



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **129121** (13) **C2**
(51) МПК (2024.01)
C22C 14/00
C22F 1/18 (2006.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2021 01588	(72) Винахідник(и): Мантіон Джон В. (US), Брайан Девід Дж. (US), Гарсія-Авіла Матіас (US)
(22) Дата подання заявки: 17.06.2019	(73) Володілець (володільці): ЕйТіАй ПРОПЕРТІЗ ЕлЕлСі, 1600 N.E. Old Salem Road, Albany, OR 97321, United States of America (US)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 23.01.2025	(74) Представник: Бочаров Максим Анатолійович, реєстр. №367
(31) Номер попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 16/114,405	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: Microstructure and Creep Properties of Silicon- and/or Germanium-Bearing Near-[alpha] Titanium Alloys / Tomonori Kitashima et al. Materials science forum. 15.11.2015. Vol. 879. P. 2324-2329 Microstructural banding in thermally and mechanically processed titanium 6242 / Kansal Utkarsh et al. Journal of heat treating. 01.06.1992. Vol. 1. No 1. P. 393-398 UA a201708246, 10.10.2017
(32) Дата подання попередньої заявки відповідно до Паризької конвенції: 28.08.2018	
(33) Код держави-учасниці Паризької конвенції, до якої подано попередню заявку: US	
(41) Публікація відомостей про заявку: 05.05.2021, Бюл.№ 18	
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 22.01.2025, Бюл.№ 4	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ PCT/US2019/037421, 17.06.2019	

(54) ТИТАНОВИЙ СПЛАВ ТА СПОСІБ ОТРИМАННЯ ЦЬОГО ТИТАНОВОГО СПЛАВУ**(57) Реферат:**

Титановий сплав в необмежувальному варіанті містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,5 до 2,5 олова; від 1,3 до 2,3 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,1 до 2,0 германію; титан; і домішки. Титановий сплав в необмежувальному варіанті містить інтерметалічне виділення цирконію-кремнію-германію і виявляє швидкість сталої повзучості менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури щонайменше 477 °C (890 °F) під навантаженням 359 МПа (52 ksi).

UA 129121 C2

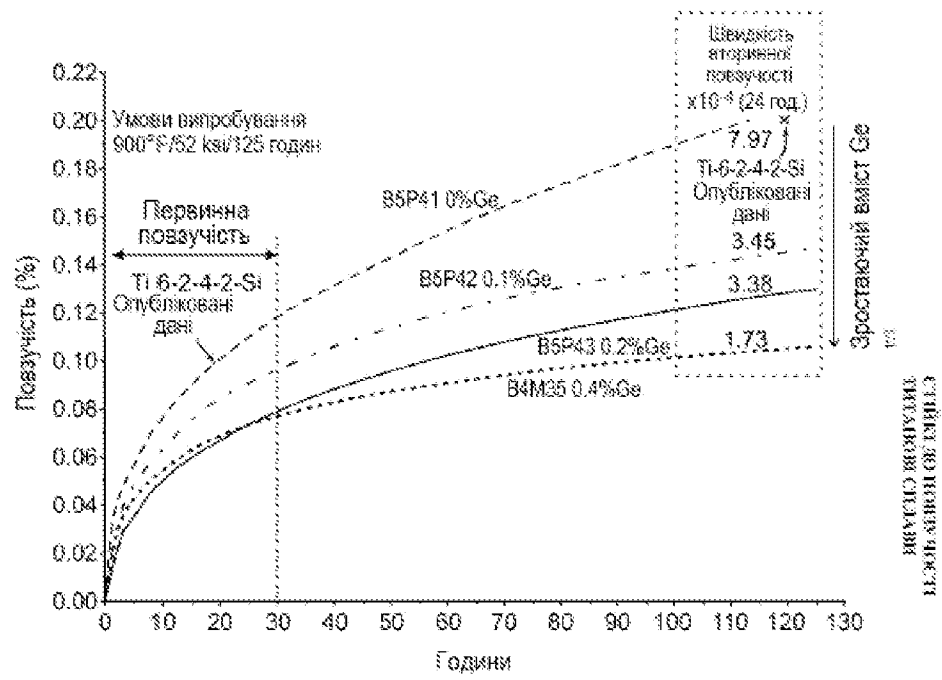


Fig. 1

Передумови створення винаходу

Галузь техніки

Даний винахід стосується стійких до повзучості титанових сплавів.

Опис рівня техніки

5 Титанові сплави звичайно виявляють високу питому міцність (відношення міцності до маси), є корозійностійкими і стійкі до повзучості при помірно високих температурах. Наприклад, сплав Ti-5Al-4Mo-4Cr-2Sn-2Zr (сплав, що також означається "Ti-17" з регламентованим в UNS R58650 складом) являє собою промисловий сплав, який широко використовується у варіантах застосування для реактивних двигунів, що вимагають поєднання високих міцності, опору втомі і в'язкості руйнування при експлуатаційних температурах до 800 °C. Інші приклади титанових сплавів, що використовуються для високотемпературних застосувань, включають сплав Ti-6Al-2Sn-4Zr-2Mo (з регламентованим в UNS R54620 складом) і сплав Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr (що також позначається "Beta-C" з регламентованим в UNS R58640 складом). Однак в цих сплавах існують межі опору повзучості при підвищених температурах. Відповідно, з'явилася потреба в титанових сплавах, що мають поліпшений опір повзучості при підвищених температурах.

Суть винаходу

Згідно з одним необмежувальним аспектом даного винаходу, титановий сплав включає, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,5 до 2,5 олова; від 1,3 до 2,3 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,1 до 2,0 германію; титан; і домішки.

Згідно з ще одним необмежувальним аспектом даного винаходу, титановий сплав складається по суті з, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,5 до 2,5 олова; від 1,3 до 2,3 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,1 до 2,0 германію; титану; і домішок.

25 Згідно з ще одним необмежувальним аспектом даного винаходу, титановий сплав включає, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 2 до 7 алюмінію; від 0 до 5 олова; від 0 до 5 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,05 до 2,0 германію; від 0 до 0,30 кисню; від 0 до 0,30 заліза; від 0 до 0,05 азоту; від 0 до 0,05 вуглецю; від 0 до 0,015 водню; титан; і домішки.

30 Короткий опис креслень

Ознаки і переваги описуваних тут сплавів, виробів і способів можуть бути краще зрозумілі при зверненні до супровідних креслень, на яких:

35 Фіг. 1 представляє графік, на який нанесена деформація повзучості залежно від часу для деяких необмежувальних варіантів титанових сплавів згідно з даним винаходом порівняно з деякими традиційними титановими сплавами.

Фіг. 2 включає мікрофотографію необмежувального варіанту титанового сплаву згідно з даним винаходом і графік, який показує результати сканування методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (XRD) сплаву перед впливом тривалого навантаження.

40 Фіг. 3 включає мікрофотографію титанового сплаву за Фіг. 2 і графік, який показує результати XRD-сканування сплаву і виділення Zr/Si/Ge у вигляді інтерметалічної частинки, що виділилася, після того, як сплав був нагрітий при 900 °F протягом 125 годин під впливом тривалого навантаження 52 ksi; і

Фіг. 4 показує карти розподілу елементів для титанового сплаву по Фіг. 3.

45 Читачеві будуть зрозумілі вищезгадані подробиці, а також інші деталі, після причитування нижченаведеного детального опису деяких необмежувальних варіантів здійснення згідно з даним винаходом.

Детальний опис деяких необмежувальних варіантів здійснення

У даному описі необмежувальних варіантів здійснення, крім робочих прикладів або тих місць, де обумовлене інше, всі числа, що виражають кількості або характеристики, потрібно розуміти як модифіковані у всіх випадках терміном "приблизно". Відповідно, якщо не обумовлене інше, будь-які чисельні параметри, викладені в наступному описі, є наближеними величинами, які можуть варіювати залежно від бажаних властивостей, які прагнуть отримати в матеріалах і способами згідно з даним винаходом. Принаймні, і не як спроба обмежити застосовність доктрини еквівалентів до об'єму формули винаходу, кожний чисельний параметр потрібно щонайменше тлумачити в світлі числа наведених значущих цифр і із застосуванням звичайних методів округлення. Всі діапазони, що описуються тут, включають вказані кінцеві точки, якщо не обумовлене інше.

60 Будь-який патент, публікація або інший матеріал розкриття, які вказані як включені, повністю або частково, сюди по посиланню, включені сюди по посиланню тільки в тій мірі, в якій включений матеріал не суперечить існуючим визначенням, вказівкам або іншому матеріалу

розкриття, викладеному в даному винаході. Як таке, і в необхідній мірі, викладене тут розкриття замінює собою будь-який матеріал, який протирічить, включений сюди по посиланню. Будь-який матеріал або його частина, який вказаний такий, як включений сюди по посиланню, але який суперечить існуючим визначенням, формулюванням або іншому матеріалу викладеного тут розкриття, включений тільки в тій мірі, в якій не виникає суперечність між цим включеним матеріалом і існуючим матеріалом розкриття.

Посилання тут на титановий сплав, "що включає" конкретний склад, передбачається що охоплює сплави, "що складаються по суті з" або "що складаються з" вказаного складу. Буде зрозуміло, що описані тут склади титанових сплавів, "що включають", "що містять", "що складаються з" або "що складаються по суті з" конкретного складу, також можуть включати домішки.

Вироби і деталі у високотемпературних середовищах можуть виявляти повзучість. Застосовуваний тут термін "висока температура" має на увазі температури, що перевищують приблизно 200 °F. Повзучість являє собою деформацію, що залежить від часу, яка виникає при напруженні. Повзучість, що відбувається при знижуваній швидкості деформації, називається первинною повзучістю; повзучість, що відбувається при мінімальній і майже постійній швидкості деформації, називається вторинною (сталою) повзучістю; а повзучість, що відбувається при зростаючій швидкості деформації, називається третинною повзучістю. Межа повзучості являє собою напруження, яке буде викликати дану деформацію повзучості у випробуванні повзучості в даний час в заданому постійному середовищі.

Характеристики опору повзучості титану і титанових сплавів при високій температурі і під впливом тривалого навантаження залежать головним чином від мікроструктурних ознак. Титан має дві алотропні модифікації: бета(«β»)-фаза, яка має об'ємно-центровану кубічну (ОЦК) кристалічну структуру, і альфа(«α»)-фаза, яка має гексагональну щільноупаковану (ГЦУ) кристалічну структуру. Як правило, β-титанові сплави виявляють поганий опір повзучості при підвищеній температурі. Поганий опір повзучості при підвищеній температурі є результатом значної концентрації β-фази, яку ці сплави виявляють при підвищених температурах, наприклад, таких як 900 °F. β-Фаза не має хорошого опору повзучості внаслідок її об'ємно-центрованої кубічної структури, яка забезпечує велике число деформаційних механізмів. Внаслідок цих недоліків застосування β-титанових сплавів було обмежено.

Однією групою титанових сплавів, що широко використовуються у множині різноманітних застосувань, є α/β-титанові сплави. У α/β-титанових сплавах розподіл і розмір первинних α-частинок можуть безпосередньо впливати на опір повзучості. Згідно з різними опублікованими повідомленнями про дослідження α/β-титанових сплавів, що містять кремній, утворення силіцидів, що виділилися, на межах зерен може додатково поліпшувати опір повзучості, але погіршує пластичність при розтягненні при кімнатній температурі. Зниження пластичності при розтягненні при кімнатній температурі, яке відбувається з добавкою кремнію, обмежує концентрацію кремнію, який може бути доданий, до 0,3 % (по масі).

Даний винахід частково направлений на сплави, які усувають деякі з обмежень, пов'язаних з традиційними титановими сплавами. Один варіант титанового сплаву згідно з даним винаходом включає (тобто містить), в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,5 до 2,5 олова; від 1,3 до 2,3 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,1 до 2,0 германію; титан; і домішки. Інший варіант титанового сплаву згідно з даним винаходом включає, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,7 до 2,1 олова; від 1,7 до 2,1 молібдену; від 3,4 до 4,4 цирконію; від 0,03 до 0,11 кремнію; від 0,1 до 0,4 германію; титан; і домішки. Ще один варіант титанового сплаву згідно з даним винаходом включає, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,9 до 6,0 алюмінію; від 1,9 до 2,0 олова; від 1,8 до 1,9 молібдену; від 3,7 до 4,0 цирконію; від 0,06 до 0,11 кремнію; від 0,1 до 0,4 германію; титан; і домішки. У необмежувальних варіантах сплавів згідно з даним винаходом випадкові елементи і інші домішки в складі сплаву можуть включати або складаються по суті з одного або більше з кисню, заліза, азоту, вуглецю, водню, ніобію, вольфраму, ванадію, танталу, марганцю, нікелю, гафнію, галію, сурми, кобальту і міді. Деякі необмежувальні варіанти титанових сплавів згідно з даним винаходом можуть включати, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 0,01 до 0,25 кисню, від 0 до 0,30 заліза, від 0,001 до 0,05 азоту, від 0,001 до 0,05 вуглецю, від 0 до 0,015 водню і від 0 аж до 0,1 кожного з ніобію, вольфраму, гафнію, нікелю, галію, сурми, ванадію, танталу, марганцю, кобальту і міді.

Алюміній може бути включений до складу сплавів згідно з даним винаходом для підвищення вмісту альфа-фази і забезпечення підвищеної міцності. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом алюміній може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку

на загальну масу сплаву, 2-7 %. У деяких необмежувальних варіантах алюміній може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 5,5-6,5 % або, в деяких варіантах, 5,9-6,0 %.

5 Олово може бути включене до складу сплавів згідно з даним винаходом для підвищення вмісту альфа-фази і забезпечення підвищеної міцності. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом олово може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 0-4 %. У деяких необмежувальних варіантах олово може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 1,5-2,5 % або, в деяких варіантах, 1,7-2,1 %.

10 Молибден може бути включений до складу сплавів згідно з даним винаходом для підвищення вмісту бета-фази і забезпечення підвищеної міцності. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом молибден може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 0-5 %. У деяких необмежувальних варіантах молибден може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 1,3-2,3 %

15 або, в деяких варіантах, 1,7-2,1 %. Цирконій може бути включений до складу сплавів згідно з даним винаходом для підвищення вмісту альфа-фази, забезпечення підвищеної міцності і забезпечення підвищеного опору повзучості за рахунок утворення інтерметалічного виділення. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом цирконій може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 1-10 %. У деяких необмежувальних варіантах цирконій може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 3,4-4,4 %

20 або, в деяких варіантах, 3,5-4,3 %. Кремній може бути включений до складу сплавів згідно з даним винаходом для забезпечення підвищеного опору повзучості за рахунок утворення інтерметалічного виділення. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом кремній може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 0,01-0,30 %. У деяких необмежувальних варіантах кремній може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 0,03-0,11 % або, в деяких варіантах, 0,06-0,11 %.

25 Германій може бути включений до складу титанових сплавів у варіантах здійснення даного винаходу для поліпшення характеристик швидкості вторинної повзучості при підвищених температурах. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом германій може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 0,05-2,0 %. У деяких необмежувальних варіантах германій може бути присутнім в масових концентраціях, з розрахунку на загальну масу сплаву, 0,1-2,0 % або, в деяких варіантах, 0,1-0,4 %. Без наміру вдаватися в яку-небудь теорію, представляється, що вміст германію в сплавах в поєднанні з відповідною термічною обробкою можуть сприяти утворенню інтерметалічного виділення цирконію-кремнію-германію. Додатки германію можуть бути, наприклад, у вигляді чистого металу або лігатури з германію і одного або більше інших відповідних металевих елементів. Придатними прикладами лігатур можуть бути Si-Ge і Al-Ge. Деякі лігатури можуть бути у вигляді

30 порошку, гранул, дроту, розмолотої стружки або листа. Описувані тут титанові сплави в цьому відношенні не обмежені. Після кінцевого плавлення для досягнення практично однорідної суміші титану і легуючих елементів відлитий злиток може бути підданий термомеханічній обробці за допомогою одного або більше етапів кування, прокатки, пресування (видавлювання), волочіння, витягування, обтискання, осідання і відпалу для досягнення

35 бажаної мікроструктури. Повинно бути зрозумілим, що сплави за даним винаходом можуть бути піддані термомеханічній обробці і/або оброблені іншими прийнятними способами.

40 Необмежувальний варіант здійснення способу отримання титанового сплаву згідно з даним винаходом включає термічну обробку відпалом, термообробку на твердий розчин і відпал, термообробку на твердий розчин і старіння (STA), пряме старіння або комбінацію циклів термообробки до отримання бажаного балансу механічних властивостей. Використовуваний тут процес "термообробки на твердий розчин і старіння (STA)" стосується процесу термічної обробки, що застосовується до титанових сплавів, який включає термообробку на твердий розчин титанового сплаву за температури термообробки на твердий розчин нижче температури β-перетворення титанового сплаву. У необмежувальному варіанті температура термообробки на твердий розчин знаходиться в температурному діапазоні від приблизно 1780 °F до

45 приблизно 1800 °F. Підданий термообробці на твердий розчин титановий сплав потім зістарюють нагріванням сплаву протягом періоду часу до діапазону температур старіння, який є меншим, ніж температура β-перетворення, і меншим, ніж температура термообробки на твердий розчин титанового сплаву. Використовувані тут терміни, такі як "нагрітий до" або

50 "нагрівання до" і т. д. з посиланням на температуру, температурний діапазон або мінімальну

60

температуру, означають, що сплав нагрівають доти, поки щонайменше бажана частина сплаву не буде мати температуру, яка щонайменше дорівнює вказаній або мінімальній температурі, або в межах вказаного температурного діапазону протягом всьому цієї частини. У одному необмежувальному варіанті тривалість термообробки на твердий розчин складає в діапазоні від

5

приблизно 30 хвилин до приблизно 4 годин. Визнано, що в деяких необмежувальних варіантах тривалість термообробки на твердий розчин може бути коротшою ніж 30 хвилин або довшою ніж 4 години, і загалом залежить від розміру і перерізу титанового сплаву. Після завершення термообробки на твердий розчин титановий сплав охолоджують до температури навколишнього середовища зі швидкістю, що залежить від товщини перерізу титанового сплаву.

10

Підданий термообробці на твердий розчин титановий сплав потім зістарюють за температури старіння, яка також називається тут "температурою дисперсійного тверднення", яка знаходиться в двофазній області $\alpha+\beta$ нижче температур β -перетворення титанового сплаву. У необмежувальному варіанті температура старіння знаходиться в температурному діапазоні від приблизно 1075 °F до приблизно 1125 °F. У деяких необмежувальних варіантах тривалість старіння може складати в діапазоні від приблизно 30 хвилин до приблизно 8 годин. Визнано, що в деяких необмежувальних варіантах тривалість старіння може бути коротшою ніж 30 хвилин або довшою ніж 8 годин, і загалом залежить від розміру і перерізу різновиду виробу з титанового сплаву. Загальні методи, що застосовуються при STA-обробці титанових сплавів, відомі практикуючим фахівцям із звичайною кваліфікацією в цій галузі техніки і тому тут більше не обговорюються.

15

20

Хоча визнано, що на механічні властивості титанових сплавів, як правило, впливає розмір випробуваного зразка, в деяких необмежувальних варіантах титанового сплаву згідно з даним винаходом титановий сплав виявляє швидкість сталої повзучості (також відомої як вторинна, або "стадії II") менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури щонайменше 890 °F під навантаженням 52 ksi (тисяч фунтів на квадратний дюйм, 1 ksi=6,894757 МПа). Крім того, наприклад, деякі необмежувальні варіанти титанових сплавів згідно з даним винаходом можуть виявляти швидкість сталої повзучості (вторинної, або стадії II) менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури 900 °F під навантаженням 52 ksi. У деяких необмежувальних варіантах згідно з даним винаходом титановий сплав виявляє межу міцності при розтягненні щонайменше 130 ksi при 900 °F. У інших необмежувальних варіантах титановий сплав згідно з даним винаходом виявляє час до 0,1 % деформації повзучості не менше 20 годин при 900 °F під навантаженням 52 ksi.

25

30

Приклад 1

У таблиці 1 перераховані елементні склади деяких необмежувальних варіантів титанових сплавів згідно з даним винаходом ("Експериментальний титановий сплав № 1", "Експериментальний титановий сплав № 2" і "Експериментальний титановий сплав № 3"), разом з порівняльним титановим сплавом, який не включає навмисну добавку германію ("Порівняльний титановий сплав").

35

40

Таблиця 1

Сплав	Al (мас. %)	Sn (мас. %)	Zr (мас. %)	Mo (мас. %)	Si (мас. %)	O (мас. %)	Ge (мас. %)	C (мас. %)	N (мас. %)
Порівняльний титановий сплав, UNS R58650 (B5P41)	5,9	1,8	4,1	1,9	0,07	0,16	0,0	0,013	0,001
Експериментальний титановий сплав № 1 (B5P42)	5,9	1,9	4,0	1,8	0,06	0,12	0,1	0,003	0,001
Експериментальний титановий сплав № 2 (B5P43)	5,9	1,9	3,9	1,9	0,07	0,13	0,2	0,003	0,001
Експериментальний титановий сплав № 3 (B4M35)	6,0	2,0	3,7	1,8	0,11	0,13	0,4	0,008	0,001

45

Плавлення методом плазмодугової плавки (ПДП) Порівняльного титанового сплаву,

Експериментального титанового сплаву № 1, Експериментального титанового сплаву № 2 і Експериментального титанового сплаву № 3, перерахованого в Таблиці 1, були отримані з використанням плазмодугових печей з утворенням електродів діаметром 9 дюймів, кожний масою приблизно 400-800 фунтів. Електроди переплавили в печі вакуумно-дугової переплавки (ВДП) з отриманням злитків діаметром 10 дюймів. Кожний злиток перетворювали на круглу заготовку (білет) діаметром 3 дюйма з використанням преса для гарячої обробки тиском. Після стадії гарячого β -кування до діаметра 7 дюймів, стадії $\alpha+\beta$ -кування з попередньою деформацією до діаметра 5 дюймів і заключної стадії β -проковки до діаметра 3 дюйма кінці кожної заготовки обрізали для видалення вм'ятин і торцевих тріщин, і заготовки розрізали на декілька шматків. Взяли зразки з верхньої частини кожної заготовки і нижньої частини найнижчої заготовки при діаметрі 7 дюймів для дослідження хімічного складу і β -перетворення. Виходячи з проміжних результатів хімічного аналізу заготовки, від заготовок відрізали зразки довжиною 2 дюйма і кували "млинці" на пресі. Зразки-«млинці» піддали термічній обробці до термообробленого на твердий розчин і зістареного стану в наступних умовах: термообробка на твердий розчин титанового сплаву за температури від 1780 °F до 1800 °F протягом 4 годин; охолодження титанового сплаву до температури навколишнього середовища зі швидкістю, що залежить від товщини перерізу титанового сплаву; старіння титанового сплаву за температури від 1025 °F до 1125 °F протягом 8 годин; і охолодження титанового сплаву на повітрі.

Випробувані заготовки для проведення випробувань на розтягнення при кімнатній і високій температурі, випробувань на повзучість, в'язкість руйнування і аналізу мікроструктури вирізали з підданих STA-обробці зразків-млинців. Остаточний хімічний аналіз виконували на зразку після проведення випробування на в'язкість руйнування, щоб забезпечити точну кореляцію між хімічним складом і механічними властивостями. Деякі механічні властивості експериментальних титанових сплавів, перерахованих в Таблиці 1, вимірювали і порівнювали з механічними властивостями порівняльного титанового сплаву, вказаного в Таблиці 1. Результати перераховані в Таблиці 2. Випробування на розтяг проводили згідно зі стандартом E8/E8M-09 Американського товариства по випробуванню матеріалів (American Society for Testing and Materials (ASTM) ("Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials" ("Стандартні методи випробування на розтяг металевих матеріалів"), ASTM International, 2009). Як показали наведені в Таблиці 2 результати, зразки експериментальних титанових сплавів виявляли межу міцності при розтягненні і межу текучості при кімнатній температурі, порівнянну з порівняльним титановим сплавом, який не містив навмисної добавки германію.

Таблиця 2

Сплав	Термічна обробка	Кімнатна температура (72 °F)				Підвищена температура (900 °F)			
		UTS (ksi)	YS (ksi)	%el	%RA	UTS (ksi)	YS (ksi)	%el	%RA
Порівняльний титановий сплав, UNS R58650 (B5P41)	1	178	163	13	45	125	109	17	63
Експериментальний титановий сплав № 1 (B5P42)	1	175	157	13	39	130	103	18	64
Експериментальний титановий сплав № 2 (B5P43)	1	178	157	14	39	130	95	17	59
Експериментальний титановий сплав № 3 (B4M35)	2	177	158	6	12	133	106	13	41

Термічні обробки:

1 - термообробка на твердий розчин при 1785,4 °F протягом 4 годин, загартування у воді, старіння при 1100 °F протягом 8 годин і охолодження на повітрі,

2 - термообробка на твердий розчин при 1800 °F протягом 4 годин, загартування у воді, старіння при 1100 °F протягом 8 годин і охолодження на повітрі;

UTS - межа міцності при розтягненні;

YS - межа текучості;

%el - відносне подовження, %;

%RA - відносне звуження, %.

Випробування на тривалу міцність згідно зі стандартом ASTM E139 проводили на сплавах, перерахованих в Таблиці 1. Результати представлені на Фіг. 1. Експериментальні титанові сплави за даним винаходом виявляли дуже сприятливі швидкості вторинної повзучості відносно порівняльного титанового сплаву. Звертаючись до Фіг. 2-4, в Експериментальному титановому сплаві № 2 було виявлене виділення інтерметалічної фази цирконію-кремнію-германію після впливу повзучості при постійному навантаженні і підвищеній температурі більше часу первинної (або стадії I) повзучості. Як показано на Фіг. 1, зразки експериментальних титанових сплавів за даним винаходом виявляли сталу повзучість після приблизно 30 годин при 900 °F під навантаженням 52 ksi. Порівняльний титановий сплав виявляв час до 0,1 % деформації повзучості 19,4 години при 900 °F під навантаженням 52 ksi. Експериментальний титановий сплав № 1, Експериментальний титановий сплав № 2 і Експериментальний титановий сплав № 3 всі виявили значно більший час до 0,1 % деформації повзучості при 900 °F під навантаженням 52 ksi: 32,6 години, 55,3 години і 93,3 години відповідно.

Зразки, вивчені до впливу повзучості (але після термічних обробок), не виявили присутності інтерметалічних виділень. Звертаючись до Фіг. 2, сканування елементного складу методом енергодисперсійної рентгенівської спектроскопії (EDS) Експериментального титанового сплаву № 2 перед впливом повзучості показало практично рівномірний розподіл германію в α/β -мікроструктурі, без інтерметалічних частинок. На Фіг. 3 - 4 після впливу повзучості видно виділення цирконію, кремнію і германію в інтерметалічні частинки. Інтерметалічні частинки, як правило, виявляють збіднення алюмінієм відносно навколишніх частинок альфа-фази. Утворення інтерметалічних частинок, що виділилися, після впливу повзучості було особливо несподіваним і дивним. Без наміру вдаватися в яку-небудь теорію, представляється, що інтерметалічні частинки можуть поліпшувати вторинну повзучість у сплавів без надання істотного впливу на високотемпературну межу текучості.

Потенційні застосування сплавів згідно з даним винаходом є численними. Як описано і підтверджено вище, описані тут титанові сплави переважно використовуються у множині різноманітних застосувань, в яких важливий опір повзучості при підвищених температурах. Вироби, для виготовлення яких титанові сплави згідно з даним винаходом були б особливо вигідними, включають певні аерокосмічні і авіаційні застосування, включаючи, наприклад, робочі колеса турбін реактивних двигунів і лопатки турбовентилляторів. Фахівці звичайної кваліфікації в цій галузі техніки зможуть виготовити вищезгадані обладнання, деталі і інші вироби виробництва з сплавів згідно з даним винаходом без необхідності в представленні тут додаткового опису. Вищезгадані приклади можливих варіантів застосування для сплавів згідно з даним винаходом наведені тільки як приклад і не є вичерпним переліком всіх варіантів застосування, в яких можуть бути використані різновиди виробів з даного сплаву. Маючи звичайну кваліфікацію фахівці, після прочитання даного розкриття, можуть легко виявити додаткові застосування для описаних тут сплавів.

Різні невичерпні, необмежувальні аспекти нових сплавів і способів згідно з даним винаходом можуть бути корисними окремо або в комбінації з одним або більше описаними тут аспектами. Без обмеження наведеного вище опису, в першому необмежувальному аспекті даного винаходу титановий сплав містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,5 до 2,5 олова; від 1,3 до 2,3 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,1 до 2,0 германію; титан; і домішки.

Відповідно до другого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з першим аспектом, титановий сплав містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,7 до 2,1 олова; від 1,7 до 2,1 молібдену; від 3,4 до 4,4 цирконію; від 0,03 до 0,11 кремнію; від 0,1 до 0,4 германію; титан; і домішки.

Відповідно до третього необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,9 до 6,0 алюмінію; від 1,9 до 2,0 олова; від 1,8 до 1,9 молібдену; від 3,5 до 4,3 цирконію; від 0,06 до 0,11 кремнію; від 0,1 до 0,4 германію; титан; і домішки.

Відповідно до четвертого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав додатково містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 0 до 0,30 кисню; від 0 до 0,30 заліза; від 0 до 0,05 азоту; від 0 до 0,05 вуглецю; від 0 до 0,015 водню; і від 0 до 0,1 кожного з ніобію, вольфраму, гафнію, нікелю, галію, сурми, ванадію, танталу, марганцю, кобальту і міді.

Відповідно до п'ятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав містить інтерметалічне виділення цирконію-кремнію-германію.

Відповідно до шостого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав виявляє швидкість сталості повзучості менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури щонайменше 890 °F під навантаженням 52 ksi.

Відповідно до сьомого необмежувального аспекту даного винаходу, спосіб отримання титанового сплаву включає: термообробку на твердий розчин титанового сплаву за температури від 1780 °F до 1800 °F протягом 4 годин; охолодження титанового сплаву до температури навколишнього середовища зі швидкістю, що залежить від товщини перерізу титанового сплаву; старіння титанового сплаву за температури від 1025 °F до 1125 °F протягом 8 годин; і охолодження титанового сплаву на повітрі, причому титановий сплав має склад, вказаний в кожному або будь-якому з вищезазначених аспектів.

Відповідно до восьмого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав виявляє межу міцності при розтягненні щонайменше 130 ksi при 900 °F.

Відповідно до дев'ятого необмежувального аспекту даного винаходу, даний винахід також представляє титановий сплав, який складається по суті з, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 5,5 до 6,5 алюмінію; від 1,5 до 2,5 олова; від 1,3 до 2,3 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,1 до 2,0 германію; титану; і домішок.

Відповідно до десятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст алюмінію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 5,9 до 6,0.

Відповідно до одинадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст олова в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,7 до 2,1.

Відповідно до дванадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст олова в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,9 до 2,0.

Відповідно до тринадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст молібдену в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,7 до 2,1.

Відповідно до чотирнадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст молібдену в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,8 до 1,9.

Відповідно до п'ятнадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст цирконію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 3,4 до 4,4.

Відповідно до шістнадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст цирконію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 3,5 до 4,3.

Відповідно до сімнадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст кремнію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 0,03 до 0,11.

Відповідно до вісімнадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст кремнію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 0,06 до 0,11.

Відповідно до дев'ятнадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, вміст германію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 0,1 до 0,4.

Відповідно до двадцятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, в титановому сплаві: вміст кисню складає від 0 до 0,30; вміст заліза складає від 0 до 0,30; вміст азоту складає від 0 до 0,05; вміст вуглецю складає від 0 до 0,05; вміст водню складає від 0 до 0,015; і вміст кожного з ніобію, вольфраму, гафнію, нікелю, галію, сурми, ванадію, танталу, марганцю, кобальту і міді складає від 0 до 0,1, все в масових відсотках з розрахунку на загальну масу титанового сплаву.

Відповідно до двадцять першого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, спосіб

отримання титанового сплаву включає: термообробку на твердий розчин титанового сплаву за температури від 1780 °F до 1800 °F протягом 4 годин; охолодження титанового сплаву до температури навколишнього середовища з швидкістю, що залежить від товщини перерізу титанового сплаву; старіння титанового сплаву за температури від 1025 °F до 1125 °F протягом 8 годин; і охолодження титанового сплаву на повітрі, причому титановий сплав має склад, вказаний в кожному або будь-якому з вищезазначених аспектів.

Відповідно до двадцять другого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав виявляє швидкість сталої повзучості менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури щонайменше 890 °F під навантаженням 52 ksi.

Відповідно до двадцять третього необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав виявляє межу міцності при розтягненні щонайменше 130 ksi при 900 °F.

Відповідно до двадцять четвертого необмежувального аспекту даного винаходу, даний винахід також представляє титановий сплав, що містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 2 до 7 алюмінію; від 0 до 5 олова; від 0 до 5 молібдену; від 0,1 до 10,0 цирконію; від 0,01 до 0,30 кремнію; від 0,05 до 2,0 германію; від 0 до 0,30 кисню; від 0 до 0,30 заліза; від 0 до 0,05 азоту; від 0 до 0,05 вуглецю; від 0 до 0,015 водню; титан; і домішки.

Відповідно до двадцять п'ятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав виявляє швидкість сталої повзучості менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури щонайменше 890 °F під навантаженням 52 ksi.

Відповідно до двадцять шостого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав додатково містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 0 до 5 хрому.

Відповідно до двадцять сьомого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав додатково містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 0 до 6,0 кожного з ніобію, вольфраму, ванадію, танталу, марганцю, нікелю, гафнію, галію, сурми, кобальту і міді.

Відповідно до двадцять восьмого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав виявляє швидкість сталої повзучості менше 8×10^{-4} (24 години)⁻¹ за температури щонайменше 890 °F під навантаженням 52 ksi.

Відповідно до двадцять дев'ятого необмежувального аспекту даного винаходу, який може бути використаний в комбінації з кожним або будь-яким з вищезгаданих аспектів, титановий сплав додатково містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву: від 0 до 5 хрому.

Буде зрозуміло, що даний опис ілюструє ті аспекти винаходу, які важливі для чіткого розуміння винаходу. Деякі аспекти, які були б очевидними фахівцям звичайної кваліфікації в цій галузі техніки і тому не сприяли б кращому розумінню винаходу, не були представлені для того, щоб спростити даний опис. Хоча тут за потреби було описано тільки обмежена кількість варіантів здійснення даного винаходу, фахівець із звичайною кваліфікацією в цій галузі техніки, після прочитання вищенаведеного опису, зрозуміє, що можна скористатися багатьма модифікаціями і варіаціями винаходу. Передбачається, що всі такі варіації і модифікації винаходу охоплюються вищенаведеним описом і нижченаведеною формулою винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Титановий сплав, який містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву:
 від 5,5 до 6,5 алюмінію;
 від 1,5 до 2,5 олова;
 від 1,3 до 2,3 молібдену;
 від 0,1 до 10,0 цирконію;
 від 0,01 до 0,30 кремнію;
 від 0,1 до 0,4 германію;
 до 0,30 кисню;
 до 0,30 заліза;
 до 0,05 азоту;

до 0,05 вуглецю;

до 0,015 водню;

решта - титан і домішки.

5 2. Титановий сплав за п. 1, який містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву:

від 1,7 до 2,1 олова;

від 1,7 до 2,1 молібдену;

від 3,4 до 4,4 цирконію; і

від 0,03 до 0,11 кремнію.

10 3. Титановий сплав за п. 1, який містить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву:

від 5,9 до 6,0 алюмінію;

від 1,9 до 2,0 олова;

від 1,8 до 1,9 молібдену;

15 від 3,5 до 4,3 цирконію; і

від 0,06 до 0,11 кремнію.

4. Титановий сплав за п. 1, який містить інтерметалічне виділення цирконію-кремнію-германію.

5. Титановий сплав за п. 1, причому вміст алюмінію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 5,9 до 6,0.

20 6. Титановий сплав за п. 1, причому вміст олова в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,7 до 2,1.

7. Титановий сплав за п. 1, причому вміст олова в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,9 до 2,0.

25 8. Титановий сплав за п. 1, причому вміст молібдену в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,7 до 2,1.

9. Титановий сплав за п. 1, причому вміст молібдену в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 1,8 до 1,9.

10. Титановий сплав за п. 1, причому вміст цирконію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 3,4 до 4,4.

30 11. Титановий сплав за п. 1, причому вміст цирконію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 3,5 до 4,3.

12. Титановий сплав за п. 1, причому вміст кремнію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 0,03 до 0,11.

35 13. Титановий сплав за п. 1, причому вміст кремнію в сплаві становить, в масових відсотках з розрахунку на загальну масу сплаву, від 0,06 до 0,11.

14. Спосіб отримання титанового сплаву, який включає:

термообробку на твердий розчин титанового сплаву за температури від 971 °C (1780 °F) до 982 °C (1800 °F) протягом 4 годин;

охолодження титанового сплаву до температури навколишнього середовища;

40 старіння титанового сплаву за температури від 552 °C (1025 °F) до 607 °C (1125 °F) протягом 8 годин; і

охолодження титанового сплаву на повітрі,

причому титановий сплав має склад, вказаний в п. 1 або 5.

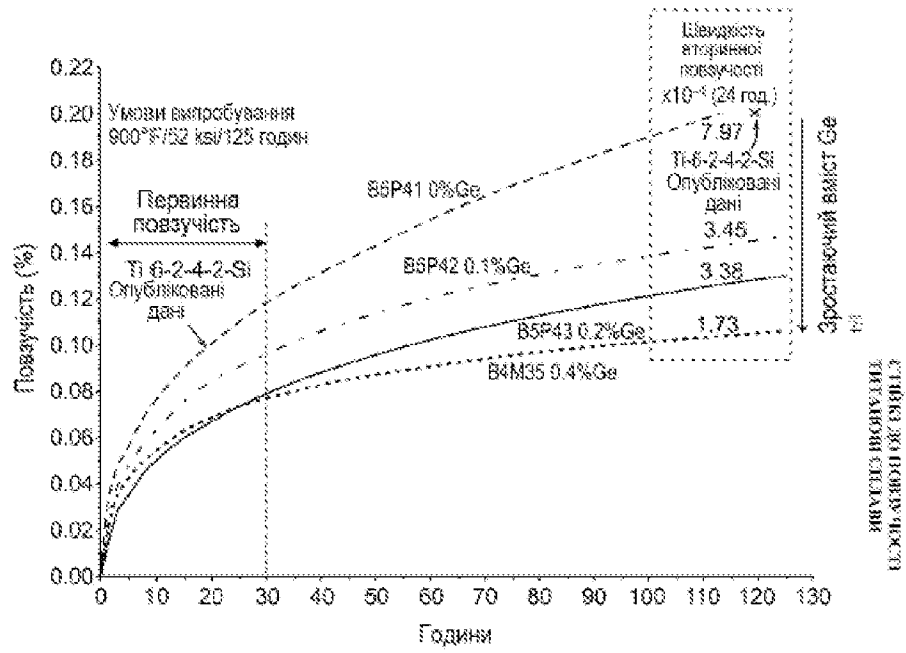


Fig. 1

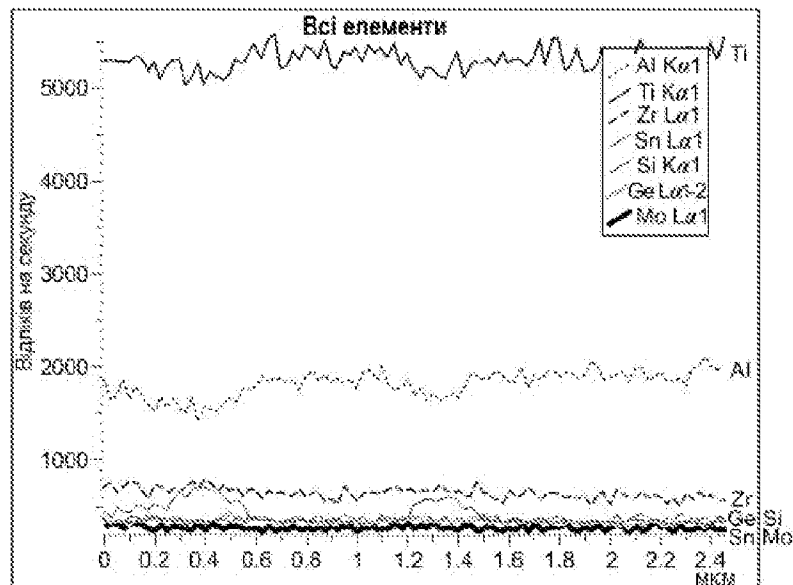
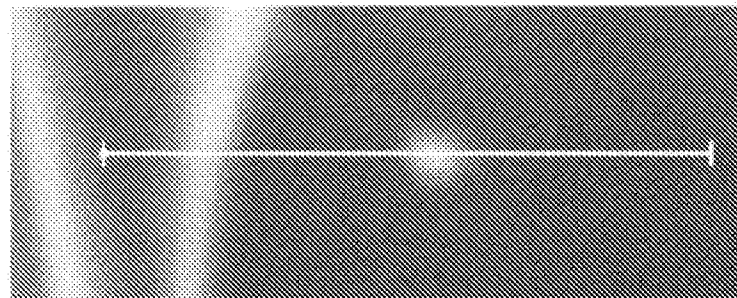
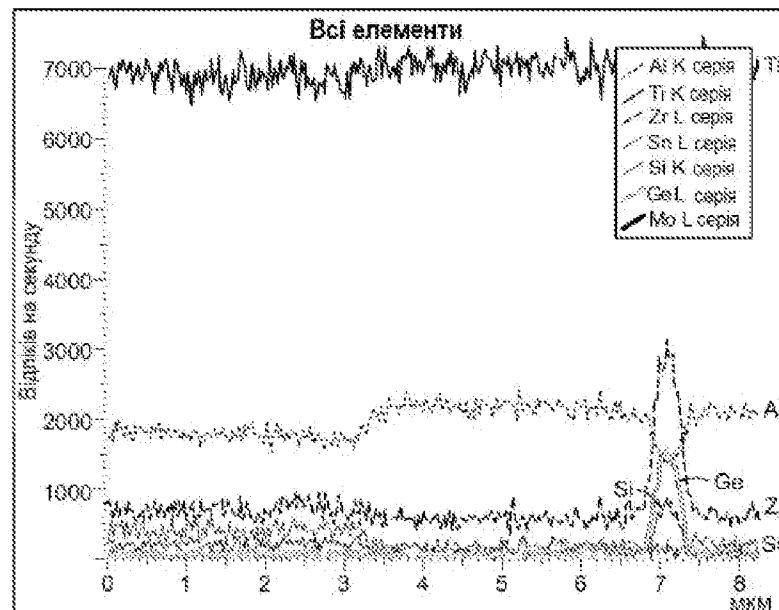
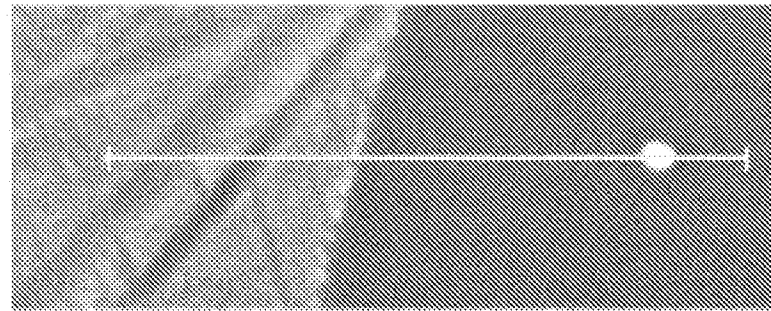
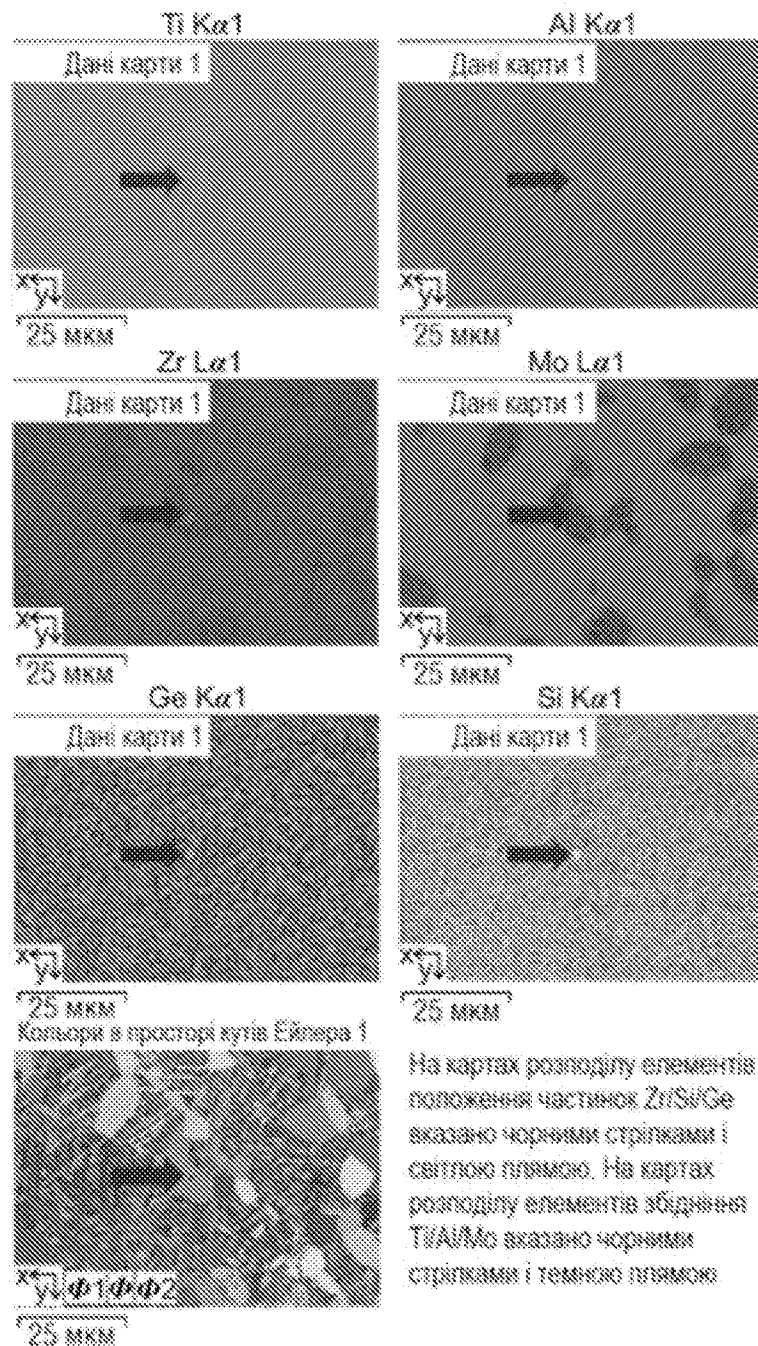


Fig. 2



Фіг. 3



Фіг. 4