повинна бути вибрана так, щоб під час МАФ з високою швидкістю деформації температура внутрішньої області заготовки не була рівною або не перевищувала температуру бета-переходу сплаву. Наприклад, у необмежуваних варіантах реалізації, згідно з цим винаходом, температура внутрішньої області заготовки не перевищує 20 °F (11,1 °C) нижче від температури бета-переходу сплаву, тобто Т_β - 20 °F (Т_β - 11,1 °C), під час щонайменше кінцевого циклу ударів А-В-С з високою швидкістю деформації при МАФ або під час щонайменше останнього кувального удару пресу, при якому щонайменше в області заготовки досягається повна деформація, яка становить щонайменше 1,0 або знаходиться в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5.

[0061] У необмежуваних варіантах реалізації МАФ з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом температура кування заготовки включає температуру в межах діапазону температур кування заготовки. У необмежуваних варіантах реалізації винаходу діапазон температур кування заготовки становить від 100 °F (55,6 °C) нижче від температури (Т_β) бета-переходу сплаву титану заготовки до 700 °F (388,9 °C) нижче від температури бета-переходу сплаву титану. В іншому варіанті реалізації винаходу діапазон температур кування заготовки становить від 300 °F (166,7 °C) нижче від температури (Т_β) бета-переходу сплаву титану до 625 °F (347 °C) нижче від температури бета-переходу сплаву титану. У необмежуваних варіантах реалізації винаходу нижня межа діапазону температури кування заготовки являє собою температуру в області альфа+бета-фази, причому ушкодження, такі як, наприклад, утворення тріщин і кришіння, не відбуваються на поверхні заготовки під час кувального удару.

[0062] В необмежуваних варіантах реалізації способу, проілюстрованому на ФІГ. 2, застосованому до сплаву Ti-6-2-4-2, який має температуру (Т_β) бета-переходу близько 1820 °F (996 °C), діапазон температур кування заготовки може становити від 1120 °F (604,4 °C) до 1720 °F (937,8 °C) або в іншому варіанті реалізації може становити від 1195 °F (646,1 °C) до 1520 °F (826,7 °C). В необмежуваних варіантах реалізації способу, проілюстрованому на ФІГ. 2, застосованому до сплаву Ti-6-2-4-6, який має температуру (Т_β) бета-переходу близько 1720 °F (940 °C), діапазон температур кування заготовки може становити від 1020 °F (548,9 °C) до 1620 °F (882,2 °C) або в іншому варіанті реалізації може становити від 1095 °F (590,6 °C) до 1420 °F (771,1 °C). У ще одному необмежуваних варіантах реалізації при застосуванні варіанту реалізації, проілюстрованого на ФІГ. 2, до сплаву ATI 425® (UNS R54250), який також може бути позначений як сплав "Ti-4Al-2,5V" і який має температуру (Т_β) бета-переходу близько 1780 °F (971,1 °C), діапазон температури кування заготовки може становити від 1080 °F (582,2 °C) до 1680 °F (915,6 °C) або в іншому варіанті реалізації може становити від 1155 °F (623,9 °C) до 1480 °F (804,4 °C). У ще одному необмежуваних варіантах реалізації при застосуванні варіанту реалізації цього винаходу, проілюстрованого на ФІГ. 2, до сплаву Ti-6Al-6V-2Sn (UNS 56620), який також може бути позначений як сплав "Ti-6-6-2" і який має температуру (Т_β) бета-переходу близько 1735 °F (946,1 °C), діапазон температур кування заготовки може становити від 1035 °F (527,2 °C) до 1635 °F (890,6 °C) або в іншому варіанті реалізації може становити від 1115 °F (601,7 °C) до 1435 °F (779,4 °C). Цей винахід охоплює застосування всебічного кування з високою швидкістю деформації і його похідних, таких як спосіб MUD, описаний у Заявці '538, до сплавів титану, що відрізняються повільнішим ефективним альфа-виділенням і кінетикою зростання, ніж у сплаву Ti-6-4.

[0063] Звертаючись знову до ФІГ. 2 і 3, де заготовка 24 із сплаву титану нагріта до температури кування заготовки, заготовку 24 піддають МАФ (26) з високою швидкістю деформації. В необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом МАФ (26) включає кування на пресі (етап 28, проілюстрований на ФІГ. 3(a)) заготовки 24 при температурі кування заготовки у напрямку (А) першої ортогональної осі 30 заготовки з використанням швидкості деформації, достатньої для адіабатичного нагрівання заготовки, або щонайменше адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, і пластичної деформації заготовки 24.

[0064] Високі швидкості деформації і високі швидкості плунжерів використовують для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки в необмежуваних варіантах реалізації МАФ з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом. У необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом термін "з високою швидкістю деформації" вказує на швидкість деформації в діапазоні від близько 0,2 с⁻¹ до близько 0,8 с⁻¹. В іншому необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом термін "з високою швидкістю деформації" вказує на швидкість деформації в діапазоні від близько 0,2 с⁻¹ до близько 0,4 с⁻¹.

[0065] В необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом при використанні високої швидкості деформації, як визначено вище, внутрішня область заготовки із сплаву

титану може бути адіабатично нагріта до близько 200 °F (111,1 °C) вище за температуру кування заготовки. В іншому необмежуючому варіанті реалізації під час кування на пресі внутрішню область адіабатично нагрівають до температури в діапазоні від близько 100 °F (55,6 °C) до близько 300 °F (166,7 °C) вище за температуру кування заготовки. У ще одному

5 необмежуючому варіанті реалізації під час кування на пресі внутрішню область адіабатично нагрівають до температури в діапазоні від близько 150 °F (83,3 °C) до близько 250 °F (138,9 °C) вище за температуру кування заготовки. Як вказано вище, в необмежуваних варіантах реалізації винаходу жодна частина заготовки не має бути нагріта вище за температуру бета-переходу сплаву титану під час останнього циклу ударів A-B-C MAF з високою швидкістю деформації або

10 під час останнього удару уздовж ортогональної осі.

[0066] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу під час кування на пресі (28) заготовку 24 пластично деформують до осадки по висоті або іншому розмірі, що знаходиться в діапазоні від 20 % до 50 %, тобто вказаний розмір зменшують на відсоткову величину в межах вказаного діапазону. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу під час кування на пресі (28)

15 заготовку 24 пластично деформують до осадки по висоті або іншому розмірі в діапазоні від 30 % до 40 %.

[0067] На ФІГ. 4 схематично проілюстрований відомий спосіб всебічного кування з ультраповільною швидкістю деформації (0,001 с-1 або менше). В цілому, аспект всебічного кування полягає в тому, що після кожного трихдового (тобто "з трьох ударів") циклу за

20 допомогою кувального приладу (який може являти собою, наприклад, кувальний прес з відкритим штампом) заготовка набуває форми і розміру, які вона мала безпосередньо перед першим ударом цього циклу з трьох ударів. Наприклад, після першого кування першим "ударом" по заготовці кубічної форми з ребром 5 дюймів у напрямку осі "а", обертання на 90° і другого удару у напрямку ортогональної осі "b", з подальшим обертанням на 90° і куванням

25 третім ударом у напрямку ортогональної осі "с", вказана заготовка повернеться до початкової кубічної форми з ребром близько 5 дюймів. Іншими словами, незважаючи на те, що цикл з трьох ударів деформував куб у три етапи уздовж трьох ортогональних осей куба, в результаті зміни положення вказаної заготовки між окремими ударами і вибору осадки під час кожного удару загальний результат трьох кувальних деформацій полягає в поверненні вказаного куба

30 приблизно до його початкових форми і розміру.

[0068] В іншому необмежуючому варіанті реалізації згідно з цим винаходом перший етап кування на пресі (28), проілюстрований на ФІГ. 2(а), також позначений у цій заявці як "перший удар", може включати кування заготовки на пресі із спрямованим вниз ударом по верхній частині для осадки заготовки до заданої висоти, причому заготовка має температуру в діапазоні

35 температур кування. Як використовується в цій заявці, термін "висота осадки" вказує на розмір заготовки після завершення конкретної осадки під час кування на пресі. Наприклад, для досягнення висоти осадки, що становить 5 дюймів, заготовку кують до розміру близько 5 дюймів. У конкретному необмежуючому варіанті реалізації способу згідно з цим винаходом висота осадки становить, наприклад, 5 дюймів. В іншому необмежуючому варіанті реалізації

40 винаходу висота осадки становить 3,25 дюйми. Інші висоти осадки, такі як, наприклад, менше ніж 5 дюймів, близько 4 дюймів, близько 3 дюймів, більше ніж 5 дюймів або від 5 дюймів до 30 дюймів знаходяться в межах обсягу варіантів реалізації цієї заявки, але їх не слід розглядати як такі, що обмежують обсяг цього винаходу. Висоти осадки обмежені лише характеристиками кувальної машини і необов'язково, як буде видно із цієї заявки, характеристиками системи

45 управління тепловим режимом згідно з необмежуваними варіантами реалізації цього винаходу, призначеної для підтримки заготовки при температурі кування заготовки. Висоти осадки менше ніж 3 дюйми також входять в обсяг варіантів реалізації, описаних у цій заявці, і такі відносно невеликі висоти осадки обмежені лише необхідними характеристиками готового виробу. Використання висот осадки близько 30 дюймів, наприклад, у способах згідно з цим винаходом

50 забезпечує можливість виготовлення зі сплаву титану форм сортового розміру (наприклад, зі стороною 30 дюймів) кубічної форми з дрібним розміром зерен, дуже дрібним розміром зерен або наддрібним розміром зерен. Форми сортового розміру кубічної форми відомих сплавів використовують як заготовки, з яких кують диски, кільця і корпусні деталі, наприклад, для авіаційних або наземних турбін.

[0069] Задані висоти осадки, які мають бути використані в різних необмежуваних варіантах реалізації способів згідно з цим винаходом, можуть бути визначені фахівцем у цій галузі техніки без зайвого експериментування при розгляді цього винаходу. Конкретні висоти осадки можуть бути визначені фахівцем у цій галузі техніки без зайвого експериментування. Конкретні висоти осадки залежать від схильності конкретного сплаву до розтріскування під час кування. Сплави з

60 більшою схильністю до розтріскування потребують більших висот осадки, тобто меншої

деформації на удар для запобігання розтріскуванню. При виборі висоти осадки також слід враховувати поріг адіабатичного нагрівання, оскільки щонайменше в останньому циклі ударів температура заготовки не повинна перевищувати $T\beta$ сплаву. Крім того, при виборі висоти осадки також слід враховувати граничні характеристики кувального пресу. Наприклад, під час пресування заготовки кубічної форми з ребром 4 дюйми її площа поперечного перерізу збільшується під час етапу пресування. Таким чином, зростає загальне навантаження, яке потрібне для підтримки необхідної швидкості деформації при деформації заготовки. Вказане навантаження не може перевищувати характеристики кувального пресу. Крім того, при виборі висоти осадки слід враховувати геометрію заготовки. Великі деформації можуть призвести до випинання заготовки. Занадто велика осадка може призвести до відносного сплюснення заготовки так, що наступний кувальний удар у напрямку іншої ортогональної осі може призвести до вигину заготовки.

[0070] У деяких необмежуваних варіантах реалізації винаходу висоти осадки, використовувані при кожному ударі уздовж ортогональної осі, є еквівалентними. В деяких інших необмежуваних варіантах реалізації винаходу висоти осадки, використовувані при кожному ударі уздовж ортогональної осі, не є еквівалентними. Нижче надані необмежувачі варіанти реалізації MAF з високою швидкістю деформації з використанням нееквівалентних висот осадки для кожної ортогональної осі.

[0071] Після кування на пресі (28) заготовки 24 у напрямку першої ортогональної осі 30, тобто у напрямку А, проілюстрованому на ФІГ. 2(а), необмежувачий варіант реалізації способу згідно з цим винаходом необов'язково включає етап забезпечення можливості охолодження (етап 32) адіабатично нагрітої внутрішньої області (не проілюстрована) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, в діапазоні температур кування заготовки, як проілюстровано на ФІГ. 3(б). В різних необмежуваних варіантах реалізації винаходу періоди часу охолодження внутрішньої області або періоди часу "очікування" можуть знаходитися в діапазоні, наприклад, від 5 секунд до 120 секунд, від 10 секунд до 60 секунд або від 5 секунд до 5 хвилин. В різних необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом термін "адіабатично нагріта внутрішня область" заготовки, як використовується в цій заявці, належить до області, що проходить у зовнішньому напрямку від центру заготовки і має об'єм, що становить щонайменше близько 50 % або щонайменше близько 60 %, або щонайменше близько 70 %, або щонайменше близько 80 % від об'єму заготовки. Фахівцям у цій галузі техніки буде очевидно, що час, потрібний для охолодження внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, залежатиме від розміру, форми і складу заготовки 24, а також від умов атмосфери, що оточує заготовку 24.

[0072] Впродовж періоду охолодження внутрішньої області аспект системи 33 управління тепловим режимом згідно з деякими необмежуваними варіантами реалізації винаходу, описаними в цій заявці, необов'язково включає нагрівання (етап 34) зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї. Таким чином, температура заготовки 24 знаходиться в однорідних або близьких до однорідних і, по суті, ізотермічних умовах при температурі кування заготовки або близькій до неї перед кожним ударом MAF з високою швидкістю деформації. Вважається, що необов'язкове нагрівання (34) зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 після кожного удару уздовж осі А, після кожного удару уздовж осі В і/або після кожного удару уздовж осі С знаходиться в межах обсягу цього винаходу. В необмежуваних варіантах реалізації винаходу зовнішню поверхню заготовки необов'язково нагрівають (34) після кожного циклу ударів А-В-С. В інших необмежуваних варіантах реалізації винаходу зовнішню область поверхні необов'язково нагрівають після будь-якого удару або циклу ударів, тимчасом як загальну температуру заготовки підтримують у межах діапазону температур кування заготовки під час процесу кування. Періоди часу, впродовж яких заготовка повинна нагріватися для підтримки температури заготовки 24 в однорідних або близьких до однорідних і, по суті, ізотермічних умовах при температурі кування заготовки або близькій до неї, перед кожним ударом MAF з високою швидкістю деформації, можуть залежати від розміру заготовки і можуть бути визначені фахівцями в цій галузі техніки без зайвого експериментування. В різних необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом термін "зовнішня область поверхні" заготовки, як використовується в цій заявці, вказує на область, що проходить у внутрішньому напрямку від зовнішньої поверхні заготовки і має об'єм, що становить щонайменше близько 50 % або щонайменше близько 60 %, або щонайменше близько 70 %, або щонайменше близько 80 % від об'єму заготовки.

[0073] В необмежуваних варіантах реалізації винаходу нагрівання (34) зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 може бути здійснене з використанням одного або більше механізмів 38

нагрівання поверхні системи 33 управління тепловим режимом. Як приклади можливих механізмів нагрівання поверхні після етапів кування на пресі, уся заготовка може бути розміщена в печі або іншим способом нагріта до температури в діапазоні температур кування заготовки.

5 [0074] В деяких необмежуваних варіантах реалізації винаходу, як необов'язкову особливість, між кожним з кувальних ударів А, В і С використовують систему 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні 36 заготовки і забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж часу, необхідного для охолодження внутрішньої області для повернення температури заготовки, по суті, до однорідної температури, рівної вибраній температурі кування заготовки або близької до неї. В деяких інших необмежуваних варіантах реалізації згідно з цим винаходом, як необов'язкову особливість, між кожним з кувальних ударів А, В і С використовують систему 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні 36 заготовки і забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж часу, необхідного для охолодження внутрішньої області так, щоб температура заготовки повернулася, по суті, до однорідної температури в межах діапазону температур кування заготовки. Необмежуючі варіанти реалізації способу згідно з цим винаходом використовують як (1) систему 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні заготовки до температури в межах діапазону температур кування заготовки, так і (2) період, під час якого адіабатично нагріту внутрішню область охолоджують до температури в межах діапазону температур кування заготовки, може позначатися в цій заявці як "термокероване всебічне кування з високою швидкістю деформації". 38 включають, без обмеження ними, вогневі нагрівачі, виконані з можливістю нагрівання полум'ям; індукційні нагрівачі, виконані з можливістю індукційного нагрівання; і радіаційні нагрівачі, виконані з можливістю радіаційного нагрівання зовнішньої поверхні заготовки 24. Інші механізми і способи нагрівання зовнішньої області поверхні заготовки будуть очевидними для фахівців у цій галузі техніки після розгляду цього винаходу, і такі механізми і способи знаходяться в межах обсягу цього винаходу. Необмежуючий варіант реалізації механізму 38 нагрівання зовнішньої області поверхні може включати камерну піч (не проілюстрована). Камерна піч може бути виконана з можливістю використання різних механізмів нагрівання для нагрівання зовнішньої області поверхні заготовки з використанням одного або більше вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, індукційних механізмів нагрівання і будь-яких інших прийнятних механізмів нагрівання, які відомі фахівцям у цій галузі техніки нині або які будуть відомі згодом.

35 [0075] В іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу температуру зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 необов'язково нагрівають (34) і підтримують при температурі кування заготовки або близькій до неї і в межах діапазону температур кування заготовки з використанням одного або більше підігрівачів 40 прес-форми системи 33 управління тепловим режимом. Підігрівачі 40 прес-форм можуть бути використані для підтримки прес-форм 42 або поверхонь 44 прес-форм для кування на пресі при температурі кування заготовки або близькій до неї або температурах у межах діапазону температур кування заготовки. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу прес-форми 42 системи управління тепловим режимом нагрівають до температури в межах діапазону від температури кування заготовки до температури, яка на 100 °F (55,6 °C) є нижчою за температуру кування заготовки. Підігрівачі 40 прес-форм можуть нагрівати прес-форми 42 або поверхні 44 прес-форм для кування на пресі з використанням будь-якого прийнятного механізму нагрівання, відомого фахівцям у цій галузі техніки нині або який буде відомий згодом, у том числі, без обмеження ними, вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, контактних механізмів нагрівання і/або індукційних механізмів нагрівання. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу підігрівач 40 прес-форми може являти собою компонент камерної печі (не проілюстрована). Хоча система 33 управління тепловим режимом показана на місці і використовується під час етапів охолодження (32), (52), (60) способу (26) всебічного кування, проілюстрованих на ФІГ. 2(b), 2(d) і 2(f), вважається, що система 33 управління тепловим режимом може бути або не бути присутньою на місці під час етапів кування на пресі (28), (46), (56), проілюстрованих на ФІГ. 2(a), 2(c) і 2(e).

55 [0076] Як проілюстровано на ФІГ. 3(c), аспект необмежувачого варіанту реалізації способу (26) всебічного кування згідно з цим винаходом включає кування на пресі (етап 46) заготовки 24 при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку (В) другої ортогональної осі 48 заготовки 24 з використанням швидкості деформації, достатньої для адіабатичного нагрівання заготовки 24, або щонайменше внутрішньої області заготовки 24, і пластичної деформації заготовки 24. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу під час кування на пресі (46) заготовку 24 деформують до пластичної деформації в межах осадки від 20

% до 50 % по висоті або іншому розмірі. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу під час кування на пресі (46) заготовку 24 пластично деформують до пластичної деформації в межах осадки від 30 % до 40 % по висоті або іншому розмірі. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовка 24 може куватися на пресі (46) у напрямку другої ортогональної осі 48 до тієї ж самої висоти осадки, що використовується на першому етапі кування на пресі (28). В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовка 24 може куватися на пресі у напрямку другої ортогональної осі 48 до висоти осадки, яка відрізняється від тієї, що використовується на першому етапі кування на пресі (28). В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу внутрішню область (не проілюстрована) заготовки 24 адіабатично нагрівають під час етапу кування на пресі (46) до тієї ж самої температури, що і в першому етапі кування на пресі (28). В інших необмежуючих варіантах реалізації винаходу високі швидкості деформації, використовувані для кування на пресі (46), знаходяться в тих самих діапазонах швидкостей деформації, які описані для першого етапу кування на пресі (28).

[0077] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, як проілюстровано на ФІГ. 2(b) і (d), заготовка 24 може обертатися (50) між подальшими етапами кування на пресі (наприклад, (28), (46), (56)) для надання різних ортогональних осей поверхням кування. Таке обертання може бути позначене як обертання "А-В-С". Мається на увазі, що при використанні різних конфігурацій кувальної машини можна обертати плунжер пресу на кувальній машині замість обертання заготовки 24 або кувальна машина може бути обладнана багатоосьовими плунжерами таким чином, що не потрібно обертати ні заготовку, ні кувальну машину. Очевидно, що важливий аспект полягає у відносній зміні положення заготовки і використовуваного плунжера, і обертання (50) заготовки 24 може бути непотрібним або необов'язковим. Проте у більшості сучасного промислового обладнання обертання (50) заготовки відносно різних ортогональних осей між етапами кування на пресі буде необхідним для завершення процесу всебічного кування (26).

[0078] В необмежуючих варіантах реалізації винаходу, в яких обертання А-В-С (50) є необхідним, заготовка 24 може обертатися вручну оператором кувальної машини або за допомогою автоматичної системи обертання (не проілюстрована) для забезпечення обертання А-В-С (50). Автоматична система обертання А-В-С може включати, без обмеження ними, шарнірний маніпуляційний набір інструментів з фіксаторами або тому подібне для забезпечення необмежуючого варіанту реалізації термокерованого всебічного кування з високою швидкістю деформації, описаного в цій заявці.

[0079] Після кування на пресі (46) заготовки 24 у напрямку другої ортогональної осі 48, тобто у напрямку В і як проілюстровано на ФІГ. 3(d), спосіб (20) необов'язково додатково включає забезпечення можливості (етап 52) охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області (не проілюстрована) заготовки до температури кування заготовки або близької до неї, як проілюстровано на ФІГ. 3(d). В деяких необмежуючих варіантах реалізації винаходу періоди часу охолодження внутрішньої області або періоди часу очікування можуть знаходитися в діапазоні, наприклад, від 5 секунд до 120 секунд або від 10 секунд до 60 секунд, або від 5 секунд до 5 хвилин. Фахівцям у цій галузі техніки буде очевидно, що мінімальні періоди часу охолодження залежать від розміру, форми і складу заготовки 24, а також від характеристик середовища, що оточує заготовку.

[0080] Впродовж необов'язкового періоду охолодження внутрішньої області необов'язковий аспект системи 33 управління тепловим режимом згідно з деякими необмежуючими варіантами реалізації винаходу, описаними в цій заявці, включає нагрівання (етап 54) зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 до температури в діапазоні кування заготовки до температури кування заготовки або близької до неї. Таким чином, температуру заготовки 24 підтримують в однорідних або близьких до однорідних і, по суті, ізотермічних умовах при температурі кування заготовки або близькій до неї перед кожним ударом МАФ з високою швидкістю деформації. В необмежуючих варіантах реалізації винаходу із використанням системи 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні 36 разом із забезпеченням можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж конкретного часу, температура заготовки повертається, по суті, до однорідної температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, між кожним кувальним ударом А-В-С. В іншому необмежуючому варіанті реалізації згідно з цим винаходом із використанням системи 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні 36 разом із забезпеченням можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж конкретного часу, температура заготовки повертається, по суті, до однорідної температури в межах діапазону температур кування заготовки перед кожним ударом МАФ з високою швидкістю деформації.

[0081] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу нагрівання (54) зовнішньої області

поверхні 36 заготовки 24 може бути здійснено з використанням одного або більше зовнішніх механізмів 38 нагрівання поверхні системи 33 управління тепловим режимом. Приклади можливих механізмів нагрівання 38 можуть включати, без обмеження ними, вогневі нагрівачі, виконані з можливістю нагрівання полум'ям; індукційні нагрівачі, виконані з можливістю індукційного нагрівання; і/або радіаційні нагрівачі, виконані з можливістю радіаційного нагрівання заготовки 24. Необмежуючий варіант реалізації механізму 38 нагрівання поверхні може включати камерну піч (не проілюстрована). Інші механізми і способи нагрівання зовнішньої поверхні заготовки будуть очевидними для фахівців у цій галузі техніки після розгляду цього винаходу, і такі механізми і способи знаходяться в межах обсягу цього винаходу.

[0082] В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу температура зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 може бути нагріта (54) і підтримуватися при температурі кування заготовки або близькій до неї і в межах діапазону температур кування заготовки з використанням одного або більше підігрівачів 40 прес-форми системи 33 управління тепловим режимом. Підігрівачі 40 прес-форм можуть бути використані для підтримки прес-форм 42 або поверхонь 44 прес-форм для кування на пресі при температурі кування заготовки або близькій до неї або температурах у межах діапазону температур кування заготовки. Підігрівачі 40 прес-форм можуть нагрівати прес-форми 42 або поверхні 44 прес-форм для кування на пресі з використанням будь-якого прийнятного механізму нагрівання, який відомий фахівцям у цій галузі техніки нині або який буде відомий згодом, у тому числі, без обмеження ними, вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, контактних механізмів нагрівання і/або індукційних механізмів нагрівання. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу підігрівач 40 прес-форми може являти собою компонент камерної печі (не проілюстрована). Хоча система 33 управління тепловим режимом показана на місці і використовується під час етапів (32), (52), (60) зрівноважування і охолодження способу всебічного кування (26), проілюстрованих на ФІГ. 2(b), (d) і (f), вважається, що система 33 управління тепловим режимом може бути або не бути присутньою на місці під час етапів кування на пресі (28), (46), (56), проілюстрованих на ФІГ. 2(a), (c) і (e).

[0083] Як проілюстровано на ФІГ. 3(e), аспект варіанту реалізації всебічного кування (26) згідно з цим винаходом включає кування на пресі (етап 56) заготовки 24 при температурі кування заготовки в діапазоні температур кування заготовки у напрямку (C) третьої ортогональної осі 58 заготовки 24 з використанням швидкості плунжера і швидкості деформації, які є достатніми для адіабатичного нагрівання заготовки 24 або щонайменше адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, і пластичної деформації заготовки 24. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовку 24 деформують під час кування на пресі (56) до пластичної деформації в межах осадки від 20 % до 50 % по висоті або іншому розмірі. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу під час кування на пресі (56) заготовку пластично деформують до пластичної деформації в межах осадки від 30 % до 40 % по висоті або іншому розмірі. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовку 24 можуть кувати на пресі (56) у напрямку третьої ортогональної осі 58 до тієї ж самої висоти осадки, яку використовують на першому етапі кування на пресі (28) і/або другому етапі кування (46). В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовку 24 можуть кувати на пресі у напрямку третьої ортогональної осі 58 до висоти осадки, що відрізняється від тієї, яку використовують на першому етапі кування на пресі (28). В іншому необмежуючому варіанті реалізації згідно з цим винаходом внутрішню область (не проілюстрована) заготовки 24 адіабатично нагрівають під час етапу кування на пресі (56) до тієї ж самої температури, що і на першому етапі кування на пресі (28). В інших необмежуючих варіантах реалізації винаходу високі швидкості деформації, використовувані для кування на пресі (56), знаходяться в тих самих діапазонах швидкостей деформації, які описані для першого етапу кування на пресі (28).

[0084] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, як показано стрілкою 50 на ФІГ. 3(b), 3(d) і 3(e), заготовку 24 можна обертати (50) відносно різних ортогональних осей між подальшими етапами кування на пресі (наприклад, 46, 56). Як описано вище, таке обертання може бути позначене як обертання А-В-С. Мається на увазі, що при використанні різних конфігурацій кувальної машини можна обертати плунжер пресу на кувальній машині замість обертання заготовки 24 або кувальна машина може бути обладнана багатоосьовими плунжерами таким чином, що не потрібно обертати ні заготовку, ні кувальну машину. Таким

чином, обертання 50 заготовки 24 може являти собою непотрібний або необов'язковий етап. Проте у більшості сучасного промислового обладнання обертання 50 заготовки відносно різних ортогональних осей між етапами кування на пресі буде необхідним для завершення процесу всебічного кування (26).

5 [0085] Після кування на пресі 56 заготовки 24 у напрямку третьої ортогональної осі 58, тобто у напрямку С, і як проілюстровано на ФІГ. 3(е), спосіб 20 необов'язково додатково включає забезпечення можливості охолодження (етап 60) адіабатично нагрітої внутрішньої області (не проілюстрована) заготовки до температури кування заготовки або близької до неї, як проілюстровано на ФІГ. 3(ф). Періоди часу охолодження внутрішньої області можуть знаходитися в діапазоні, наприклад, від 5 секунд до 120 секунд, від 10 секунд до 60 секунд або від 5 секунд до 5 хвилин, причому фахівцям у цій галузі техніки зрозуміло, що періоди часу охолодження залежать від розміру, форми і складу заготовки 24, а також від характеристик середовища, що оточує заготовку.

15 [0086] Впродовж необов'язкового періоду охолодження необов'язковий аспект системи 33 управління тепловим режимом згідно з необмежуваними варіантами реалізації винаходу, описаними в цій заявці, включає нагрівання (етап 62) зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї. Таким чином, температуру заготовки 24 підтримують в однорідних або близьких до однорідних і, по суті, ізотермічних умовах при температурі кування заготовки або близькій до неї перед кожним ударом МАФ з високою швидкістю деформації. В необмежуваних варіантах реалізації винаходу із використанням системи 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні 36 разом із забезпеченням можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж конкретного часу, температура заготовки повертається, по суті, до однорідної температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, між кожним кувальним ударом А-В-С. В іншому необмежувачому варіанті реалізації згідно з цим винаходом із використанням системи 33 управління тепловим режимом для нагрівання зовнішньої області поверхні 36 разом із забезпеченням можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж конкретного часу, температура заготовки повертається, по суті, до ізотермічних умов у межах діапазону температур кування заготовки між подальшими кувальними ударами А-В-С.

[0087] В необмежувачому варіанті реалізації винаходу нагрівання (62) зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 може бути здійснено з використанням одного або більше зовнішніх механізмів 38 нагрівання поверхні системи 33 управління тепловим режимом. Приклади можливих механізмів 38 нагрівання можуть включати, без обмеження ними, вогневі нагрівачі для нагрівання полум'ям; індукційні нагрівачі для індукційного нагрівання; і/або радіаційні нагрівачі для радіаційного нагрівання заготовки 24. Інші механізми і способи нагрівання зовнішньої поверхні заготовки будуть очевидними для фахівців у цій галузі техніки після розгляду цього винаходу, і такі механізми і способи знаходяться в межах обсягу цього винаходу. Необмежувачий варіант реалізації механізму 38 нагрівання поверхні може включати камерну піч (не проілюстрована). Камерна піч може бути виконана з можливістю використання різних механізмів нагрівання для нагрівання зовнішньої поверхні заготовки з використанням одного або більше вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, індукційних механізмів нагрівання і/або будь-яких інших прийнятних механізмів нагрівання, які відомі фахівцям у цій галузі техніки нині або які будуть відомі згодом.

45 [0088] В іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу температура зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 може бути нагріта (62) і підтримуватися при температурі кування заготовки або близькій до неї і в межах діапазону температур кування заготовки з використанням одного або більше підігрівачів 40 прес-форми системи 33 управління тепловим режимом. Підігрівачі 40 прес-форм можуть бути використані для підтримки прес-форм 42 або поверхонь 44 прес-форм для кування на пресі при температурі кування заготовки або близькій до неї або температурах у межах діапазону температур кування. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу прес-форми 42 системи управління тепловим режимом нагрівають до температури в межах діапазону від температури кування заготовки до температури, яка на 100 °F (55,6 °C) є нижчою за температуру кування заготовки. Підігрівачі 40 прес-форм можуть нагрівати прес-форми 42 або поверхні 44 пресформ для кування на пресі з використанням будь-якого прийнятного механізму нагрівання, який відомий фахівцям у цій галузі техніки нині або який буде відомий згодом, у том числі, без обмеження ними, вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, контактних механізмів нагрівання і/або індукційних механізмів нагрівання. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу підігрівач 40 прес-форми може являти собою компонент камерної печі (не проілюстрована). Хоча система 33

управління тепловим режимом показана на місці і використовується під час етапів (32), (52), (60) зрівноважування способу всебічного кування, проілюстрованих на ФІГ. 2(b), (d) і (f), слід розуміти, що система 33 управління тепловим режимом може бути або не бути присутньою на місці під час етапів кування на пресі 28, 46, 56, проілюстрованих на ФІГ. 2(a), (c) і (e).

[0089] Аспект цього винаходу включає необмежувачий варіант реалізації, згідно з яким повторюють один або більше етапів кування на пресі уздовж трьох ортогональних осей заготовки, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0. Повна деформація являє собою повну істинну деформацію. Термін "істинна деформація" також відомий фахівцям у цій галузі техніки як "логарифмічна деформація" або "ефективна деформація". Як проілюстровано на ФІГ. 2, це ілюструється етапом (g), тобто повторенням (етап 64) одного або більше етапів (28), (46), (56) кування на пресі, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0 або в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. Також вважають, що після досягнення необхідної деформації на будь-якому з етапів кування на пресі (28) або (46), або (56) додаткове кування на пресі є непотрібним, і необов'язкові етапи зрівноважування (тобто забезпечення можливості охолодження внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї (32) або (52), або (60) і нагрівання зовнішньої поверхні заготовки (34) або (54), або (62) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї) не потрібні, заготовка може бути просто охолоджена до температури довкілля, в необмежувачому варіанті реалізації винаходу, шляхом гартування в рідині, або в іншому необмежувачому варіанті реалізації, шляхом охолодження повітрям або шляхом будь-якого швидшого способу охолодження.

[0090] Слід розуміти, що в необмежувачому варіанті реалізації винаходу повна деформація являє собою повну деформацію в усій заготовці після всебічного кування, як описано в цій заявці. В необмежувачих варіантах реалізації згідно з цим винаходом повна деформація може включати рівні деформації уздовж кожної ортогональної осі або повна деформація може включати різні деформації на одній або більше ортогональних осей.

[0091] Згідно з необмежувачим варіантом реалізації винаходу після бета-відпалу заготовка може бути піддана всебічному куванню при двох різних температурах в області альфа-бета-фази. Наприклад, як проілюстровано на ФІГ. 3, повторення етапу (64), проілюстрованого на ФІГ. 2, може включати повторення одного або більше етапів (a)-(необов'язковий b), (c)-(необов'язковий d) і (e)-(необов'язковий f) при першій температурі в області альфа-бета-фази, поки не буде досягнута конкретна деформація, з подальшим повторенням одного або більше етапів (a)-(необов'язковий b), (c)-(необов'язковий d) і (e)-(необов'язковий f) при другій температурі в області альфа-бета-фази, поки після кінцевого етапу кування на пресі (a), (b) або (c) (тобто (28), (46), (56)) у заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0 або в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу друга температура в області альфа-бета-фази є нижчою, ніж перша температура в області альфа-бета-фази. Вважають, що виконання способу із повторенням одного або більше етапів (a)-(необов'язковий b), (c)-(необов'язковий d) і (e)-(необов'язковий f) при більше ніж двох температурах MAF на пресі знаходиться в межах обсягу цього винаходу за умови, що температури знаходяться в межах діапазону температур кування. Також слід вважати, що в необмежувачому варіанті реалізації винаходу друга температура в області альфа-бета-фази є вищою, ніж перша температура в області альфа-бета-фази.

[0092] В іншому необмежувачому варіанті реалізації згідно з цим винаходом для забезпечення однорідної деформації в усіх напрямках використовують різні осадки при ударі уздовж осі А, ударі уздовж осі В і ударі уздовж осі С. Застосування MAF з високою швидкістю деформації для введення однорідної деформації в усіх напрямках призводить до зменшення розтріскування і більш рівноосної структури альфа-зерен у заготовці. Наприклад, неоднорідна деформація може бути введена в кубічну заготовку шляхом кування спочатку куба з ребром 4 дюйми з високою швидкістю деформації уздовж осі А до висоти 3,0 дюймів. Ця осадка уздовж осі А викликає випинання заготовки уздовж осі В і осі С. Якщо друга осадка у напрямку осі В зменшує розмір уздовж осі В до 3,0 дюймів, у заготовку вводять значнішу деформацію уздовж осі В, ніж уздовж осі А. Аналогічно, подальший удар у напрямку осі С для зменшення розміру заготовки уздовж осі С до 3,0 дюймів вводить в заготовку значнішу деформацію уздовж осі С, ніж уздовж осі А або осі В. Як інший приклад, для введення однорідної деформації в усіх ортогональних напрямках 4-дюймову кубічну заготовку кують ("ударяють") уздовж осі А до висоти 3,0 дюймів, обертають на 90 градусів і ударяють уздовж осі В до висоти 3,5 дюймів, і потім обертають на 90 градусів і ударяють уздовж осі С до висоти 4,0 дюймів. Ця остання послідовність призводить до отримання куба, що має близько 4-дюймові ребра і що містить

однорідну деформацію в кожному ортогональному напрямку. Загальне рівняння для обчислення осадки уздовж кожної ортогональної осі кубічної заготовки під час MAF з високою швидкістю деформації надано нижче в Рівнянні 1.

Рівняння 1: деформація = $-\ln(\text{висота осадки/початкова висота})$

5 Загальне рівняння для обчислення повної деформації надано нижче в Рівнянні 2:

Рівняння 2: повна деформація = $\sum_n^1 -\ln(\text{висота осадки/початкова висота})$

Різні осадки можуть бути досягнуті шляхом використання прокладок у приладі для кування, які забезпечують різні висоти осадки, або будь-яким іншим способом, відомим фахівцям у цій галузі техніки.

10 [0093] В необмежуючому варіанті реалізації згідно з цим винаходом, як проілюстровано на ФІГ. 5 і з урахуванням ФІГ. 3, спосіб (70) виготовлення титанового сплаву з наддрібними зернами включає: бета-відпал (71) заготовки із сплаву титану; охолодження (72) бета-відпаленої заготовки 24 до температури, яка є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану заготовки; нагрівання (73) заготовки 24 до температури кування заготовки в межах
15 діапазону температур кування заготовки, що знаходиться в межах температур області альфа+бета-фази сплаву титану заготовки; і MAF з високою швидкістю деформації (74) заготовки, причому вказане MAF з високою швидкістю деформації (74) включає пресову кувальну осадку уздовж ортогональних осей заготовки до різних висот осадки. У необмежуючому варіанті реалізації всебічного кування (74) згідно з цим винаходом заготовку 24
20 кують на пресі (75) уздовж першої ортогональної осі (вісь А) до основної висоти осадки. Фраза "кують на пресі ... до основної висоти осадки", як використовується в цій заявці, вказує на кування заготовки на пресі уздовж ортогональної осі до необхідного кінцевого розміру заготовки уздовж конкретної ортогональної осі. Таким чином, термін "основна висота осадки" означає висоту осадки, використовувану для досягнення кінцевого розміру заготовки уздовж кожної
25 ортогональної осі. Усі етапи кування на пресі до основних висот осадки мають бути виконані з використанням швидкості деформації, достатньої для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки.

[0094] Після кування на пресі (75) заготовки 24 у напрямку першої ортогональної осі А до основної висоти осадки, як проілюстровано на ФІГ. 3(а), спосіб (70) необов'язково включає
30 забезпечення можливості охолодження (етап 76, проілюстрований на ФІГ. 3(б)) адіабатично нагрітої внутрішньої області (не проілюстрована) заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї. Періоди часу охолодження внутрішньої області можуть знаходитися в діапазоні, наприклад, від 5 секунд до 120 секунд, від 10 секунд до 60 секунд або від 5 секунд до 5 хвилин, і фахівцям у цій галузі техніки зрозуміло, що необхідні періоди часу охолодження будуть залежати від розміру, форми і складу заготовки, а також від характеристик
35 середовища, що оточує заготовку.

[0095] Впродовж необов'язкового періоду часу охолодження внутрішньої області аспект системи 33 управління тепловим режимом згідно з необмежуючими варіантами реалізації винаходу, описаними в цій заявці, може включати нагрівання (етап 77) зовнішньої області
40 поверхні 36 заготовки 24 до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї. Таким чином, температуру заготовки 24 підтримують в однорідних або близьких до однорідних і, по суті, ізотермічних умовах при температурі кування заготовки або близькій до неї перед кожним ударом MAF з високою швидкістю деформації. В необмежуючих варіантах реалізації винаходу із використанням системи 33 управління тепловим режимом для нагрівання
45 зовнішньої області поверхні 36 разом із забезпеченням можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж конкретного часу, температура заготовки повертається, по суті, до однорідної температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, між кожними кувальними ударами А, В і С. В інших необмежуючих варіантах реалізації згідно з цим винаходом із використанням системи 33 управління тепловим режимом для нагрівання
50 зовнішньої області поверхні 36 разом із забезпеченням можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області впродовж конкретного часу, температура заготовки повертається по суті до однорідної температури в межах діапазону температури кування заготовки між кожними кувальними ударами А, В і С.

[0096] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу нагрівання (77) зовнішньої області
55 поверхні 36 заготовки 24 може бути здійснено з використанням одного або більше зовнішніх механізмів 38 нагрівання поверхні системи 33 управління тепловим режимом. Приклади можливих механізмів 38 нагрівання зовнішньої поверхні можуть включати, без обмеження ними, вогневі нагрівачі, виконані з можливістю нагрівання полум'ям; індукційні нагрівачі, виконані з можливістю індукційного нагрівання; і радіаційні нагрівачі, виконані з можливістю радіаційного

нагрівання заготовки 24. Інші механізми і способи нагрівання зовнішньої області поверхні заготовки будуть очевидними для фахівців у цій галузі техніки після розгляду цього винаходу, і такі механізми і способи знаходяться в межах обсягу цього винаходу. Необмежувачий варіант реалізації механізму 38 нагрівання зовнішньої області поверхні може включати камерну піч (не проілюстрована). Камерна піч може бути виконана з можливістю використання різних механізмів нагрівання для нагрівання зовнішньої області поверхні заготовки з використанням, наприклад, одного або більше вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, індукційних механізмів нагрівання і/або будь-яких інших прийнятних механізмів нагрівання, які відомі фахівцям у цій галузі техніки нині або які будуть відомі згодом.

[0097] В іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу температура зовнішньої області поверхні 36 заготовки 24 може бути нагріта (34) і підтримуватися при температурі кування заготовки або близькій до неї і в межах діапазону температур кування заготовки з використанням одного або більше підігрівачів 40 прес-форми системи 33 управління тепловим режимом. Підігрівачі 40 прес-форм можуть бути використані для підтримки прес-форм 42 або поверхонь 44 прес-форм для кування на пресі при температурі кування заготовки або близькій до неї або температурах у межах діапазону температур кування заготовки. У необмежувачому варіанті реалізації винаходу прес-форми 42 системи управління тепловим режимом нагрівають до температури в межах діапазону від температури кування заготовки до температури, яка на 100 °F (55,6 °C) є нижчою за температуру кування заготовки. Підігрівачі 40 прес-форм можуть нагрівати прес-форми 42 або поверхні 44 прес-форм для кування на пресі з використанням будь-якого прийнятного механізму нагрівання, який відомий фахівцям у цій галузі техніки нині або який буде відомий згодом, в том числі, без обмеження ними, вогневих механізмів нагрівання, радіаційних механізмів нагрівання, контактних механізмів нагрівання і/або індукційних механізмів нагрівання. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу підігрівач 40 пресформи може являти собою компонент камерної печі (не проілюстрована). Хоча система 33 управління тепловим режимом проілюстрована на місці і використовується під час етапів охолодження способу всебічного кування, слід розуміти, що система 33 управління тепловим режимом може бути або не бути присутньою на місці під час етапів кування на пресі.

[0098] В необмежувачому варіанті реалізації винаходу після кування на пресі до основної висоти осадки (75) уздовж осі А (дивись ФІГ. 3), яка також позначена в цій заявці як осадка "А", і після необов'язкових етапів забезпечення можливості охолодження (76) і нагрівання (77), у разі застосування, подальше кування на пресі до блокуючих висот осадки, яке може включати необов'язкові етапи нагрівання і охолодження, застосовують уздовж осей В і С для "надання квадратної форми" заготовці. Фраза "кування на пресі до ... блокуючої висоти осадки", яку інакше в цій заявці позначають як кування на пресі до першої блокуючої висоти осадки ((78), (87), (96)) і кування на пресі до другої блокуючої висоти осадки ((81), (90), (99)), визначена як етап кування на пресі, використовуваний для зменшення або "надання квадратної форми" випинання, яке відбувається в центрі будь-якої поверхні після кування на пресі до основної висоти осадки. Випинання в центрі або поблизу центру будь-якої поверхні призводить до об'ємного напруженого стану, створеного в поверхнях, що може призвести до розтріскування заготовки. Етапи кування на пресі до першої висоти осадки і кування на пресі до другої висоти осадки, також позначені в цій заявці як перша блокуюча осадка, друга блокуюча осадка, або просто блокуючі осадки використовують для деформації поверхонь, що випинають, таким чином, що поверхні заготовки стають плоскими або по суті плоскими перед наступним куванням на пресі до основної висоти осадки уздовж ортогональної осі. Блокуючі осадки включають кування на пресі до висоти осадки, яка є більшою, ніж висота осадки, використовувана на кожному етапі кування на пресі до основної висоти осадки. Хоча швидкість деформації усіх з першої і другої блокуючих осадок, описаних в цій заявці, може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежувачому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої і другої блокуючої осадок може не спостерігатися, оскільки повна деформація, одержана при першій і другій блокуючій осадках, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Оскільки блокуючі осадки виконують до висот осадки, які є більшими, ніж використовувані в куванні на пресі до основної висоти осадки, деформації, внесеної в заготовку при блокуючій осадці, може бути не достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки. Як буде видно, об'єднання першої і другої блокуючих осадок у процесі MAF з високою швидкістю деформації в необмежувачому варіанті реалізації винаходу призводить до послідовності кування щонайменше в одному циклі, що складається з: А-В-С-В-С-А-С, де А, В і С включають кування на пресі до основної висоти осадки і де В, С, С і А включають кування на пресі до першої або другої блокуючих висот осадки; або в іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу

щонайменше один цикл складається з: A-B-C-B-C-A-C-A-B, де A, B і C включають кування на пресі до основної висоти осадки і де B, C, C, A, A і B включають кування на пресі до першої або другої блокуючих висот осадки.

[0099] Як проілюстровано на ФІГ. 3 і 5, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу після етапу кування на пресі до основної висоти осадки (75) уздовж першої ортогональної осі (осадка A) і, у разі застосування, після необов'язкових етапів забезпечення можливості охолодження (76) і нагрівання (77), як описано вище, заготовку кують на пресі (78) уздовж осі B до першої блокуючої висоти осадки. Хоча швидкість деформації при першій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки деформація, одержана при першій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Необов'язково, забезпечують можливість охолодження (79) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (80) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї. Усі періоди часу охолодження і способи нагрівання для осадки A (75), описані вище і в інших варіантах реалізації цього винаходу, підходять для етапів (79) і (80) і до усіх необов'язкових подальших етапів, на яких забезпечують можливість охолодження внутрішньої області заготовки і нагрівання зовнішньої області поверхні заготовки.

[0100] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі (81) уздовж осі C до другої блокуючої висоти осадки, яка є більшою, ніж основна висота осадки. Першу і другу блокуючі осадки застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при другій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час другої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки деформація, одержана при другій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Необов'язково, забезпечують можливість охолодження (82) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (83) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0101] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі до основної висоти осадки (84) у напрямку другої ортогональної осі, або осі B. Кування на пресі до основної висоти осадки уздовж осі B (84) позначено в цій заявці як осадка B. Після осадки B (84), необов'язково, забезпечують можливість охолодження (85) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (86) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0102] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі (87) уздовж осі C до першої блокуючої висоти осадки, яка є більшою, ніж основна висота осадки. Хоча швидкість деформації при першій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки деформація, одержана при першій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Необов'язково, забезпечують можливість охолодження (88) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (89) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0103] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі (90) уздовж осі A до другої блокуючої висоти осадки, яка є більшою, ніж основна висота осадки. Першу і другу блокуючі осадки застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при другій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу, адіабатичне нагрівання під час другої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки деформація, одержана при другій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Необов'язково, забезпечують можливість охолодження (91) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (92) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0104] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі до основної висоти осадки (93) у напрямку третьої ортогональної осі, або осі С. Кування на пресі до основної висоти осадки уздовж осі С (93) позначено в цій заявці як осадка С. Після осадки С (93), необов'язково, забезпечують можливість охолодження (94) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (95) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0105] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі (96) уздовж осі А до першої блокуючої висоти осадки, яка є більшою, ніж основна висота осадки. Хоча швидкість деформації при першій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час першої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки деформація, одержана при першій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Необов'язково, забезпечують можливість охолодження (97) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (98) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0106] Потім заготовку піддають наступному куванню на пресі (99) уздовж осі В до другої блокуючої висоти осадки, яка є більшою, ніж основна висота осадки. Першу і другу блокуючі осадки застосовують для повернення заготовки, по суті, до форми заготовки перед куванням. Хоча швидкість деформації при другій блокуючій осадці може бути достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, в необмежуючому варіанті реалізації винаходу адіабатичне нагрівання під час другої блокуючої осадки може не спостерігатися, оскільки деформація, одержана при другій блокуючій осадці, може виявитися недостатньою для значного адіабатичного нагрівання заготовки. Необов'язково, забезпечують можливість охолодження (100) адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, тимчасом як зовнішню область поверхні заготовки нагрівають (101) до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї.

[0107] Як проілюстровано на ФІГ. 5, у необмежуючих варіантах реалізації винаходу один або більше етапів кування на пресі (75), (78), (81), (84), (87), (90), (93), (96) і (99) повторюють (102), поки в заготовці із сплаву титану не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу один або більше етапів кування на пресі (75), (78), (81), (84), (87), (90), (93), (96) і (99) повторюють (102), поки в заготовці із сплаву титану не буде досягнута повна деформація в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. Слід вважати, що після досягнення необхідної деформації, яка становить щонайменше 1,0, або в альтернативному варіанті необхідної деформації в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5, на будь-якому з етапів кування на пресі (75), (78), (81), (84), (87), (90), (93), (96) і (99) необов'язкові проміжні етапи зрівноважування (тобто забезпечення можливості охолодження (76), (79), (82), (85), (88), (91), (94), (97) або (100) внутрішньої області заготовки і нагрівання (77), (80), (83), (86), (89), (92), (95), (98) або (101) зовнішньої поверхні заготовки) не є необхідними, і заготовка може бути охолоджена до температури довкілля. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу охолодження включає гартування в рідині, таке як, наприклад, гартування у воді. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу охолодження включає охолодження із швидкістю охолодження повітрям або швидше.

[0108] Спосіб, описаний вище, включає повторну послідовність кування на пресі до основної висоти осадки з подальшим куванням на пресі до першої і другої блокуючих висот осадки. Послідовність кування, яка являє собою один повний цикл MAF, як описано вище в необмежуючому варіанті реалізації винаходу, може бути представлена як А-В-С-В-С-А-С-А-В, причому осадки (удари), які виділені жирним шрифтом і підкресленням, являють собою кування на пресі до основної висоти осадки, а осадки, які не виділені жирним шрифтом і підкресленням, являють собою першу або другу блокуючі осадки. Слід розуміти, що усі осадки кування на пресі, в тому числі кування на пресі до основних висот осадки, а також першої або другої блокуючих осадок способу MAF згідно з цим винаходом виконуються з високою швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, наприклад, і без обмеження ними, швидкість деформації знаходиться в діапазоні від 0,2 с⁻¹ до 0,8 с⁻¹ або в діапазоні від 0,2 с⁻¹ до 0,4 с⁻¹. Також слід розуміти, що адіабатичне нагрівання, по суті, може не відбуватися під час першої і другої блокуючих осадок внаслідок меншої міри деформації при цих осадках у порівнянні з основними осадками. Також слід розуміти, що як необов'язкові етапи між послідовними осадками кування на пресі забезпечують можливість охолодження

адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, і нагрівають зовнішню поверхню заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, з використанням системи управління тепловим режимом, описаної в цій заявці. Вважають, що ці необов'язкові етапи можуть бути

5 прийнятнішими при використанні способу згідно з цим винаходом для обробки заготовок, що мають більші розміри. Додатково мається на увазі, що варіант реалізації послідовності кування A-B-C-B-C-A-C-A-B, описаний у цій заявці, може бути повторений цілком або частково, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0 або в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5.

10 [0109] Випинання в заготовці є результатом комбінації блокування штампом поверхні і присутності гарячішого матеріалу в центрі заготовки. При збільшенні випинання центр кожної поверхні піддається впливу зростаючих об'ємних навантажень, які можуть викликати розтріскування. У послідовності A-B-C-B-C-A-C-A-B використання блокуючих осадок між кожним куванням на пресі до основної висоти осадки знижує тенденцію до утворення тріщин у заготовці. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, якщо заготовка має форму куба,

15 перша блокуюча висота осадки для першої блокуючої осадки може бути виконана до висоти осадки, яка є на 40-60 % більшою, ніж основна висота осадки. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, якщо заготовка має форму куба, друга блокуюча висота осадки для другої блокуючої осадки може бути виконана до висоти осадки, яка є на 15-30 % більшою, ніж основна висота осадки. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу перша блокуюча висота осадки може бути, по суті, еквівалентною другій блокуючій висоті осадки.

20 [0110] У необмежуючих варіантах реалізації термокерованого всебічного кування з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом після повної деформації, яка становить щонайменше 1,0 або в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5, заготовка містить середній розмір зерен альфа-часток, що становить 4 мкм або менше, який, як вважають, являє собою наддрібний розмір зерен (UFG). В необмежуючому варіанті реалізації згідно з цим винаходом застосування повної деформації, що становить щонайменше 1,0 або в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5, дозволяє сформувати зерна, які є рівноосними.

25 [0111] В необмежуючому варіанті реалізації способу згідно з цим винаходом, що включає всебічне кування і використання необов'язкової системи управління тепловим режимом, робочу поверхню пресу, що штампує заготовку, змащують мастилами, відомими фахівцям у цій галузі техніки, такими як, без обмеження ними, графіт, скломастила і/або інші відомі консистентні мастила.

30 [0112] В деяких необмежуючих варіантах реалізації способів згідно з цим винаходом заготовка містить сплав титану, вибраний з альфа+бета-сплаву титану і метастабільних бета-сплавів титану. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовка містить альфа+бета-сплав титану. У ще одному необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовка містить метастабільний бета-сплав титану. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу сплав титану, оброблений способом згідно з цим винаходом, має ефективне виділення альфа-

35 фази і кінетику зростання, які є повільнішими, ніж у сплав Ti-6-4 (UNS R56400), і така кінетика може бути позначена в цій заявці як "повільніша альфакінетика". В необмежуючому варіанті реалізації винаходу повільніша альфа-кінетика може бути досягнута, якщо дифузійна здатність найповільніших дифундуючих часток у сплаві титану є повільнішою, ніж дифузійна здатність алюмінію в сплаві Ti-6-4 при температурі (T_β) бета-переходу. Наприклад, сплав Ti-6-2-4-2 має повільнішу альфа-кінетику, ніж сплав Ti-6-4, в результаті присутності додаткових зерноутворюючих елементів, таких як кремній, у сплаві Ti-6-2-4-2. Крім того, сплав Ti-6-2-4-6 має повільнішу альфа-кінетику, ніж сплав Ti-6-4, в результаті присутності додаткових бета-

40 стабілізуючих сплавних добавок, таких як молібден, вміст якого в цьому сплаві є більш високим, ніж у сплаві Ti-6-4. Результат повільнішої альфа-кінетики в цих сплавах полягає в тому, що бета-відпал сплавів Ti-6-2-4-6 і Ti-6-2-4-2 перед MAF з високою швидкістю деформації дозволяє досягти відносно дрібного і стійкого розміру альфа-пакету і дрібної структури бета-фази в порівнянні із сплавом Ti-6-4 і деякими іншими сплавами титану, що мають швидше виділення альфафази і кінетику зростання, ніж у сплавів Ti-6-2-4-6 і Ti-6-2-4-2. Фраза "повільніша альфакінетика" детально описана вище в цій заявці. Приклади сплавів титану, які можуть бути

45 оброблені з використанням варіантів реалізації способів згідно з цим винаходом включають, без обмеження ними, сплав Ti-6-2-4-2, сплав Ti-6-2-4-6, сплав ATI 425® (сплав Ti-4Al-2,5V), сплав Ti-6-6-2 і сплав Ti-6Al-7Nb.

50 [0113] В необмежуючому варіанті реалізації способу згідно з цим винаходом бетавідпал включає: нагрівання заготовки до температури бета-відпалу; утримання заготовки при температурі бета-відпалу впродовж періоду часу, достатнього для формування 100 %

60

мікроструктури бета-фази титану в заготовці; і охолодження заготовки безпосередньо до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї. В деяких необмежуваних варіантах реалізації винаходу температура бета-відпалу знаходиться в діапазоні температур від температури бета-переходу сплаву титану до температури, яка на 300 °F (111 °C) є вищою за температуру бета-переходу сплаву титану. Необмежуючі варіанти реалізації винаходу включають час бета-відпалу, який становить від 5 хвилин до 24 годин. Фахівцям у цій галузі техніки після прочитання цього опису буде зрозуміло, що інші температури бета-відпалу і періоди часу бета-відпалу також знаходяться в межах обсягу варіантів реалізації цього винаходу, і що, наприклад, відносно великі заготовки можуть потребувати відносно вищих температур бета-відпалу і/або триваліших періодів часу бета-відпалу для формування 100 % мікроструктури бета-фази титану.

[0114] У деяких необмежуваних варіантах реалізації винаходу, в яких заготовку підтримують при температурі бета-відпалу для формування 100 % мікроструктури бетафази, заготовка також може бути пластично деформована при температурі пластичної деформації в області бета-фази сплаву титану перед охолодженням заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, або до температури доквілля. Пластична деформація заготовки може включати щонайменше щось одне з витягування, кування осадкою і всебічного кування заготовки з високою швидкістю деформації. В необмежуваних варіантах реалізації винаходу пластична деформація в області бета-фази включає кування осадкою заготовки до деформації осадкою в області бета-фази в діапазоні від 0,1 до 0,5. У деяких необмежуваних варіантах реалізації винаходу температура пластичної деформації знаходиться в діапазоні температур від температури бета-переходу сплаву титану до температури, яка на 300 °F (111 °C) є вищою за температуру бета-переходу сплаву титану.

[0115] ФІГ. 6 являє собою температурно-часовий графік термомеханічної обробки для необмежувачого способу пластичної деформації заготовки вище температури бетапереходу і безпосереднього охолодження до температури кування заготовки. Як проілюстровано на ФІГ. 6, необмежувачий спосіб 200 включає нагрівання 202 заготовки із сплаву титану, що має альфа-виділення і кінетику зростання, які є повільнішими, ніж у сплаву Ti-6-4, наприклад, до температури 204 бета-відпалу, яка вища за температуру 206 бета-переходу сплаву титану, і витримка або "томління" 208 заготовки при температурі 204 бета-відпалу для формування усієї мікроструктури бета-фази титану в заготовці. В необмежувачому варіанті реалізації згідно з цим винаходом після томління 208 заготовка може бути пластично деформована 210. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 210 включає кування осадкою. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 210 включає кування осадкою до істинної деформації, яка становить 0,3. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 210 включає термокероване всебічне кування з високою швидкістю деформації (не проілюстровано на ФІГ. 6) при температурі бета-відпалу.

[0116] Як проілюстровано на ФІГ. 6, після пластичної деформації 210 в області бетафази згідно з необмежувачим варіантом реалізації винаходу заготовку охолоджують 212 до температури 214 кування заготовки в області альфа+бета-фази сплаву титану. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу охолодження 212 включає охолодження повітрям або охолодження із швидкістю, яка є більшою за швидкість при охолодженні повітрям. В іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу охолодження включає гартування в рідині, таке як, без обмеження ним, гартування у воді. Після охолодження 212 заготовку піддають всебічному куванню 214 з високою швидкістю деформації згідно з деякими необмежувачими варіантами реалізації цього винаходу. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу, як проілюстровано на ФІГ. 6, заготовку ударяють або кують на пресі 12 разів, тобто уздовж трьох ортогональних осей заготовку непослідовно кують на пресі в цілому 4 рази уздовж кожної осі. Іншими словами, як проілюстровано на ФІГ. 2 і 6, цикл, що включає етапи (а)-(необов'язковий b), (с)-(необов'язковий d) і (е)-(необов'язковий f), виконують 4 рази. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу, як проілюстровано на ФІГ. 6, після послідовності всебічного кування, що складається з 12 ударів, повна деформація може бути рівною, наприклад, щонайменше 1,0 або може знаходитися в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. Після всебічного кування 214 заготовку охолоджують 216 до температури доквілля. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу охолодження 216 включає охолодження повітрям або охолодження із швидкістю, яка є більшою за швидкість при охолодженні повітрям, але інші форми охолодження, такі як, без обмеження ними, гартування в текучому середовищі або рідині, також знаходяться в межах обсягу варіантів реалізації цього винаходу, описаних у цій заявці.

[0117] Необмежувачий аспект цього винаходу включає всебічне кування з високою швидкістю деформації при двох температурах в області альфа+бета-фази. ФІГ. 7 являє собою

температурно-часовий графік термомеханічної обробки для необмежуючого способу згідно з цим винаходом, що включає всебічне кування заготовки із сплаву титану при першій температурі кування заготовки; необов'язкове використання необмежуючого варіанту реалізації засобу управління тепловим режимом, описаного вище; охолодження до другої температури кування заготовки в області альфа+бета-фази; всебічне кування заготовки із сплаву титану при другій температурі кування заготовки; і необов'язкове використання необмежуючого варіанту реалізації засобу управління тепловим режимом, описаного в цій заявці.

[0118] Як проілюстровано на ФІГ. 7, необмежуючий спосіб 230 згідно з цим винаходом включає нагрівання 232 заготовки до температури 234 бета-відпалу, яка є вищою за температуру 236 бета-переходу сплаву, і витримку або томління 238 заготовки при температурі 234 бета-відпалу для формування в заготовці із сплаву титану усієї мікроструктури бета-фази. Після томління 238 заготовка може бути пластично деформована 240. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 240 включає кування осадкою. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 240 включає кування осадкою до деформації, яка становить 0,3. В ще одному необмежуючому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 240 заготовки включає всебічне кування з високою швидкістю деформації (не проілюстровано на ФІГ. 7) при температурі бета-відпалу.

[0119] Як проілюстровано на ФІГ. 7, після пластичної деформації 240 в області бетафази заготовку охолоджують 242 до першої температури 244 кування заготовки в області альфа+бета-фази сплаву титану. В необмежуючих варіантах реалізації винаходу охолодження 242 включає щось одне з охолодження повітрям і гартування в рідині. Після охолодження 242 заготовку піддають всебічному куванню 246 з високою швидкістю деформації при першій температурі кування заготовки, і необов'язково використовують систему управління тепловим режимом згідно з необмежуючими варіантами реалізації цього винаходу. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, як проілюстровано на ФІГ. 7, заготовку ударяють або кують на пресі при першій температурі кування заготовки 12 разів з обертанням на 90° між кожним ударом, тобто уздовж трьох ортогональних осей заготовку кують на пресі 4 рази уздовж кожної осі. Іншими словами, як проілюстровано на ФІГ. 2, цикл, що включає етапи (а)-(необов'язковий b), (с)-(необов'язковий d) і (е)(необов'язковий f), виконують 4 рази. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, як проілюстровано на ФІГ. 7, після всебічного кування 246 заготовки з високою швидкістю деформації при першій температурі кування заготовки заготовку із сплаву титану охолоджують 248 до другої температури 250 кування заготовки в області альфа+бета-фази. Після охолодження 248 заготовку піддають всебічному куванню 250 з високою швидкістю деформації при другій температурі кування заготовки, і необов'язково використовують систему управління тепловим режимом згідно з необмежуючими варіантами реалізації цього винаходу. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, як проілюстровано на ФІГ. 7, заготовку ударяють або кують на пресі при другій температурі кування заготовки в цілому 12 разів. Вважають, що кількість ударів по заготовці із сплаву титану при першій і другій температурах кування заготовки може варіюватися залежно від необхідної істинної деформації і необхідного кінцевого розміру зерен, і ця кількість ударів, яка є прийнятною, може бути визначена без зайвого експериментування після розгляду цього винаходу. Після всебічного кування 250 при другій температурі кування заготовки заготовку охолоджують 252 до температури доквілля. В необмежуючих варіантах реалізації винаходу охолодження 252 включає щось одне з охолодження повітрям і гартування в рідині до температури доквілля.

[0120] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу перша температура кування заготовки знаходиться в першому діапазоні температур кування заготовки від температури, яка більше ніж на 100 °F (55,6 °C) є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану, до температури, яка на 500 °F (277,8 °C) є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану, тобто перша температура T1 кування заготовки знаходиться в діапазоні $T\beta - 100\text{ }^{\circ}\text{F} > T1 \geq T\beta - 500\text{ }^{\circ}\text{F}$. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу друга температура кування заготовки знаходиться в другому діапазоні температур кування заготовки від температури, яка більше ніж на 200 °F (277,8 °C) є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану, до температури, яка на 700 °F (388,9 °C) є нижчою за температуру бета-переходу, тобто друга температура T2 кування заготовки знаходиться в діапазоні $T\beta - 200\text{ }^{\circ}\text{F} > T2 \geq T\beta - 700\text{ }^{\circ}\text{F}$. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовка зі сплаву титану містить сплав Ti-6-2-4-2; перша температура заготовки становить 1650 °F (898,9 °C); і друга температура кування заготовки становить 1500 °F (815,6 °C).

[0121] ФІГ. 8 являє собою температурно-часовий графік термомеханічної обробки необмежуючого способу згідно з цим винаходом для пластичної деформації заготовки, яка містить сплав титану, вище за температуру бета-переходу, і охолодження заготовки до

температури кування заготовки з одночасним використанням термокерованого всебічного кування заготовки з високою швидкістю деформації згідно з необмежуваними варіантами реалізації, описаними в цій заявці. Як проілюстровано на ФІГ. 8, необмежувачий спосіб 260 використання термокерованого всебічного кування з високою швидкістю деформації для модифікування зерен сплаву титану включає нагрівання 262 заготовки до температури 264 бета-відпалу, яка вища за температуру 266 бета-переходу сплаву титану, і витримку або томління 268 заготовки при температурі 264 бета-відпалу для формування в заготовці усієї мікроструктури бета-фази. Після томління 268 заготовки при температурі бета-відпалу заготовку пластично деформують 270. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу пластична деформація 270 може включати термокероване всебічне кування з високою швидкістю деформації. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу заготовку піддають повторному всебічному куванню 272 з високою швидкістю деформації з використанням необов'язкової системи управління тепловим режимом, описаної вище в цій заявці, по мірі охолодження заготовки нижче температури бета-переходу. ФІГ. 8 ілюструє три проміжні етапи всебічного кування 272 з високою швидкістю деформації, але слід розуміти, що у разі потреби може бути використано більше або менше проміжних етапів всебічного кування 272 з високою швидкістю деформації. Проміжні етапи всебічного кування 272 з високою швидкістю деформації знаходяться між початковим етапом всебічного кування 270 з високою швидкістю деформації при температурі томління і кінцевим етапом всебічного кування 274 з високою швидкістю деформації в області альфа+бета-фази сплаву титану. Хоча ФІГ. 8 ілюструє один кінцевий етап всебічного кування з високою швидкістю деформації, на якому температура заготовки залишається цілком в області альфа+бетафази, після прочитання цього опису буде зрозуміло, що для додаткової обробки зерен в області альфа+бета-фази можуть бути виконані два і більше етапів всебічного кування. Згідно з необмежуваними варіантами реалізації цього винаходу щонайменше один кінцевий етап всебічного кування з високою швидкістю деформації виконують повністю при температурах в області альфа+бета-фази заготовки із сплаву титану.

[0122] Оскільки етапи всебічного кування 270, 272, 274 виконують по мірі охолодження заготовки до температури, що є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану, варіант реалізації способу, такий як проілюстрований на ФІГ. 8, у цій заявці позначають як "всебічне кування з високою швидкістю деформації з перетином бетапереходу". В необмежувачому варіанті реалізації винаходу систему (33 на ФІГ. 3) управління тепловим режимом використовують при всебічному куванні з перетином бетапереходу для підтримки заготовки при однорідній або по суті однорідній температурі перед кожним ударом при кожній температурі кування з перетином бета-переходу і, необов'язково, для уповільнення швидкості охолодження. Після кінцевого всебічного кування 274, яке виконують при температурі кування заготовки в області альфа+бета-фази, заготовку охолоджують 276 до температури доквілля. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу охолодження 276 включає охолодження повітрям.

[0123] Необмежувачі варіанти реалізації всебічного кування з використанням системи управління тепловим режимом, як описано вище в цій заявці, можуть бути використані для обробки заготовок із сплаву титану, що мають поперечні перерізи, які є більшими, ніж 4 квадратні дюйми, з використанням відомого ковальського-пресового обладнання, і розмір заготовок, що мають кубічну форму, може бути масштабований, щоб відповідати характеристикам конкретного пресу. Було визначено, що альфа-ламелі або пакети з β -відпаленої структури легко кришаться до дрібних однорідних альфа-зерен при температурах кування заготовки, описаних в необмежувачих варіантах реалізації в цій заявці. Також було визначено, що зниження температури кування заготовки призводить до зменшення розміру альфа-часток (розміру зерен).

[0124] Без поглиблення в конкретні теорії, вважають, що обробка зерен, яка має місце в необмежувачих варіантах реалізації термокерованого всебічного кування з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом, відбувається шляхом метадинамічної рекристалізації. У відомому способі всебічного кування з низькою швидкістю деформації динамічна рекристалізація відбувається миттєво під час деформації матеріалу. Вважають, що при всебічному куванні з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом метадинамічна рекристалізація відбувається наприкінці кожної деформації або кожного кувального удару, незважаючи на те, що щонайменше внутрішня область заготовки є гарячою в результаті адіабатичного нагрівання. Залишкове адіабатичне тепло, періоди часу охолодження внутрішньої області і нагрівання зовнішньої області поверхні впливають на міру обробки зерен у необмежувачих варіантах реалізації термокерованого всебічного кування з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом.

[0125] Автори цього винаходу додатково розробили альтернативні способи згідно з цим

винаходом, що забезпечують деякі переваги перед способом, описаним вище, який включає всебічне кування з використанням системи управління тепловим режимом і заготовки у формі куба, яка містить сплав титану. Вважають, що щось одне або більше з (1) кубічної геометрії заготовки, використовуваної в деяких варіантах реалізації термодерованого всебічного кування, описаного в цій заявці, (2) охолодження штампу (тобто забезпечення можливості зниження температури штампів значно нижче температури кування заготовки) і (3) використання високих швидкостей деформації може призвести до небажаної концентрації деформації в центральній області заготовки.

[0126] Альтернативні способи згідно з цим винаходом можуть сприяти досягненню, в цілому, однорідного дрібного, дуже дрібного або наддрібного розміру зерен по всій заготовці із сплаву титану сортового розміру. Іншими словами, заготовка, оброблена такими альтернативними способами, може мати необхідний розмір зерен, наприклад, наддрібну мікроструктуру зерен, по всій заготовці, а не лише в центральній області заготовки. Необмежуючі варіанти реалізації таких альтернативних способів включають етапи "багатократної осадки і витягування", застосовані до заготовок, що мають поперечні перерізи, які є більшими, ніж 4 квадратні дюйми. Етапи багатократної осадки і витягування призначені для створення мікроструктури з однорідним дрібним зерном, дуже дрібним зерном або наддрібним зерном по всій заготовці з одночасним збереженням, по суті, початкових розмірів заготовки. Оскільки такі альтернативні способи включають етапи багатократної осадки і витягування, вони позначені в цій заявці як варіанти реалізації способу "MUD". Спосіб MUD включає інтенсивну пластичну деформацію і дозволяє отримувати однорідні наддрібні зерна в заготовках сортового розміру (наприклад, 30 дюймів (76,2 см) завдовжки) зі сплаву титану. В необмежуваних варіантах реалізації способу MUD згідно з цим винаходом швидкості деформації, застосовувані на етапах кування осадкою і кування витягуванням, знаходяться в діапазоні від 0,001 с-1 до 0,02 с-1. Навпаки, швидкості деформації, як правило, застосовувані на етапах звичайного відкритого кування осадкою і витягуванням, знаходяться в діапазоні від 0,03 с-1 до 0,1 с-1. Швидкість деформації при MUD є досить повільною, щоб запобігти адіабатичному нагріванню заготовки для підтримання температури кування під контролем, але все ж таки вказана швидкість деформації є прийнятною для випадків промислового застосування.

[0127] Схематичне зображення необмежуваних варіантів реалізації способу MUD надано на ФІГ. 9, а блок-схема деяких варіантів реалізації способу MUD надана на ФІГ. 10. Як проілюстровано на ФІГ. 9 і 10, необмежувачий спосіб 300 модифікування зерен у заготовці, яка містить сплав титану, з використанням етапів багатократної осадки і витягування включає нагрівання подовженої заготовки 302 зі сплаву титану до температури кування заготовки в області альфа+бета-фази сплаву титану. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу подовжена заготовка має форму циліндра або циліндроподібну форму. В іншому необмежувачому варіанті реалізації винаходу заготовка має форму восьмигранного циліндра або правильного восьмикутника.

[0128] Подовжена заготовка має початковий розмір поперечного перерізу. Наприклад, у необмежувачому варіанті реалізації способу MUD згідно з цим винаходом, в якому початкова заготовка являє собою циліндр, початковий розмір поперечного перерізу являє собою діаметр циліндру. В необмежувачому варіанті реалізації способу MUD згідно з цим винаходом, в якому початкова заготовка являє собою восьмигранний циліндр, початковий розмір поперечного перерізу являє собою діаметр описаного кола восьмигранного поперечного перерізу, тобто діаметр кола, який проходить через усі вершини восьмигранного поперечного перерізу.

[0129] Коли подовжена заготовка знаходиться при температурі кування заготовки, заготовку піддають куванню осадкою 304. Після кування осадкою 304 в необмежувачому варіанті реалізації винаходу заготовку обертають на 90 градусів до досягнення орієнтації 306 і потім піддають багатопрхідному куванню витягуванням 312. Фактичне обертання заготовки є необов'язковим, і завдання цього етапу полягає в правильному розташуванні (як проілюстровано на ФІГ. 9) заготовки відносно пристрою для кування для подальших етапів багатопрхідного кування витягуванням 312.

[0130] Багатопрхідне кування витягуванням включає обертання (проілюстровано стрілкою 310) з приростом заготовки у напрямку обертання (вказано стрілкою напрямку 310) з подальшим куванням витягуванням 312 заготовки після кожного приросту обертання. В необмежуваних варіантах реалізації винаходу обертання 310 з приростом і кування витягуванням 312 повторюють, поки заготовка не повернеться до початкового розміру поперечного перерізу. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу етапи кування осадкою і багатопрхідного кування витягуванням повторюють, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0. Інший необмежувачий варіант реалізації винаходу

включає повторення нагрівання, кування осадкою і багатопрохідного кування витягуванням, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. У ще одному необмежуючому варіанті реалізації винаходу нагрівання, кування осадкою і багатопрохідне кування витягуванням повторюють, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 10. Передбачають, що, коли в результаті кування MUD досягають повної деформації, яка становить 10, отримують наддрібну альфа-мікроструктуру зерен, і що збільшення повної деформації, внесеної в заготовку, призводить до менших середніх розмірів зерен.

[0131] Аспект цього винаходу полягає в застосуванні під час етапів осадки і багатопрохідного витягування швидкості деформації, яка є достатньою для інтенсивної пластичної деформації заготовки із сплаву титану, що, в необмежуючих варіантах реалізації винаходу, додатково призводить до формування зерен наддрібного розміру. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу швидкість деформації, використовувана під час кування осадкою, знаходиться в діапазоні від 0,001 с-1 до 0,003 с-1. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу швидкість деформації, використовувана під час етапів багатопрохідного кування витягуванням, знаходиться в діапазоні від 0,01 с-1 до 0,02 с-1. В Заявці '538 описано, що швидкості деформації в цих діапазонах не призводять до адіабатичного нагрівання заготовки, що забезпечує можливість управління температурою заготовки, і виявилися ефективними для економічно прийнятної комерційної практики.

[0132] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу після завершення способу MUD заготовка має, по суті, початкові розміри початкового подовженого виробу, такого як, наприклад, циліндр 314 або восьмигранний циліндр 316. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу після завершення способу MUD заготовка має, по суті, той самий розмір поперечного перерізу, що і початкова заготовка. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу одиночна осадка вимагає численних ударів витягування і проміжних обертань для повернення заготовці форми, в тому числі початкового поперечного перерізу заготовки.

[0133] В необмежуючому варіанті реалізації способу MUD, в якому заготовка має форму циліндра, наприклад, обертання з приростом і кування витягуванням додатково включають багатократні етапи обертання циліндричної заготовки з приростами на 15° з подальшим куванням витягуванням, поки циліндрична заготовка не здійснить оберт у 360° з куванням витягуванням при кожному прирості. В необмежуючому варіанті реалізації способу MUD, в якому заготовка має форму циліндра, після кожного кування осадкою застосовують двадцять чотири етапи кування витягуванням з проміжним обертанням з приростом між послідовними етапами кування витягуванням для повернення заготовці, по суті, її початкового розміру поперечного перерізу. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу, в якому заготовка має форму восьмигранного циліндра, обертання з приростом і кування витягуванням додатково включають багатократні етапи обертання циліндричної заготовки з приростами на 45° з подальшим куванням витягуванням, поки циліндрична заготовка не здійснить оберт у 360° з куванням витягуванням при кожному прирості. В необмежуючому варіанті реалізації способу MUD, в якому заготовка має форму восьмигранного циліндра, після кожного кування осадкою застосовують вісім етапів кування, розділених обертанням заготовки з приростом, для повернення заготовки, по суті, до її початкового розміру поперечного перерізу. В необмежуючих варіантах реалізації способу MUD було помічено, що маніпуляція восьмигранного циліндра за допомогою маніпуляційного обладнання виявилася точнішою, ніж маніпуляція циліндра за допомогою маніпуляційного обладнання. Також було помічено, що маніпуляція восьмигранного циліндра за допомогою маніпуляційного обладнання в необмежуючому варіанті реалізації способу MUD виявилася точнішою, ніж маніпуляція заготовки кубічної форми з використанням ручних щипців у необмежуючих варіантах реалізації термokerованого способу MAF з високою швидкістю деформації, описаних у цій заявці. При розгляді цього опису слід вважати, що інші послідовності кування витягуванням, кожна з яких включає декілька етапів кування витягуванням і проміжних обертань з приростом на конкретну кількість градусів, можуть бути використані для заготовок, що мають інші форми поперечного перерізу, таким чином, що остаточна форма заготовки після кування витягуванням є, по суті, такою самою, як і початкова форма заготовки до кування осадкою. Такі інші можливі послідовності можуть бути визначені фахівцями в цій галузі техніки без зайвого експериментування і включені в обсяг цього винаходу.

[0134] У необмежуючому варіанті реалізації способу MUD згідно з цим винаходом температура кування заготовки включає температуру в межах діапазону температур кування заготовки. У необмежуючому варіанті реалізації винаходу діапазон температур кування заготовки знаходиться в діапазоні температур заготовки від температури, яка на 100 °F (55,6 °C)

є нижчою за температуру (Тβ) бета-переходу сплаву титану, до температури, яка на 700 °F (388,9 °C) є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану. В ще одному варіанті реалізації винаходу температура кування заготовки знаходиться в діапазоні температур від температури, яка на 300 °F (166,7 °C) є нижчою за температуру (Тβ) бетапереходу сплаву титану, до температури, яка на 625 °F (347 °C) є нижчою за температуру бета-переходу сплаву титану. У необмежуючому варіанті реалізації винаходу нижня межа діапазону температури кування заготовки являє собою температуру в області альфа+бетафази, при якій, по суті, не відбувається ушкодження поверхні заготовки під час кувального удару, як може бути визначено фахівцем у цій галузі техніки без зайвого експериментування.

[0135] В необмежуючому варіанті реалізації способу MUD згідно з цим винаходом діапазон температур кування заготовки для сплаву Ti-6-2-4-2, який має температуру (Тβ) бета-переходу близько 1820 °F (993,3 °C), може бути, наприклад, від 1120 °F (604,4 °C) до 1720 °F (937,8 °C) або в іншому варіанті реалізації може бути від 1195 °F (646,1 °C) до 1520 °F (826,7 °C).

[0136] Необмежуючі варіанти реалізації способу MUD включають багатократні етапи повторного нагрівання. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовку із сплаву титану нагрівають до температури кування заготовки після кування осадкою заготовки із сплаву титану. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовку із сплаву титану нагрівають до температури кування заготовки перед етапом кування витягуванням багатопрохідного кування витягуванням. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу заготовку нагрівають при необхідності повернення фактичної температури заготовки до температури кування заготовки або близької до неї після етапу кування осадкою або витягуванням.

[0137] Було визначено, що варіанти реалізації способу MUD призводять до виконання надмірної роботи або створення надмірної деформації, також позначеної як інтенсивна пластична деформація, яка націлена на створення наддрібних зерен у заготовці, яка містить сплав титану. Без наміру бути зв'язаним з якою-небудь конкретною теорією способу, вважають, що кругла або восьмикутна форма поперечного перерізу циліндричних і восьмигранних циліндричних заготовок, відповідно, сприяє більш рівномірному розподілу деформації, ніж розподіл деформації в заготовках, що мають квадратну або прямокутну форму поперечного перерізу, по всій площі поперечного перерізу заготовки під час способу MUD. Небажаний ефект тертя між заготовкою і кувальним штампом також зменшений шляхом зменшення контактної площі заготовки при взаємодії зі штампом.

[0138] Також додатково було визначено, що зменшення температури під час способу MUD зменшує кінцевий розмір зерен до розміру, який є характерним для конкретної використовуваної температури. Як проілюстровано на ФІГ. 10, в необмежуючому варіанті реалізації способу 400 для модифікування розміру зерен у заготовці після обробки заготовки способом MUD при температурі кування заготовки температура заготовки може бути охолоджена 416 до другої температури кування заготовки. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу після охолодження заготовки до другої температури кування заготовки заготовку кують осадкою при другій температурі 418 кування заготовки. Заготовку обертають 420 або іншим чином орієнтують відносно кувального пресу для виконання подальших етапів кування витягуванням. До заготовки застосовують багатократне кування витягуванням при другій температурі 422 кування заготовки. Багатократне кування витягуванням при другій температурі 422 кування заготовки включає обертання 424 заготовки з приростом у напрямку обертання (як проілюстровано на ФІГ. 9) і кування витягуванням при другій температурі 426 кування заготовки після кожного приросту обертання. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу етапи осадки, обертання 424 з приростом і кування витягуванням 426 повторюють, поки заготовка не повернеться до початкового розміру поперечного перерізу. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу етапи кування осадкою при другій температурі 418 заготовки, обертання 420 і багатократного кування витягуванням 422 повторюють, поки в заготовці не буде досягнута повна деформація, яка становить щонайменше 1,0 або в діапазоні від 1,0 до менше ніж 3,5, або до 10 чи більше. Вважається, що спосіб MUD може бути продовжений, поки заготовці із сплаву титану не буде надана будь-яка необхідна повна деформація.

[0139] В необмежуючому варіанті реалізації винаходу, що включає варіант реалізації багатотемпературного способу MUD, температура кування заготовки, або перша температура кування заготовки, становить близько 1600 °F (871,1 °C) і друга температура кування заготовки становить близько 1500 °F (815,6 °C). Подальші температури кування заготовки, які є нижчими, ніж перша і друга температури кування заготовок, такі як третя температура кування заготовки, четверта температура кування заготовки і тому подібні, знаходяться в межах обсягу необмежуючих варіантів реалізації цього винаходу.

[0140] По мірі кування модифікування зерен призводить до зменшення напруги пластичного плинину при фіксованій температурі. Було визначено, що зменшення температури кування для послідовних етапів осадки і витягування підтримує напругу пластичного плинину постійною і збільшує швидкість мікроструктурного модифікування. Очікують, що в необмежуваних варіантах реалізації MUD згідно з цим винаходом повна деформація, яка становить щонайменше 1,0 в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5, або до 10, призводить до однорідної рівноосної наддрібної альфа-мікроструктури зерен в заготовках із сплаву титану, і що нижня температура в двотемпературному (або багатотемпературному) способі MUD може бути визначена з кінцевого розміру зерен після надання заготовці повної деформації, що становить до 10, під час кування способом MUD.

[0141] Аспект цього винаходу включає можливість виконання після обробки заготовки способом MUD подальших етапів деформації без укрупнення розміру модифікованого зерна, поки температура заготовки після обробки не нагріта вище за температуру бета-переходу сплаву титану. Наприклад, у необмежуваних варіантах реалізації винаходу подальша практика деформації після способу MUD може включати кування витягуванням, багатократне кування витягуванням, кування осадкою або будь-яку комбінацію двох або більше з цих способів кування при температурах в області альфа+бетафази сплаву титану. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу подальша деформація або етапи кування включають комбінацію з багатопрохідного кування витягуванням, кування осадкою і кування витягуванням для зменшення початкового розміру поперечного перерізу циліндроподібної або подовженої заготовки іншої форми до долі розміру поперечного перерізу такої як, наприклад, без обмеження ними, половина розміру поперечного перерізу, чверть розміру поперечного перерізу і тому подібне, з одночасною підтримкою однорідної структури дрібного зерна, дуже дрібного зерна або наддрібного зерна в заготовці зі сплаву титану.

[0142] В необмежувачому варіанті реалізації способу MUD заготовка містить сплав титану, вибраний з групи, що складається з альфа+бета-сплаву титану і метастабільного бета-сплаву титану. В іншому необмежувачому варіанті реалізації способу MUD заготовка містить альфа+бета-сплав титану. В ще одному необмежувачому варіанті реалізації способу багатократної осадки і витягування, описаному в цій заявці, заготовка містить метастабільний бета-сплав титану. В необмежувачому варіанті реалізації способу MUD заготовка містить сплав титану, вибраний зі сплаву Ti-6-2-4-2, сплаву Ti-6-2-4-6, сплаву титану ATI 425® (Ti-4Al-2,5V) і сплаву Ti-6-6-2.

[0143] Перед нагріванням заготовки до температури кування заготовки в області альфа+бета-фази згідно з варіантами реалізації способу MUD за цим винаходом, у необмежувачому варіанті реалізації заготовка може бути нагріта до температури бета-відпалу, витримана при температурі бета-відпалу впродовж часу бета-відпалу, достатнього для формування в заготовці 100 % мікроструктури бета-фази титану, і охолоджена до температури доквілля. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу температура бета-відпалу знаходиться в діапазоні температур бета-відпалу, який включає температуру бетапереходу сплаву титану до температури, яка на 300 °F (111 °C) є вищою за температуру бета-переходу сплаву титану. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу час бетавідпалу становить від 5 хвилин до 24 годин.

[0144] В необмежувачому варіанті реалізації винаходу заготовка являє собою зливку, всі або деякі поверхні якого покриті мастильним покриттям, яке зменшує тертя між заготовкою і кувальними штампами. В необмежувачому варіанті реалізації винаходу мастильне покриття являє собою консистентне мастило, таке як, без обмеження ними, щось одне з графіту і скляного мастила. Інші мастильні покриття, відомі фахівцям у цій галузі техніки нині або які будуть відомі згодом, знаходяться в межах обсягу цього винаходу. Крім того, в необмежувачому варіанті реалізації способу MUD з використанням циліндроподібних або інших заготовок подовженої форми, площа контакту між заготовкою і кувальними штампами є невеликою в порівнянні з площею контакту при всебічному куванні заготовки кубічної форми. Наприклад, у разі куба з ребром 4 дюйми дві з усіх поверхонь куба розміром 4x4 дюйми знаходяться в контакті зі штампом. У разі зливка завдовжки 5 футів довжина зливка є більшою, ніж довжина типового штампу завдовжки 14 дюймів, і зменшення площі контакту призводить до зменшення тертя штампу і одноріднішої мікроструктури і макроструктури заготовки зі сплаву титану.

[0145] Перед нагріванням заготовки, яка містить сплав титану, до температури кування заготовки в області альфа+бета-фази згідно з варіантами реалізації способу MUD за цим винаходом, у необмежувачому варіанті реалізації заготовку пластично деформують при температурі пластичної деформації в області бета-фази сплаву титану після витримки впродовж часу бета-відпалу, достатнього для формування 100 % бета-фази в сплаві титану, і

перед охолодженням сплаву до температури довкілля. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу температура пластичної деформації дорівнює температурі бета-відпалу. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу температура пластичної деформації знаходиться в діапазоні температур пластичної деформації від температури бета-переходу сплаву титану до температури, яка на 300 °F (111 °C) є вищою за температуру бета-переходу сплаву титану.

[0146] В необмежуючому варіанті реалізації способу MUD пластична деформація заготовки в області бета-фази сплаву титану включає щонайменше щось одне з витягування, кування осадкою і всебічного кування заготовки із сплаву титану з високою швидкістю деформації. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу пластична деформація заготовки в області бета-фази сплаву титану включає багатократне кування осадкою і витягуванням згідно з необмежуваними варіантами реалізації цього винаходу, і причому охолодження заготовки до температури, рівної температурі кування заготовки або близької до неї, включає охолодження повітрям. У ще одному необмежуючому варіанті реалізації пластична деформація заготовки в області бета-фази сплаву титану включає кування заготовки осадкою до 30-35 % осадки по висоті або іншому розмірі, такому як довжина.

[0147] Інший аспект способу MUD згідно з цим винаходом може включати нагрівання кувальних штампів під час кування. Необмежуваний варіант реалізації винаходу включає нагрівання штампів кувальної машини, використовуваної для кування заготовки, до температури в діапазоні температур від температури кування заготовки до температури, яка на 100 °F (55,6 °C) є нижчою за температуру кування заготовки.

[0148] В необмежуваних варіантах реалізації способу MUD згідно з цим винаходом спосіб виготовлення сплавів титану з наддрібними зернами включає: вибір сплаву титану з повільнішим альфа-виділенням і кінетикою зростання, ніж у сплаву Ti-6-4; бета-відпал сплаву для забезпечення дрібнозернистої і стійкої структури альфа-пакету; і всебічне кування сплаву з високою швидкістю деформації згідно з цим винаходом до повної деформації, що становить щонайменше 1,0 або знаходиться в діапазоні від щонайменше 1,0 до менше ніж 3,5. Сплав титану може бути вибраний з альфа+бета-сплавів титану і метастабільних бета-сплавів титану, які забезпечують дрібнозернисту і стійку структуру альфа-пакету після бета-відпалу.

[0149] Вважають, що деякі способи, описані в цій заявці, також можуть бути застосовані до металів і сплавів металу, окрім сплавів титану для зменшення розміру зерен у заготовках із цих сплавів. Інший аспект цього винаходу включає необмежувачі варіанти реалізації способу багатоетапного кування з високою швидкістю деформації металів і сплавів металу. Необмежуваний варіант реалізації цього способу включає нагрівання заготовки, яка містить метал або сплав металу, до температури кування заготовки. Після нагрівання заготовку кують при температурі кування заготовки із швидкістю деформації, яка є достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки. Після кування застосовують період очікування перед наступним етапом кування. Впродовж вказаного періоду очікування забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки із сплаву металу до температури кування заготовки з одночасним нагріванням щонайменше однієї області поверхні заготовки до температури кування заготовки. Етапи кування заготовки і подальшого забезпечення можливості зрівноважування адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури кування заготовки з одночасним нагріванням щонайменше однієї області поверхні заготовки із сплаву металу до температури кування заготовки повторюють до отримання необхідних характеристик. В необмежуючому варіанті реалізації винаходу кування включає щось одне або більше з кування на пресі, кування осадкою, кування витягуванням і кування вальцюванням. В іншому необмежуючому варіанті реалізації винаходу сплав металу вибирають з групи, що складається із сплавів титану, цирконію і сплавів цирконію, сплавів алюмінію, сплавів заліза і суперсплавів. У ще одному необмежуючому варіанті реалізації винаходу необхідна характеристика являє собою щось одне або більше з наданої деформації, середнього розміру зерен, форми і механічних властивостей. Механічні властивості включають, без обмеження ними, міцність, податливість, в'язкість руйнування і твердість.

[0150] Приклади, надані нижче, призначені для додаткового опису деяких необмежуваних варіантів реалізації без обмеження обсягу цього винаходу. Фахівцям у цій галузі техніки буде зрозуміло, що можливі зміни наступних прикладів у межах обсягу цього винаходу, який визначений виключно формулою винаходу.

Приклад 1

[0151] Брусок зі сплаву Ti-6-2-4-2 обробляли згідно з промисловим способом кування, позначеним у промисловості по специфікації AMS 4976, яку зазвичай використовують для обробки сплаву Ti-6-2-4-2. Зі специфікації AMS 4976 фахівець у цій галузі техніки зрозуміє конкретні особливості способу для досягнення механічних властивостей і мікроструктури,

викладених у цій специфікації. Після обробки сплав був підготовлений металографічно, і його мікроструктура була ретельно оцінена. Як проілюстровано на мікрофотографії підготовленого сплаву, проілюстрованій на ФІГ. 11(а), мікроструктура містить альфа-зерна (світло забарвлені області на зображенні), які мають розмір близько 20 мкм або більше.

[0152] Згідно з необмежуючим варіантом реалізації цього винаходу, заготовку кубічної форми зі стороною 4,0 дюйми зі сплаву Ti-6-2-4-2 піддавали бета-відпалу при температурі 1950 °F (1066 °C) впродовж 1 години і потім охолоджували повітрям до температури довкілля. Після охолодження бета-відпалену заготовку кубічної форми нагрівали до температури кування заготовки, що становила 1600 °F (871,1 °C), і кували з використанням чотирьох ударів MAF з високою швидкістю деформації. Удари виконували у напрямку наступних ортогональних осей у наступній послідовності: А-В-С-А. Ударами досягали висоти осадки, що становила 3,25 дюйма, і швидкість плунжера становила 1 дюйм у секунду. Швидкість деформації на пресі не контролювали, але для кубів з ребром 4,0 дюйми така швидкість плунжера призводить до мінімальної швидкості деформації під час пресування, яка становить 0,25 с-1. Час між подальшими ортогональними ударами становив близько 15 секунд. Повна деформація, надана заготовці, становила 1,37. Мікроструктура сплаву Ti-6-2-4-2, обробленого таким чином, проілюстрована на мікрофотографії на ФІГ. 11(б). Більшість альфа-часток (світло забарвлені області) мають розмір близько 4 мкм або менше, що є, по суті, дрібнішим зерном, ніж альфа-зерно, одержане промисловим способом кування, описаним вище і проілюстрованим на мікрофотографії на ФІГ. 11(а).

Приклад 2

[0153] Брусок зі сплаву Ti-6-2-4-6 обробляли згідно з промисловим способом кування, як правило використовуваним для сплаву Ti-6-2-4-6, згідно зі специфікацією AMS 4981. Зі специфікації AMS 4981 фахівець у цій галузі техніки зрозуміє конкретні особливості способу для досягнення механічних властивостей і мікроструктури, викладених у цій специфікації. Після обробки сплав був підготовлений металографічно, і його мікроструктура була ретельно оцінена. Як проілюстровано на мікрофотографії підготовленого сплаву, проілюстрованій на ФІГ. 12(а), мікроструктура містить альфа-зерна (світло забарвлені області), які мають розмір близько 10 мкм або більше.

[0154] В необмежуючому варіанті реалізації цього винаходу заготовку кубічної форми із стороною 4,0 дюйми із сплаву Ti-6-2-4-6 піддавали бета-відпалу при температурі 1870 °F (1066 °C) впродовж 1 години і потім охолоджували повітрям. Після охолодження бета-відпалену заготовку кубічної форми нагрівали до температури кування заготовки, що становила 1500 °F (815,6 °C), і кували з використанням чотирьох ударів MAF з високою швидкістю деформації. Удари виконували у напрямку наступних ортогональних осей і в наступній послідовності: А-В-С-А. Ударами досягали висоти осадки, що становила 3,25 дюйма, і швидкість плунжера становила 1 дюйм у секунду. Швидкість деформації на пресі не контролювали, але для кубів з ребром 4,0 дюйми така швидкість плунжера призводить до мінімальної швидкості деформації під час пресування, яка становить 0,25 с-1. Час між подальшими ортогональними ударами становив близько 15 секунд. Повна деформація, надана заготовці, становила 1,37. Мікроструктура сплаву, обробленого таким чином, проілюстрована на мікрофотографії на ФІГ. 12(б). Видно, що більшість альфа-часток (світло забарвлені області) мають розмір близько 4 мкм або менше, і у будь-якому випадку являє собою дрібніше зерно, ніж альфа-зерно, одержане промисловим способом кування, описаним вище і проілюстрованим на мікрофотографії на ФІГ. 12(а).

Приклад 3

[0155] В необмежуючому варіанті реалізації цього винаходу заготовку кубічної форми зі стороною 4,0 дюйми зі сплаву Ti-6-2-4-6 піддавали бета-відпалу при температурі 1870 °F (1066 °C) впродовж 1 години і потім охолоджували повітрям. Після охолодження бета-відпалену заготовку кубічної форми нагрівали до температури кування заготовки, що становила 1500 °F (815,6 °C), і кували з використанням трьох ударів MAF з високою швидкістю деформації, по одному удару уздовж кожної з осей А, В і С (тобто удари виконували у напрямку наступних ортогональних осей і в наступній послідовності: А-В-С). Ударами досягали висоти осадки, що становила 3,25 дюйма, і швидкість плунжера становила 1 дюйм у секунду. Швидкість деформації на пресі не контролювали, але для кубів з ребром 4,0 дюйми така швидкість плунжера призводить до мінімальної швидкості деформації під час пресування, яка становить 0,25 с-1. Час між подальшими ударами становив близько 15 секунд. Після циклу ударів А-В-С заготовку повторно нагрівали до температури 1500 °F (815,6 °C) впродовж 30 хвилин. Потім куб піддавали MAF з високою швидкістю деформації з одним ударом уздовж кожної з осей А, В і С, тобто удари виконували уздовж наступних ортогональних осей і в наступній послідовності: А-В-С. В результаті ударів досягали тієї самої висоти осадки, і використовували ті самі швидкості

плунжера і час між ударами, які використовували в першій послідовності ударів А-В-С. Після другої послідовності ударів А-В-С заготовку повторно нагрівали до температури 1500 °F (815,6 °C) впродовж 30 хвилин. Потім куб піддавали МАФ з високою швидкістю деформації з одним ударом уздовж кожної з осей А, В і С, тобто в послідовності А-В-С. В результаті ударів досягали тих самих висот осадки, і використовували ті самі швидкість плунжера і час між ударами, як і в першій послідовності ударів А-В-С. Цей варіант реалізації способу всебічного кування з високою швидкістю деформації надав деформації, яка становила 3,46. Мікроструктура сплаву, обробленого таким чином, проілюстрована на мікрофотографії на ФІГ. 13. Видно, що більшість альфа-часток (світло забарвлені області) мають розмір близько 4 мкм або менше. Вважається, що ймовірно альфа-частки складаються з індивідуальних альфа-зерен, і що кожне з альфа-зерен має розмір близько 4 мкм або менше і по своїй формі є рівноосним.

Приклад 4

[0156] В необмежуючому варіанті реалізації цього винаходу заготовку кубічної форми зі стороною 4,0 дюйми зі сплаву Ti-6-2-4-6 піддавали бета-відпалу при температурі 1950 °F (1066 °C) впродовж 1 години і потім охолоджували повітрям. Після охолодження бета-відпалену заготовку кубічної форми нагрівали до температури кування заготовки, що становила 1700 °F (926,7 °C), і витримували впродовж 1 години. Використовували два цикли МАФ з високою швидкістю деформації (2 послідовності з трьох ударів А-В-С, в цілому, для 6 ударів) при температурі 1700 °F (926,7 °C). Час між подальшими ударами становив близько 15 секунд. Послідовність кування була такою: удар А з використанням 3-дюймового обмежувача; удар В з використанням 3,5-дюймового обмежувача; і удар С з використанням 4,0-дюймового обмежувача. Ця послідовність кування забезпечує рівну деформацію по усіх трьох ортогональних осях у кожній послідовності МАФ з трьох ударів. Швидкість плунжера становила 1 дюйм у секунду. Швидкість деформації на пресі не контролювали, але для кубів з ребром 4,0 дюйми така швидкість плунжера призводить до мінімальної швидкості деформації під час пресування, яка становить 0,25 с-1. Повна деформація за цикл є меншою, ніж кування до 3,25-дюймової осадки в кожному напрямку, як і в попередніх прикладах.

[0157] Заготовку нагрівали до температури 1650 °F (898,9 °C) і піддавали МАФ з високою швидкістю деформації для виконання трьох додаткових ударів (тобто один додатковий цикл МАФ з високою швидкістю деформації з А-В-С). Послідовність кування була такою: удар А з використанням 3-дюймового обмежувача; удар В з використанням 3,5-дюймового обмежувача; і удар С з використанням 4,0-дюймового обмежувача. Після кування повна деформація, надана заготовці, становила 2,59.

[0158] Мікроструктура кованої заготовки з Прикладу 4 проілюстрована на мікрофотографії на ФІГ. 14. Видно, що більшість альфа-часток (світло забарвлені області) утворюють мережеву структуру. Вважають, що, ймовірно, альфа-частки складаються з індивідуальних альфа-зерен і що кожне з альфа-зерен має розмір близько 4 мкм або менше і по своїй формі є рівноосним.

Приклад 5

[0159] В необмежуючому варіанті реалізації цього винаходу заготовку кубічної форми зі стороною 4,0 дюйми зі сплаву Ti-6-2-4-6 піддавали бета-відпалу при температурі 1950 °F (1066 °C) впродовж 1 години і потім охолоджували повітрям. Після охолодження бета-відпалену заготовку кубічної форми нагрівали до температури кування заготовки, що становила 1700 °F (926,7 °C), і витримували впродовж 1 години. Використовували МАФ згідно з цим винаходом для застосування до заготовки кубічної форми 6 кувань на пресі до основної висоти осадки (А, В, С, А, В, С). Крім того, для "надання квадратної форми" заготовці між кожним куванням на пресі до 3,25-дюймової основної висоти осадки виконували першу і другу блокуючі осадки уздовж інших осей. Використовували наступну загальну послідовність кування, причому позначені жирним шрифтом і підкресленням удари являють собою кування на пресі до основної висоти осадки: А-В-С-В-С-А-С-А-В-АВ-С-В-С-А-С.

[0160] Послідовність кування, в тому числі використовувані основна, перша блокуюча і друга блокуюча висоти осадки (у дюймах), надані в таблиці нижче. Швидкість плунжера становила 1 дюйм у секунду. Швидкість деформації на пресі не контролювали, але для кубів з ребром 4,0 дюйми така швидкість плунжера призводить до мінімальної швидкості деформації під час пресування, яка становить 0,25 с-1. Час, що пройшов між ударами, становив близько 15 секунд. Повна деформація після термокерування МАФ згідно з цим необмежуючим варіантом реалізації становила 2,37.

	Осі і висоти осадки (у дюймах)		
Удар	A	B	C
1	3,25		
2		4,25	
3			4,25
4		3,25	
5			4,75
6	4		
7			3,25
8	4,75		
9		4	
10	3,25		
11		4,75	
12			4
13		3,25	
14			4,75
15	4		
16			3,25
Повна деформація	2,37		

[0161] Мікроструктура заготовки, кованої за допомогою способу, описаного в Прикладі 5, проілюстрована на мікрофотографії на ФІГ. 15. Видно, що більшість альфа-часток (світло забарвлені області) є подовженими. Вважають, що, ймовірно, альфа-частки складаються з індивідуальних альфа-зерен і що кожне з альфа-зерен має розмір близько 4 мкм або менше і по своїй формі є рівноосним.

Приклад 6

[0162] В необмежуючому варіанті реалізації цього винаходу заготовку кубічної форми зі стороною 4,0 дюйми зі сплаву Ti-6-2-4-2 піддавали бета-відпалу при температурі 1950 °F (1066 °C) впродовж 1 години і потім охолоджували повітрям. Термокероване MAF з високою швидкістю деформації згідно з варіантами реалізації цього винаходу застосовували до заготовки, в тому числі 6 ударів (2 цикли A-B-C MAF) при температурі 1900 °C з 30-секундними паузами між кожним ударом. Швидкість плунжера становила 1 дюйм у секунду. Швидкість деформації на пресі не контролювали, але для кубів з ребром 4,0 дюйми така швидкість плунжера призводить до мінімальної швидкості деформації під час пресування, яка становить 0,25 с-1. Послідовність з 6 ударів з проміжними паузами була призначена для нагрівання поверхні заготовки з перетином температури бета-переходу під час MAF, що в цій заявці, таким чином, може бути позначено як "MAF з високою швидкістю деформації з перетином бета-переходу". Застосування цього способу призводить до модифікування поверхневих структур і мінімізації розтріскування під час подальшого кування. Потім заготовку нагрівали до температури 1650 °F (898,9 °C), тобто нижче від температури бета-переходу, і витримували впродовж 1 години. MAF згідно з варіантами реалізації цього винаходу застосовували до заготовки, в тому числі 6 ударів (два цикли AB-C MAF) близько з 15-секундними паузами між ударами. Перші три удари (удари в першому циклі A-B-C MAF) виконували з 3,5-дюймовою висотою осадки, а другі 3 удари (удари в другому циклі A-B-C MAF) виконували з 3,25-дюймовою висотою осадки. Заготовку нагрівали до температури 1650 °F і витримували впродовж 30 хвилин між ударами з 3,5-дюймовою прокладкою і ударами з 3,25-дюймовою

прокладкою. Зменшена осадка (тобто збільшена висота осадки), використовувана для перших 3 ударів, була призначена для блокування розтріскування, оскільки менша осадка руйнує граничні структури, які можуть призвести до розтріскування. Потім заготовку повторно нагрівали до температури 1500 °F (815,6 °C) і витримували впродовж 1 години. Потім MAF згідно з

5 варіантами реалізації цього винаходу застосовували з використанням 3 ударів А-В-С (один цикл MAF) до 3,25-дюймових осадок з 15-секундними паузами між кожним ударом. Така послідовність зі збільшеними осадками призначена для здійснення додаткової роботи в неграничних структурах. Швидкість плунжера для усіх ударів, описаних у Прикладі 6, становила 1 дюйм у секунду.

10 [0163] У Прикладі 6 заготовці була надана повна деформація, що становила 3,01.

Репрезентативна мікрофотографія центральної частини заготовки після термокерування MAF у Прикладі 6 проілюстрована на ФІГ. 16(a). Репрезентативна мікрофотографія поверхні заготовки після термокерування MAF у Прикладі 6 надана на ФІГ. 16(b). Поверхнева мікроструктура (ФІГ. 16(b)), по суті, модифікована, і більшість часток і/або зерен має розмір

15 близько 4 мкм або менше, що являє собою наддрібну мікроструктуру зерен. Мікроструктура центральної частини, проілюстрована на ФІГ. 16(a), ілюструє високу міру модифікування зерен, і вважається, що ймовірно альфа-частки складаються з індивідуальних альфа-зерен, і кожне з альфа-зерен має розмір близько 4 мкм або менше і по своїй формі є рівноосним.

[0164] Слід розуміти, що цей опис ілюструє аспекти винаходу, які відповідають ясному розумінню цього винаходу. Деякі аспекти, які були б очевидні фахівцям у цій галузі техніки і які, таким чином, не сприяли би кращому розумінню цього винаходу, не були надані для спрощення цього опису. Хоча лише обмежена кількість варіантів реалізації цього винаходу обов'язково описана у цій заявці, фахівці в цій галузі техніки після розгляду наданого вище опису погодяться, що можлива безліч модифікацій і варіацій цього винаходу. Усі такі варіації і

25 модифікації цього винаходу призначені для охоплення наданим вище описом і пунктами прикладеної формули винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

30 1. Спосіб модифікування розміру зерна заготовки, яка містить сплав титану, що включає: бета-відпал заготовки;

охладження бета-відпаленої заготовки до температури нижче температури бета-переходу сплаву титану; і

всебічне кування заготовки, яке включає:

35 кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки, що знаходиться в діапазоні температур кування заготовки, в напрямку першої ортогональної осі заготовки зі швидкістю деформації, достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки,

кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки, що знаходиться в діапазоні температур кування заготовки, в напрямку другої ортогональної осі заготовки зі швидкістю

40 деформації, достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки,

кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки, що знаходиться в діапазоні температур кування заготовки, в напрямку третьої ортогональної осі заготовки зі швидкістю деформації, достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки, і

повторення щонайменше одного з кування на пресі, поки в заготовці не буде досягнута повна істинна деформація від щонайменше 1,0 до менш ніж 3,5;

45 при цьому швидкість деформації, яка використовується під час кування на пресі, знаходиться в діапазоні від 0,2 с⁻¹ до 0,8 с⁻¹;

при цьому температура кування заготовки знаходиться в діапазоні від температури на 100 °F (55,6 °C) нижче температури бета-переходу сплаву титану до температури на 700 °F (388,9 °C)

50 нижче температури бета-переходу сплаву титану.

2. Спосіб за п. 1, в якому заготовка містить один з альфа+бета-сплаву титану і метастабільного бета-сплаву титану.

3. Спосіб за п. 1, в якому заготовка містить альфа+бета-сплав титану.

4. Спосіб за п. 2 або 3, в якому сплав титану містить щонайменше одну з легуючих добавок, які

55 стопорять зерна, і бета-стабілізуючого складу, ефективного для зменшення виділення альфа-фази і кінетики зростання.

5. Спосіб за п. 1, в якому заготовка містить сплав титану, вибраний зі сплаву Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (UNS R56260), сплаву Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,08Si (UNS R54620), сплаву Ti-4Al-2,5V (UNS R54250), сплаву Ti-6Al-7Nb (UNS R56700) і сплаву Ti-6Al-6V-2Sn (UNS R56620).

6. Спосіб за п. 1, в якому охолодження бета-відпаленої заготовки включає охолодження заготовки до навколишньої температури.
7. Спосіб за п. 1, в якому охолодження бета-відпаленої заготовки включає охолодження заготовки до температури, що дорівнює температурі кування заготовки або близька до неї.
- 5 8. Спосіб за п. 1, в якому бета-відпал заготовки включає нагрівання заготовки при температурі бета-відпалу в діапазоні від температури бета-переходу сплаву титану до температури на 300 °F (167 °C) вище температури бета-переходу сплаву титану.
9. Спосіб за п. 1, в якому бета-відпал заготовки включає нагрівання заготовки при температурі бета-відпалу протягом часу в діапазоні від 5 хвилин до 24 годин.
- 10 10. Спосіб за п. 1, що додатково включає пластичне деформування заготовки при температурі пластичного деформування в області бета-фази сплаву титану перед охолодженням бета-відпаленої заготовки.
11. Спосіб за п. 10, в якому пластичне деформування заготовки при температурі пластичного деформування в області бета-фази сплаву титану включає щонайменше одне з витягування, кування осадкою і всебічного кування заготовки з високою швидкістю деформації.
- 15 12. Спосіб за п. 10, в якому температура пластичного деформування знаходиться в діапазоні від температури бета-переходу сплаву титану до температури на 300 °F (167 °C) вище температури бета-переходу сплаву титану.
13. Спосіб за п. 10, в якому пластичне деформування заготовки включає всебічне кування з високою швидкістю деформації, і причому охолодження заготовки включає всебічне кування заготовки з високою швидкістю деформації в міру охолодження заготовки до температури кування заготовки в області альфа+бета-фаз сплаву титану.
- 20 14. Спосіб за п. 10, в якому пластичне деформування заготовки включає кування осадкою заготовки до деформації осадкою в області бета-фази в діапазоні від 0,1 до 0,5.
- 25 15. Спосіб за п. 1, який додатково включає в проміжках між послідовними куваннями на пресі забезпечення можливості охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури кування заготовки або близької до неї в діапазоні температур кування заготовки та нагрівання зовнішньої поверхні заготовки до температури кування заготовки або близької до неї в діапазоні температур кування заготовки.
- 30 16. Спосіб за п. 15, в якому забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки протягом часу охолодження внутрішньої області в діапазоні від 5 секунд до 120 секунд.
17. Спосіб за п. 15, в якому нагрівання зовнішньої поверхні заготовки включає нагрівання з використанням одного або більше з нагрівання полум'ям, нагрівання в камерній печі, індукційного нагрівання і нагрівання випромінюванням.
- 35 18. Спосіб за п. 15, в якому прес-форми кувальної машини, використовуваної для кування на пресі заготовки, нагрівають до температури в діапазоні від температури кування заготовки до температури на 100 °F (55,6 °C) нижче температури кування заготовки.
19. Спосіб за п. 1, в якому після досягнення повної істинної деформації щонайменше 1,0 заготовка має середній розмір зерен альфа-часток в діапазоні 4 мкм або менше.
- 40 20. Спосіб за п. 1, в якому повторення щонайменше одного з кування на пресі до досягнення в заготовці повної істинної деформації щонайменше 1,0 включає кування на пресі заготовки при другій температурі кування заготовки, причому друга температура кування заготовки знаходиться в межах області альфа+бета-фази сплаву титану заготовки, і при цьому друга температура кування заготовки нижче, ніж температура кування заготовки.
- 45 21. Спосіб модифікування розміру зерна заготовки, яка містить сплав титану, що включає:
бета-відпал заготовки;
охолодження бета-відпаленої заготовки до температури нижче температури бета-переходу сплаву титану; і
- 50 всебічне кування заготовки, яке включає:
кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки, що знаходиться в діапазоні температур кування заготовки, в напрямку першої ортогональної осі А заготовки для осадки до основної висоти осадки зі швидкістю деформації, достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки,
- 55 кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку другої ортогональної осі В заготовки для блокованої осадки до першої висоти осадки,
кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку третьої ортогональної осі С заготовки для блокування осадки до другої висоти осадки,

- кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку другої ортогональної осі В заготовки для осадки до основної висоти осадки зі швидкістю деформації, достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки,
- кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку третьої ортогональної осі С заготовки для блокованої осадки до першої висоти осадки,
- кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку першої ортогональної осі А заготовки для блокованої осадки до другої висоти осадки,
- кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку третьої ортогональної осі С заготовки для осадки до основної висоти осадки зі швидкістю деформації, достатньою для адіабатичного нагрівання внутрішньої області заготовки,
- кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку першої ортогональної осі А заготовки для блокування до першої висоти осадки,
- кування на пресі заготовки при температурі кування заготовки в напрямку другої ортогональної осі В заготовки для блокування осадки до другої висоти осадки і
- повторення щонайменше одного з попередніх етапів кування на пресі, поки в заготовці не буде досягнута повна істинна деформація від щонайменше 1,0 до менш ніж 3,5;
- при цьому швидкість деформації, яку використовують під час кування на пресі, знаходиться в діапазоні від $0,2 \text{ c}^{-1}$ до $0,8 \text{ c}^{-1}$; і
- при цьому температура кування заготовки знаходиться в діапазоні від температури на 100°F ($55,6^\circ\text{C}$) нижче температури бета-переходу сплаву титану до температури на 700°F ($388,9^\circ\text{C}$) нижче температури бета-переходу сплаву титану.
22. Спосіб за п. 21, в якому заготовка містить один з альфа+бета-сплаву титану і метастабільного бета-сплаву титану.
23. Спосіб за п. 21, в якому заготовка містить альфа+бета-сплав титану.
24. Спосіб за п. 22 або 23, в якому сплав титану містить щонайменше одну з легуючих добавок, які стопорять зерна, і бета-стабілізуючого складу, діючого для зменшення виділення альфа-фази і кінетики росту альфа-фази.
25. Спосіб за п. 21, в якому заготовка містить сплав титану, вибраний зі сплаву Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo (UNS R56260), сплаву Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo-0,08Si (UNS R54620), сплаву Ti-4Al-2,5V (UNS R54250), сплаву Ti-6Al-7Nb (UNS R56700) і сплаву Ti-6Al-6V-2Sn (UNS R56620).
26. Спосіб за п. 21, в якому охолодження бета-відпаленої заготовки включає охолодження заготовки до навколишньої температури.
27. Спосіб за п. 21, в якому охолодження бета-відпаленої заготовки включає охолодження заготовки до температури кування заготовки.
28. Спосіб за п. 21, в якому бета-відпал заготовки включає нагрівання заготовки при температурі бета-відпалу в діапазоні температур від температури бета-переходу сплаву титану до температури на 300°F (167°C) вище температури бета-переходу сплаву титану.
29. Спосіб за п. 21, в якому бета-відпал заготовки включає нагрівання заготовки при температурі бета-відпалу протягом часу в діапазоні від 5 хвилин до 24 годин.
30. Спосіб за п. 21, який додатково включає пластичне деформування заготовки при температурі пластичного деформування в області бета-фази сплаву титану перед охолодженням бета-відпаленої заготовки до температури нижче температури бета-переходу сплаву титану.
31. Спосіб за п. 30, в якому пластичне деформування заготовки при температурі пластичного деформування в області бета-фази сплаву титану включає щонайменше одне з витягування, кування осадкою і всебічного кування заготовки з високою швидкістю деформації.
32. Спосіб за п. 30, в якому температура пластичного деформування знаходиться в діапазоні від температури бета-переходу сплаву титану заготовки до температури на 300°F (167°C) вище температури бета-переходу сплаву титану заготовки.
33. Спосіб за п. 30, в якому пластичне деформування заготовки включає всебічне кування з високою швидкістю деформації, і причому охолодження бета-відпаленої заготовки включає всебічне кування заготовки з високою швидкістю деформації в міру охолодження заготовки до температури кування заготовки.
34. Спосіб за п. 30, в якому пластичне деформування заготовки включає кування осадкою заготовки до деформації осадкою в області бета-фази в діапазоні від 0,1 до 0,5.
35. Спосіб за п. 21, в якому в проміжках між послідовними куваннями на пресі забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки до температури кування заготовки або близької до неї в діапазоні температур кування заготовки і нагрівають зовнішню область поверхні заготовки до температури кування заготовки або близької до неї в діапазоні температур кування заготовки.

36. Спосіб за п. 35, в якому забезпечують можливість охолодження адіабатично нагрітої внутрішньої області заготовки протягом часу в діапазоні від 5 секунд до 120 секунд.

37. Спосіб за п. 35, в якому нагрівання зовнішньої поверхні заготовки включає нагрівання з використанням одного або більше з нагрівання полум'ям, нагрівання в камерній печі, індукційного нагрівання і нагрівання випромінюванням.

38. Спосіб за п. 35, в якому прес-форми кувалдної машини, використовуваної для кування на пресі заготовки, нагрівають до температури в діапазоні від температури кування заготовки до температури на 100 °F (55,6 °C) нижче температури кування заготовки.

39. Спосіб за п. 21, в якому після досягнення повної істинної деформації щонайменше 1,0 заготовка має середній розмір зерна альфа-часток 4 мкм або менше.

40. Спосіб за п. 21, в якому повторення щонайменше одного з кування на пресі до досягнення в заготовці повної істинної деформації щонайменше 1,0 включає кування на пресі заготовки при другій температурі кування заготовки, причому друга температура кування заготовки знаходиться в межах області альфа+бета-фаз сплаву титану заготовки, і при цьому друга температура кування заготовки нижче температури кування заготовки.

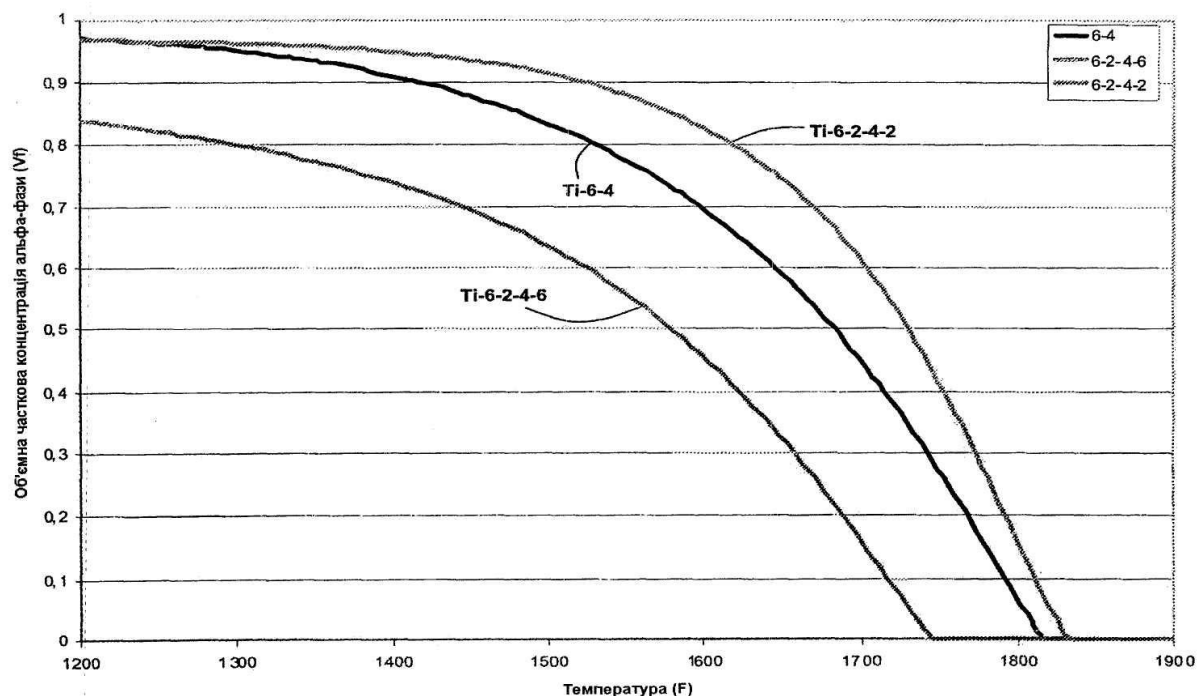
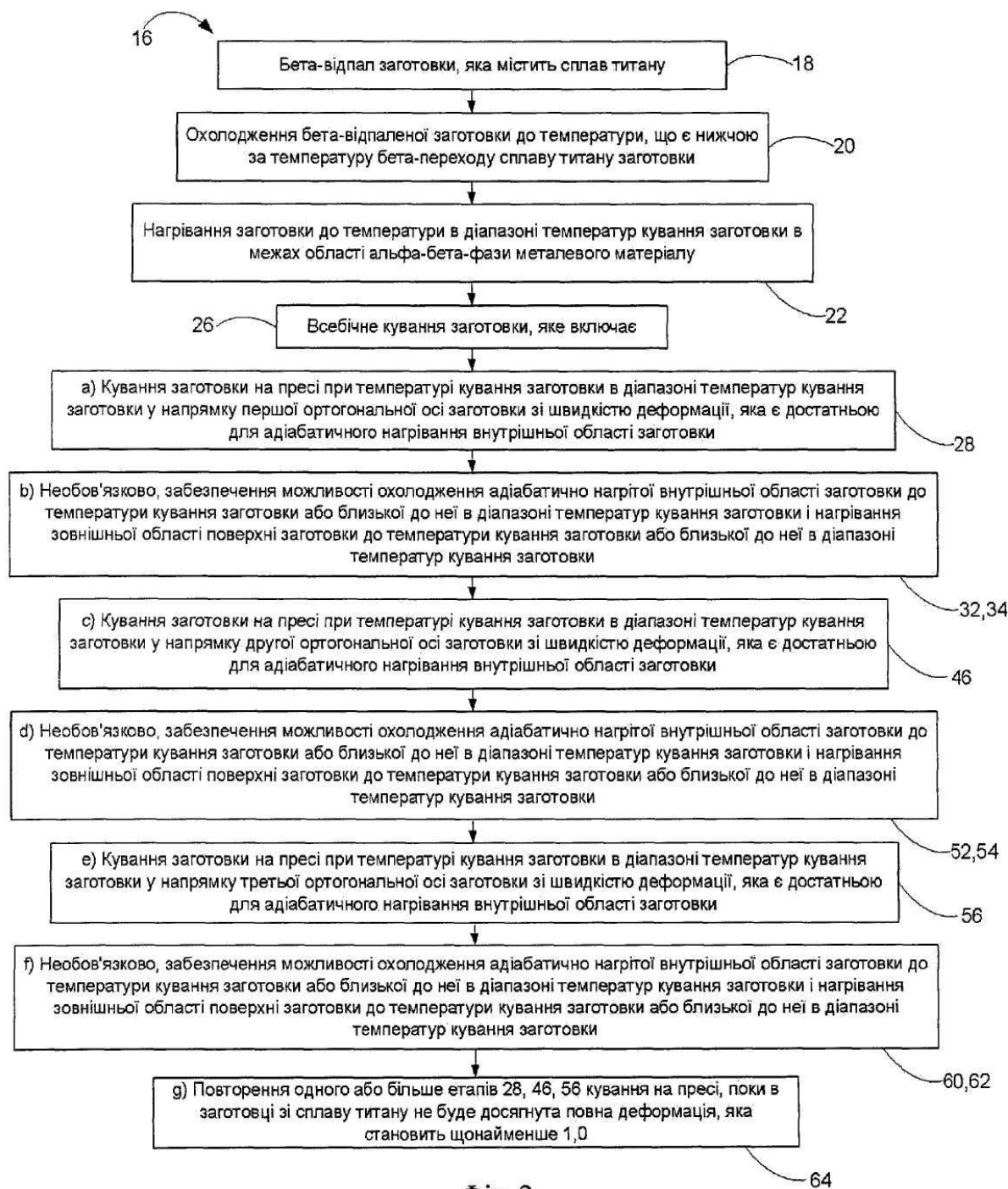


Fig. 1



Фіг. 2

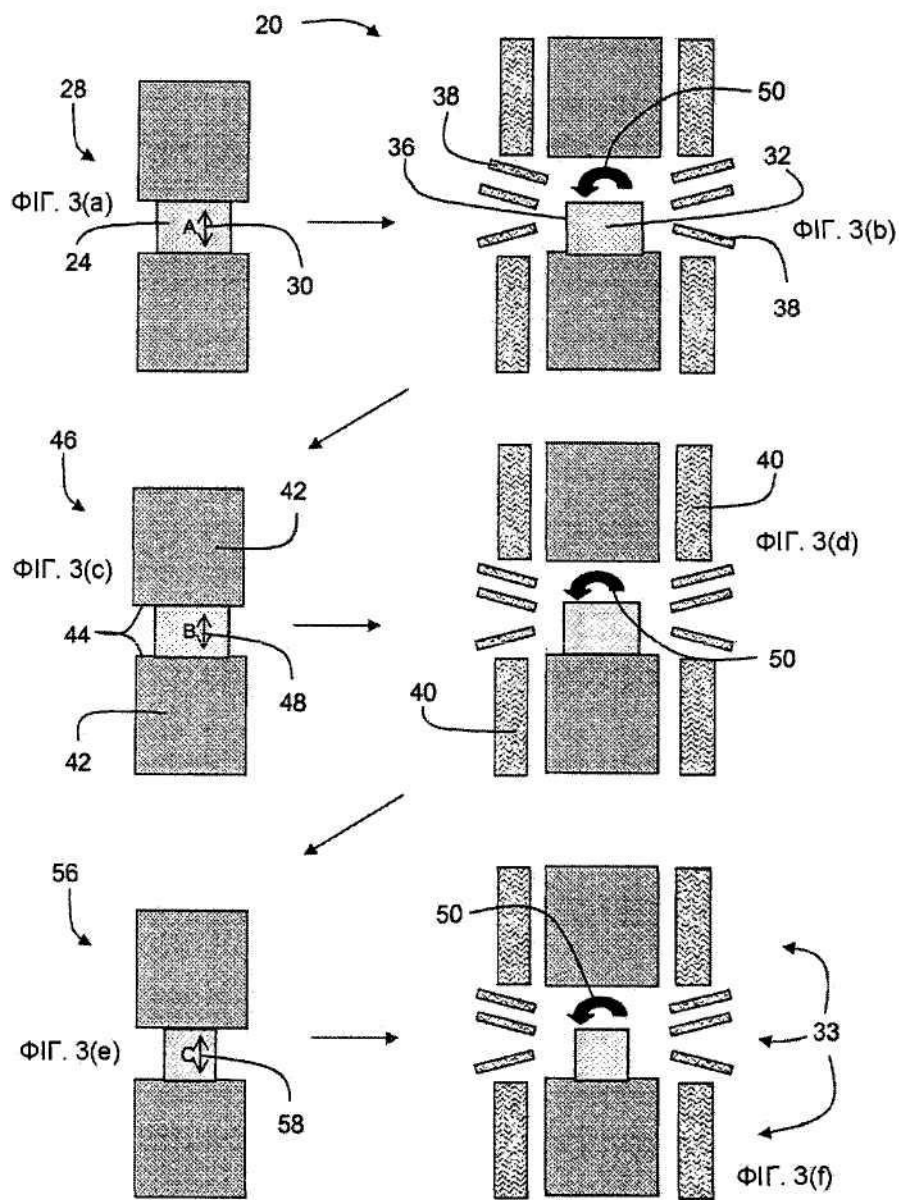
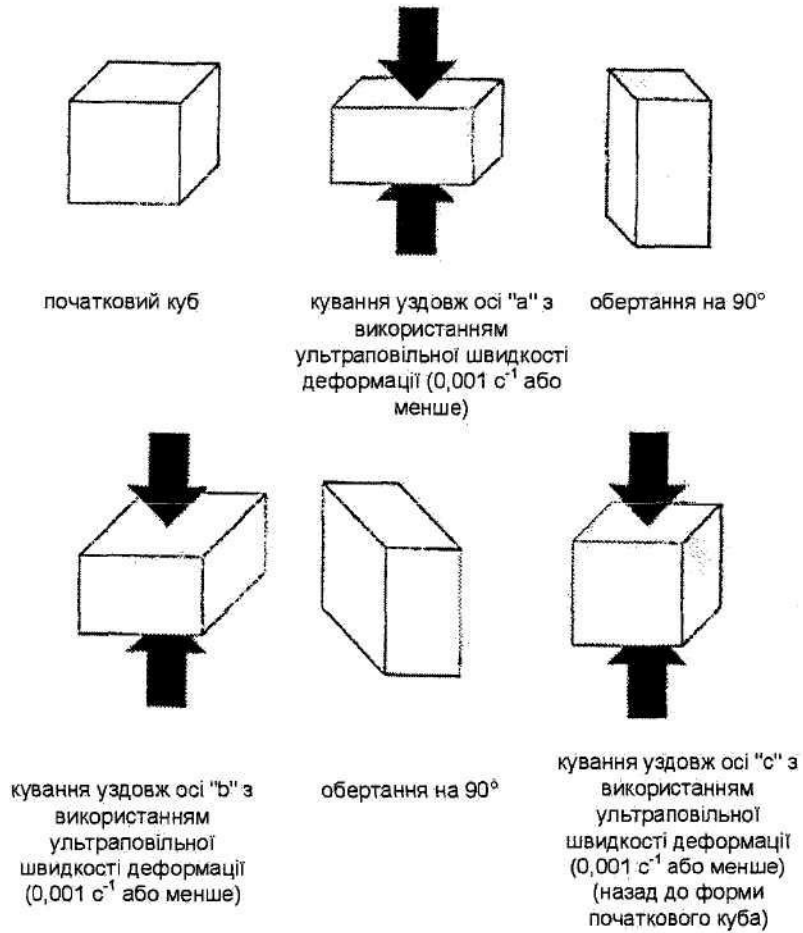
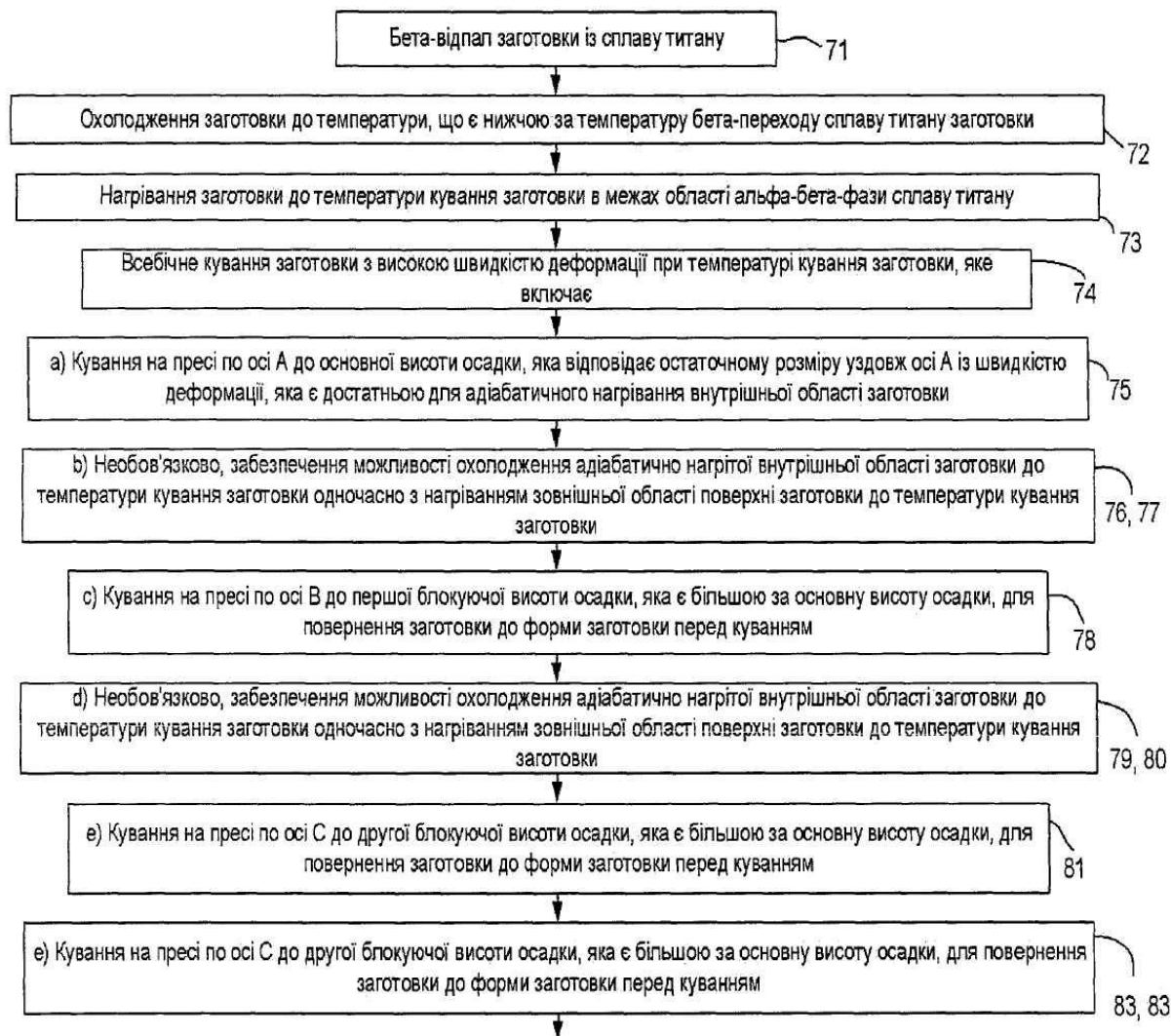


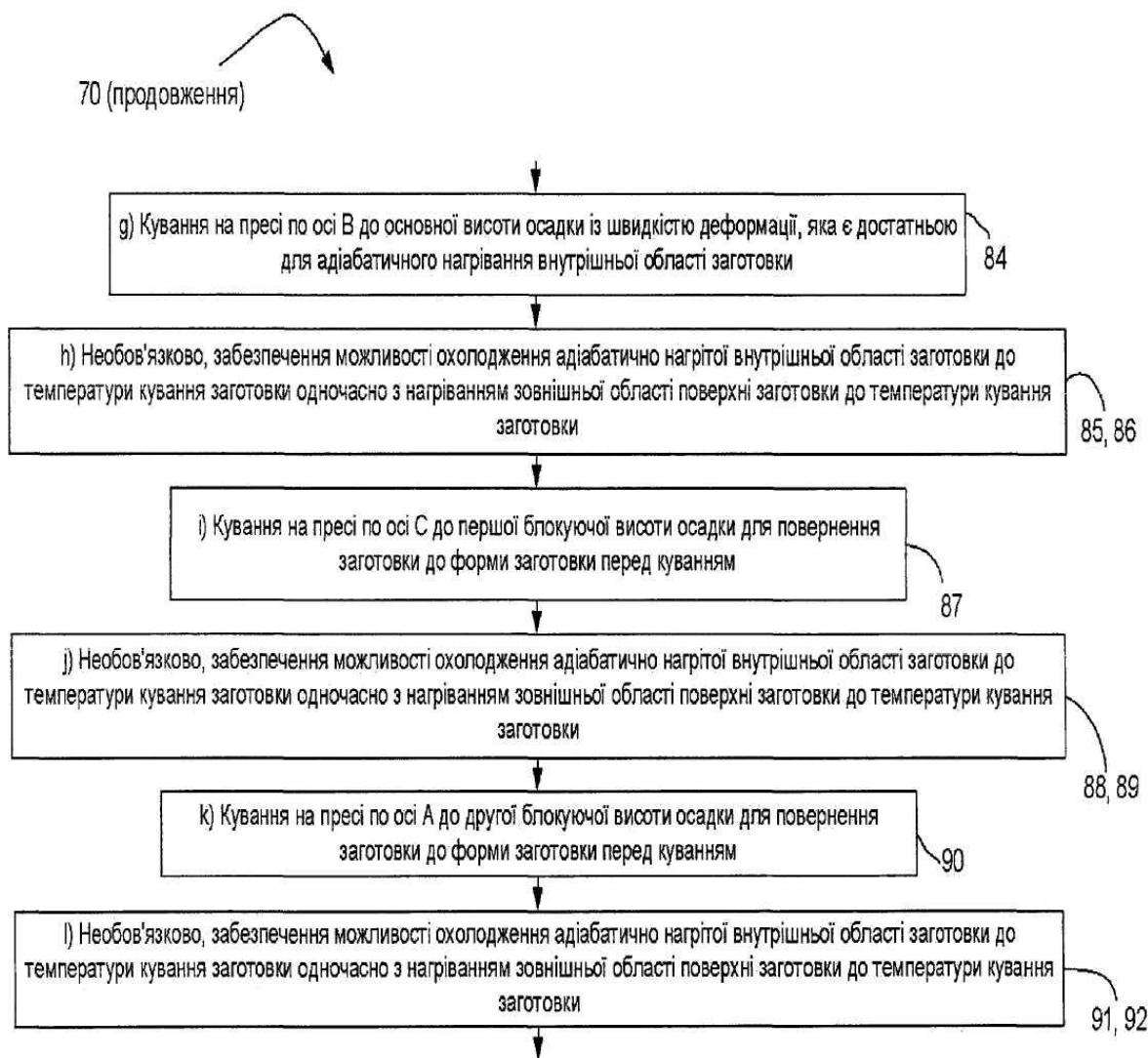
FIG. 3



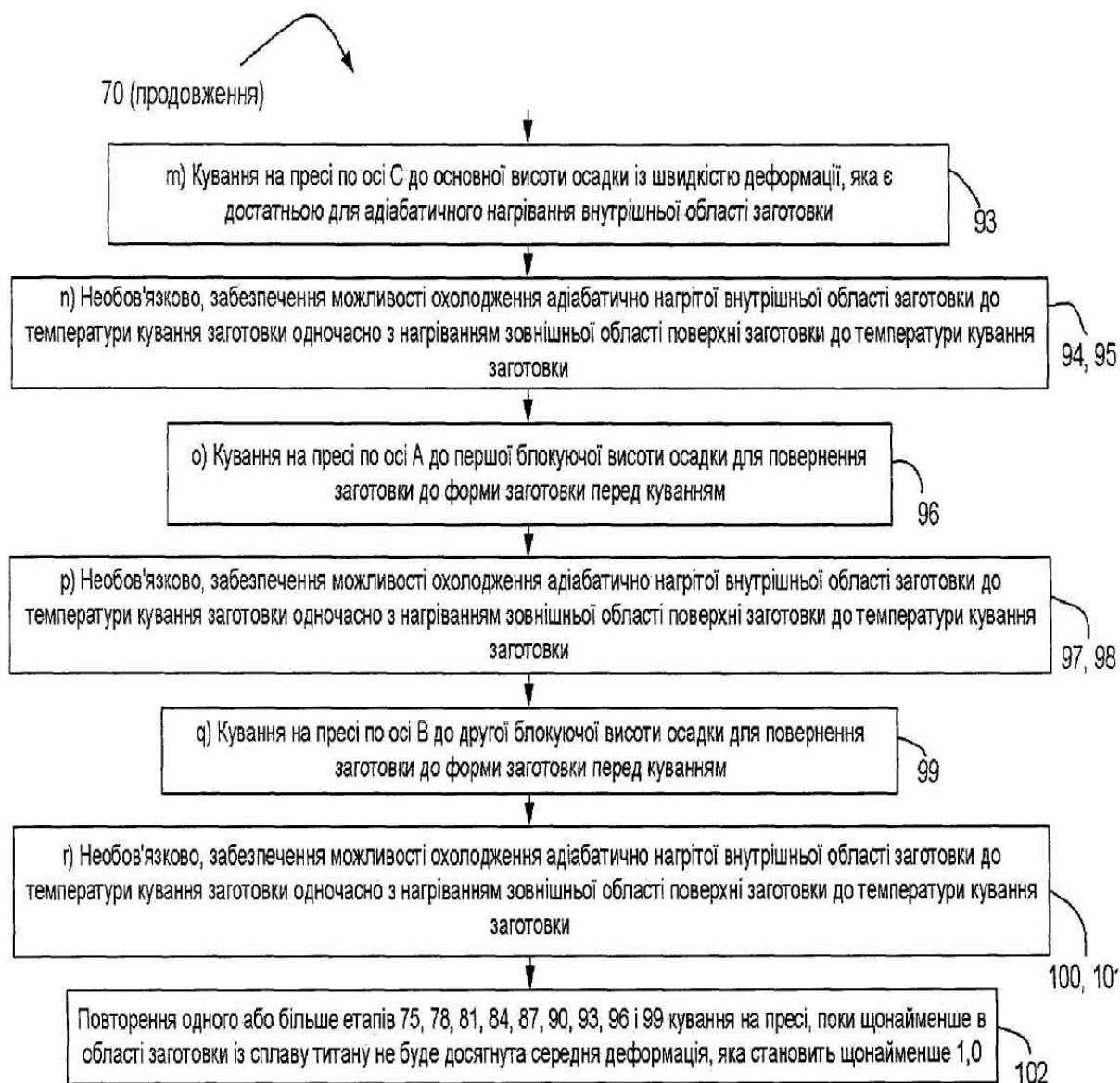
ФІГ. 4
ВІДОМИЙ РІВЕНЬ ТЕХНІКИ



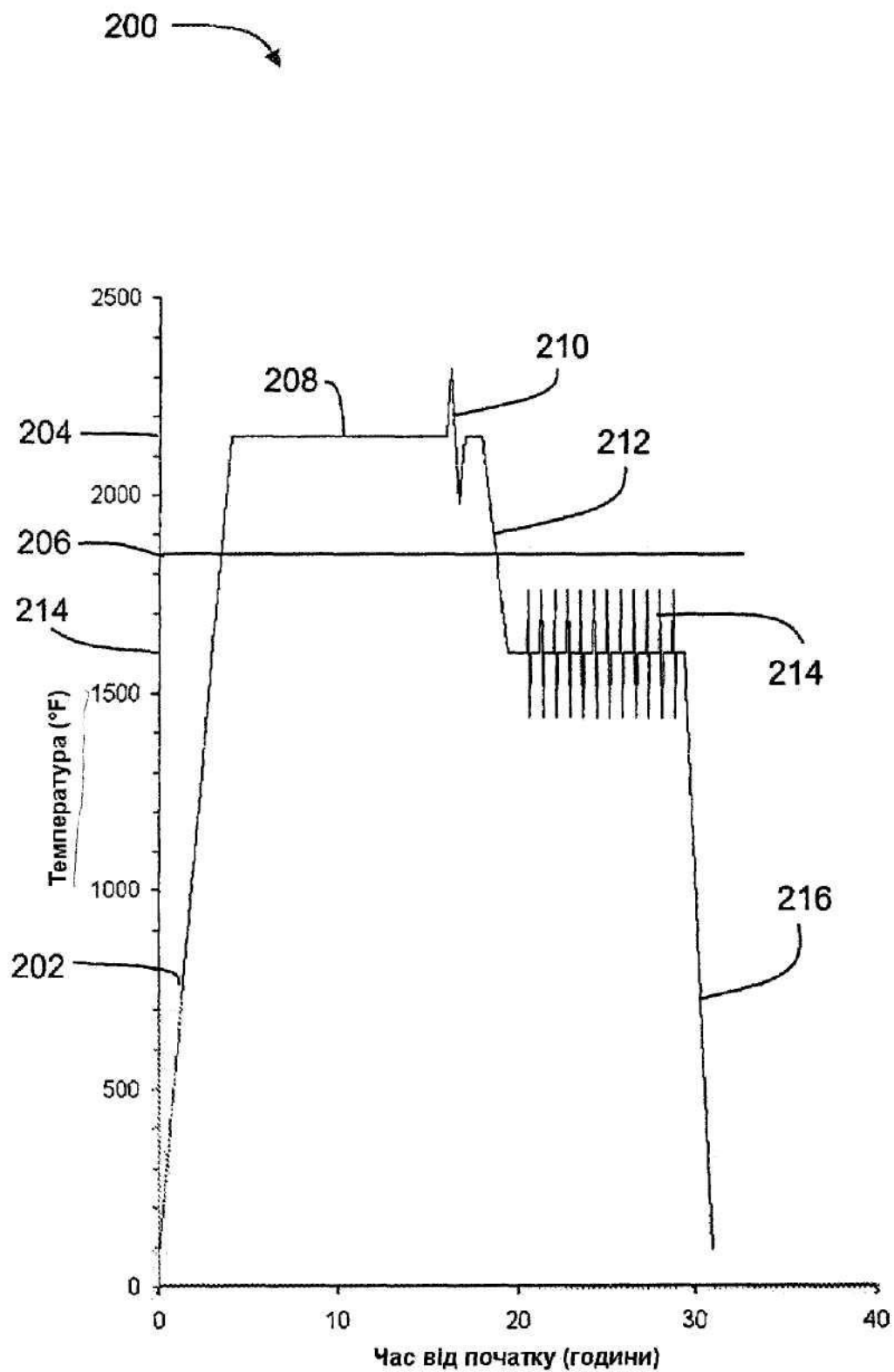
Фіг. 5



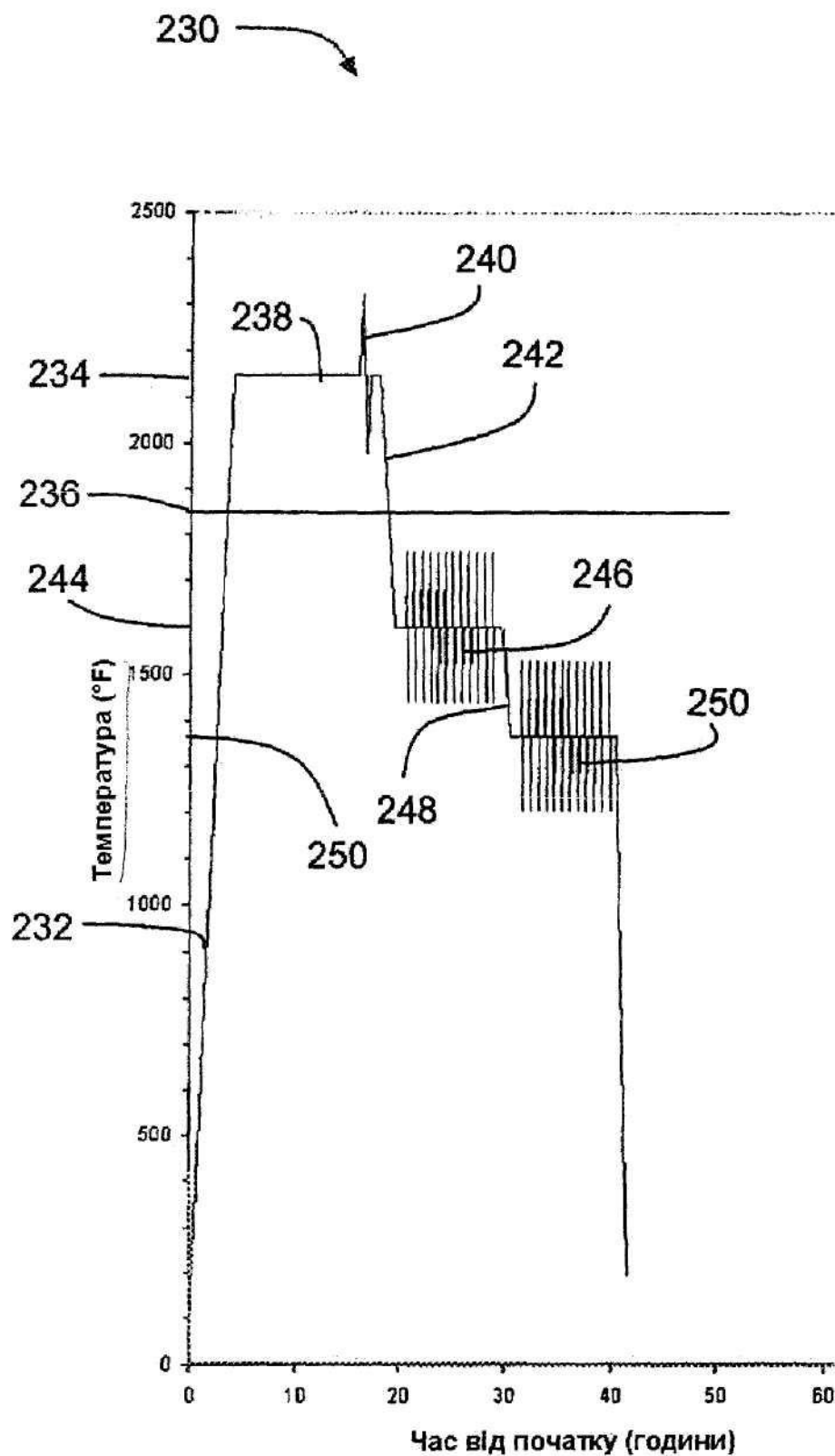
Фіг. 5 (продовження)



Фіг. 5 (продовження)



Фіг. 6



Фіг. 7

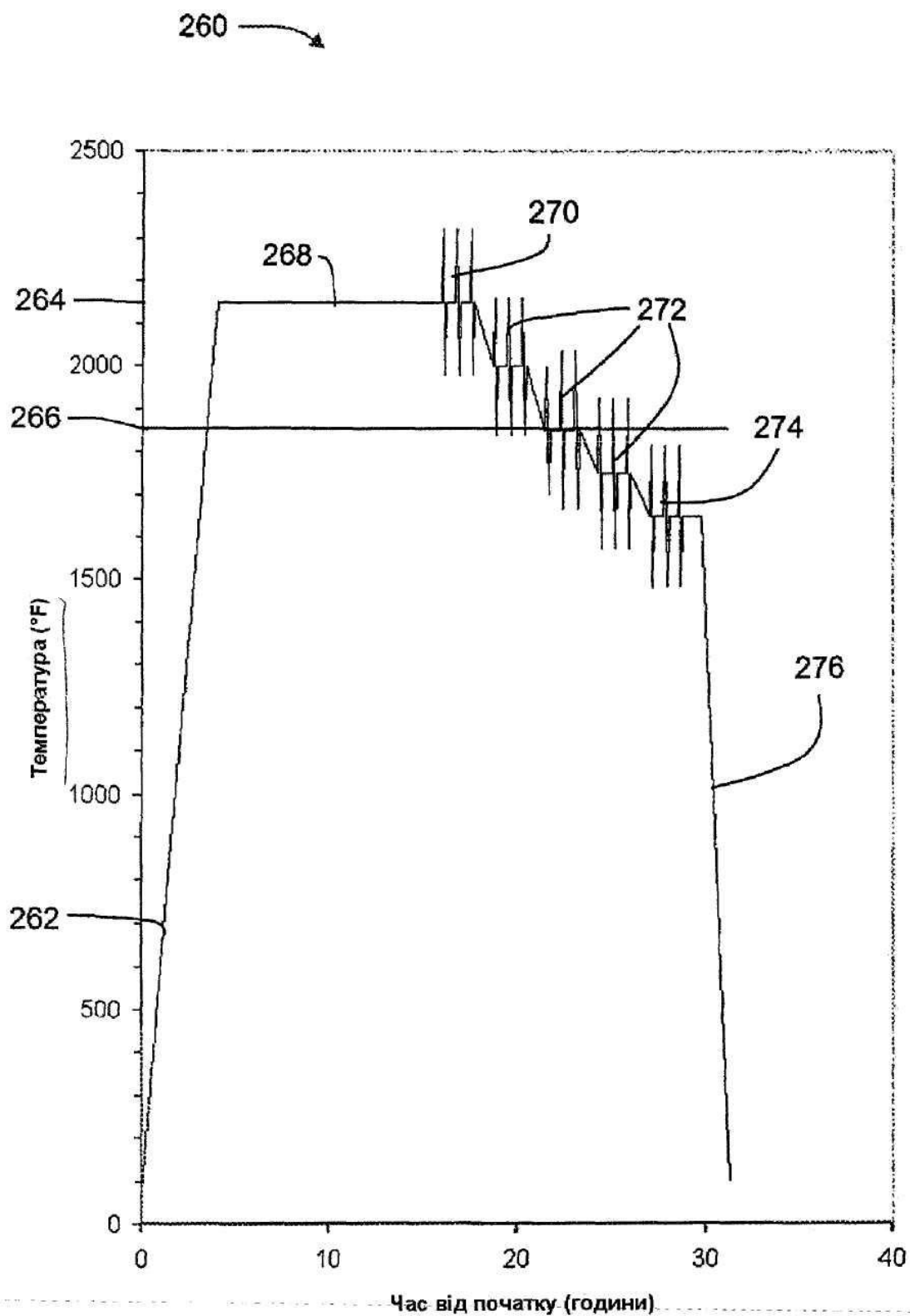
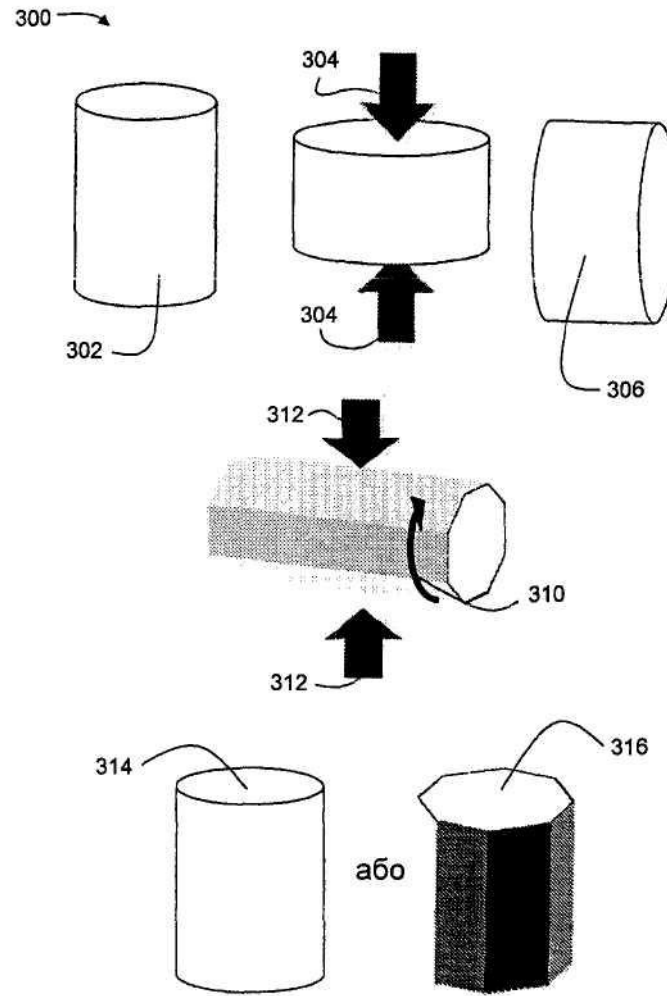
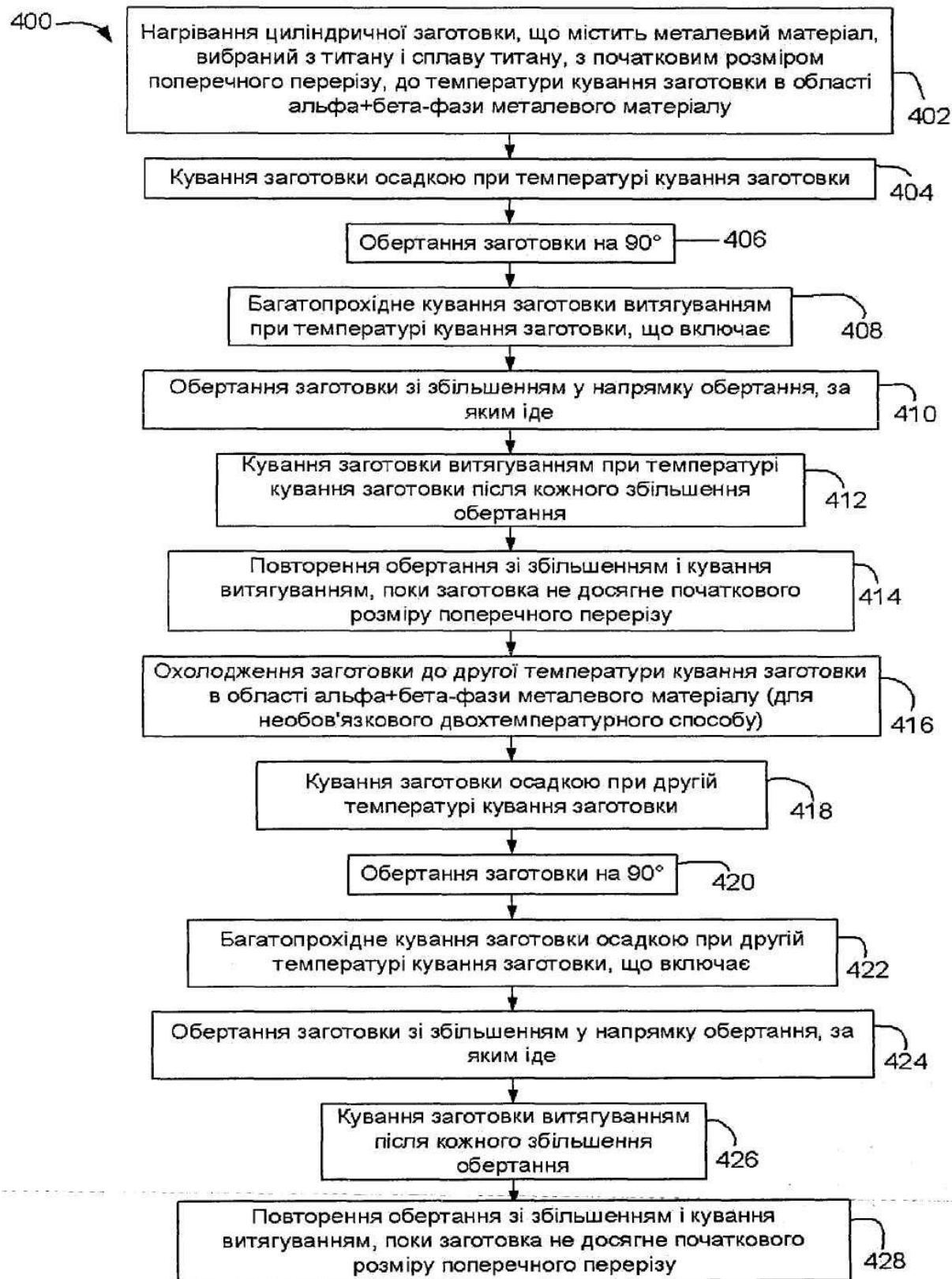


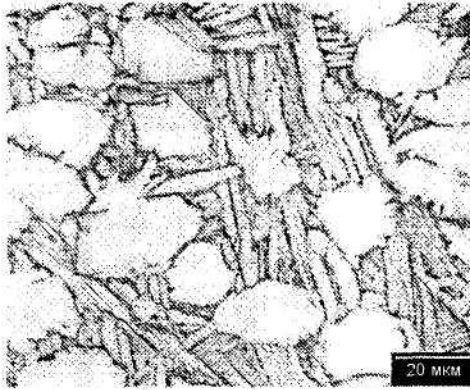
Fig. 8



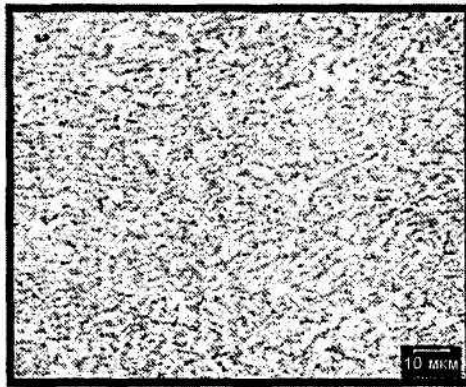
Фіг. 9



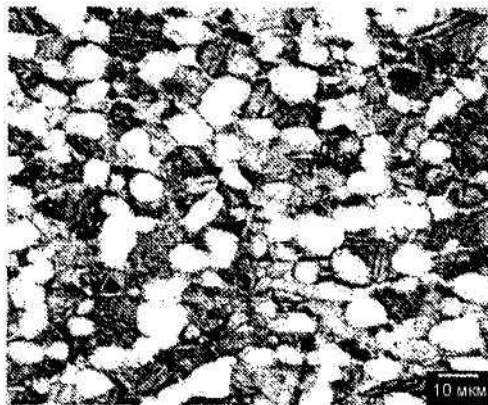
Фіг. 10



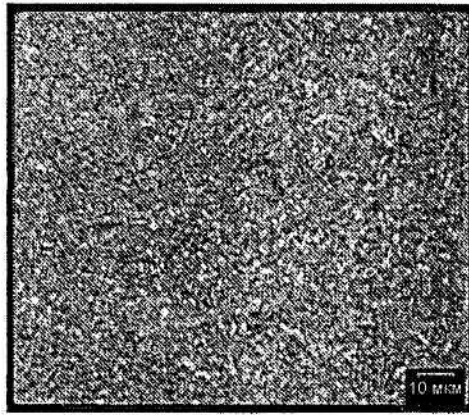
ΦΙΓ. 11 (a)



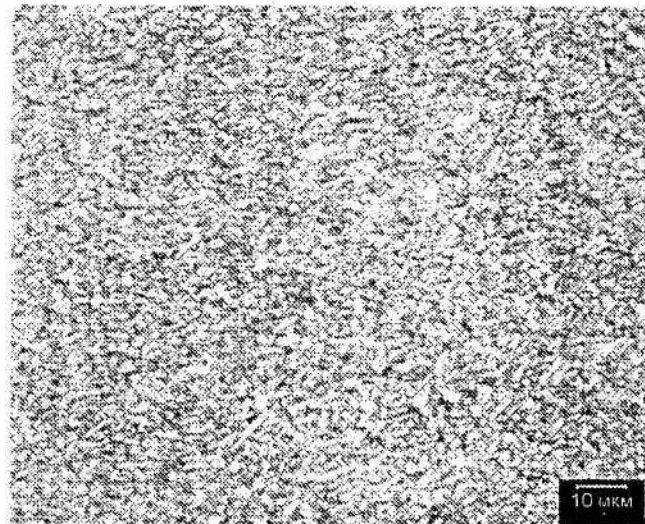
ΦΙΓ. 11 (b)



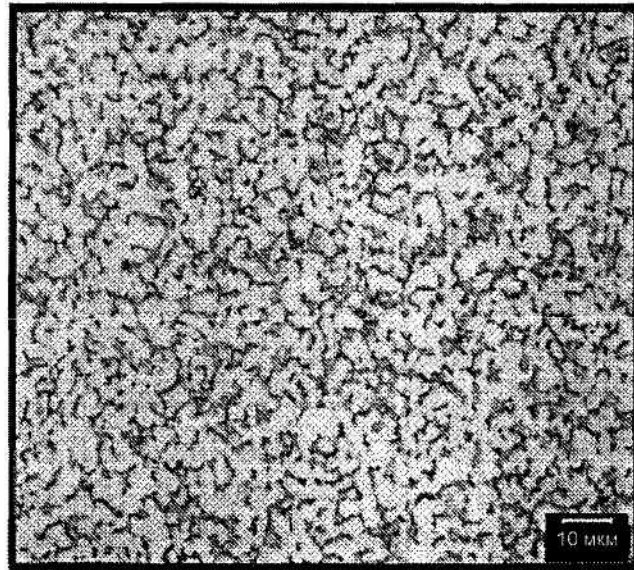
ΦΙΓ. 12 (a)



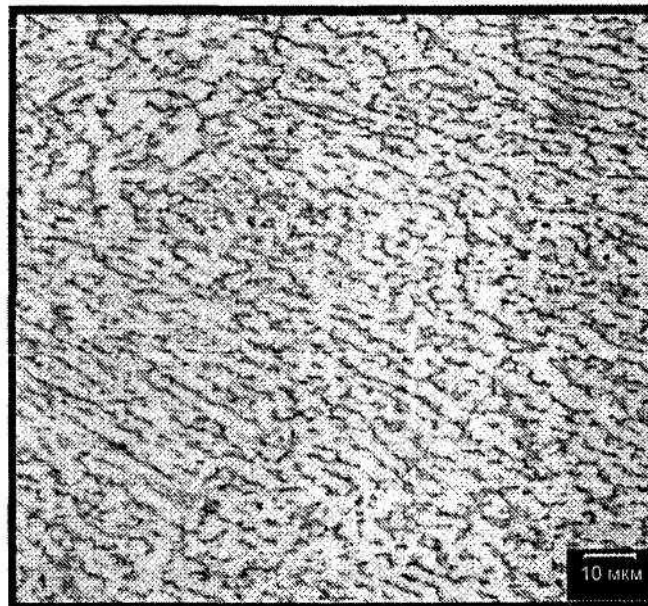
ΦΙΓ. 12 (b)



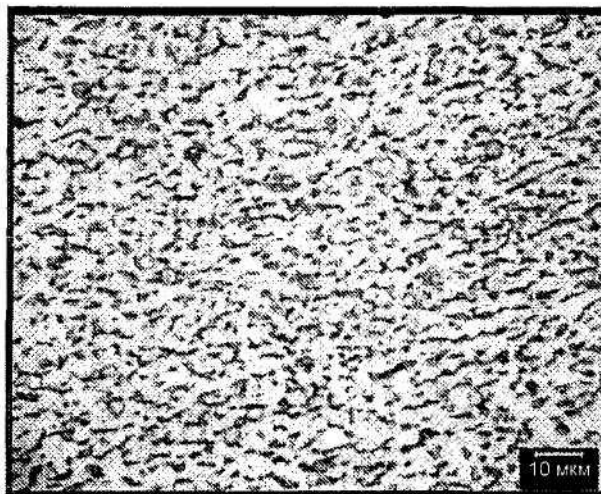
ΦΙΓ. 13



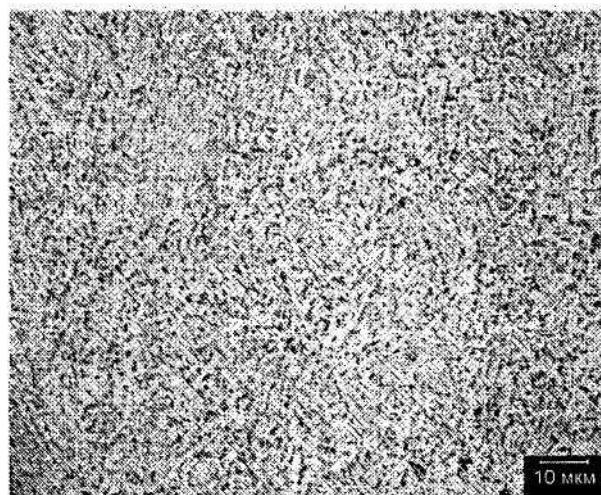
ФІГ. 14



ФІГ. 15



ФІГ. 16 (a)



ФІГ. 16 (b)

Комп'ютерна верстка Г. Паяльніков

Міністерство економічного розвитку і торгівлі України, вул. М. Грушевського, 12/2, м. Київ, 01008, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601