УКРАЇНА

(19) UA (11) 76459 (13) C2

(51) МПК (2006)
B21D 26/02 (2006.01)
B21D 51/26

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИ

ДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ

ОПИС
ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(54) СПОСІБ ФОРМУВАННЯ МЕТАЛЕВОГО ВИРОБУ ТИПУ КОНТЕЙНЕРА

(21) 20031110598
(22) 01.05.2002
(24) 15.08.2006
(86) PCT/CA02/00644, 01.05.2002
(31) 09/846,546
(32) 01.05.2001
(33) US
(31) 10/007,263
(32) 08.11.2001
(33) US
(46) 01.08.2006, Бюл. № 8, 2006 р.
(72) Хамстра Петер , CA, Макевен Стюарт , CA, Гонг Кевін , CA, Малтон Джеймс Д., CA, Меллорі Роберт В., CA
(73) АЛКАН ІНТЕРНЕЙШНЛ ЛІМІТЕД, CA
(56) EP 0740971, 06.11.1996
US 3040684, 26.06.1962
US 6182487, 06.02.2001
US 4362037, 07.12.1982
DE 3716176, 08.09.1988
US 5187962, 23.02.1993

(57) 1. Спосіб формування металевого виробу типу контейнера заданих розмірів і форми, відповідно до якого

на етапі (a) розміщають у порожнині матриці, яка має стінку матриці, що визначає зазначені розміри і форму, порожнисту металеву заготовку із закритим кінцем таким чином, що щонайменше частина заготовки спочатку має зазор відносно стінки матриці, і

на етапі (b) піддають заготовку дії внутрішнього тиску текучого середовища з метою розширення заготовки назовні до входження, по суті, у повний контакт зі стінкою матриці для надання заготовці заданих розмірів і форми,

який **відрізняється** тим, що порожнина матриці виконана з розмірами, які забезпечують охоплення бічної поверхні порожнистої металевої заготовки із закритим кінцем і пуансона, розташованого в області одного з кінців порожнини матриці з можливістю переміщення усередину зазначеної порожнини, і заготовку розміщають у порожнині матриці таким чином, що закритий кінець заготовки спрямований до пуансона і знаходиться поблизу нього, прикладають до заготовки внутрішній тиск текучого середовища з метою розширення заготовки назовні і забезпечення дії зусилля тиску текучого середовища на закритий кінець, та

на етапі (c) переміщають пуансон або до початку розширення заготовки, або після початку, але до завершення розширення заготовки, усередину зазначеного кінця порожнини матриці для входження в контакт із закритим кінцем заготовки і зсуву цього закритого кінця в напрямку, протилежному напрямку дії зусилля тиску текучого середовища на закритий кінець заготовки, тим самим деформуючи закритий кінець заготовки в процесі розширення заготовки назовні до входження, по суті, в повний контакт зі стінкою матриці.

2. Спосіб за п.1, який **відрізняється** тим, що внутрішній тиск текучого середовища прикладають до заготовки, що знаходиться усередині порожнини матриці, шляхом прикладання як надлишкового внутрішнього тиску текучого середовища, так і надлишкового зовнішнього тиску текучого середовища, при цьому надлишковий внутрішній тиск текучого середовища перевищує надлишковий зовнішній тиск текучого середовища.

3. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що перед операцією прикладання до заготовки внутрішнього тиску текучого середовища нагрівають заготовку, що знаходиться в порожнині матриці, для створення в ній температурного градієнта.

4. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що текуче середовище, використане для прикладання тиску текучого середовища, є газом.

5. Спосіб за п.4, який **відрізняється** тим, що газ вибраний з групи, що включає азот, повітря й аргон.

6. Спосіб за п.5, який **відрізняється** тим, що формування здійснюють при температурі, яка перевищує 100°C.

7. Спосіб за п.6, який **відрізняється** тим, що формування здійснюють при температурі близько 300°C.

8. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що заготовка виконана у вигляді подовженого і спочатку, по суті, циліндричного виробу, який має розширюваний закритий кінець і відкритий кінець, протилежний закритому кінцю.

9. Спосіб за будь-яким з пп.1-8, який **відрізняється** тим, що пуансон переміщають усередину поро-

(19) UA (11) 76459 (13) C2

жнини після початку розширення заготовки, але до завершення розширення заготовки на етапі (b).

10. Спосіб за будь-яким з пп.1-8, який **відрізняється** тим, що пуансон переміщають для введення в контакт із закритим кінцем заготовки до початку розширення заготовки і підтримують згаданий контакт протягом усього процесу розширення заготовки.

11. Спосіб за п.8, який **відрізняється** тим, що пуансон виконаний з фасонною поверхнею, а закритий кінець заготовки деформують для його відповідності зазначеній фасонній поверхні.

12. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що задана форма є формою пляшки, що включає горловинну частину і корпусну частину, поперечні розміри якої є більшими за поперечні розміри горловинної частини, порожнина матриці і заготовка мають подовжні осі, причому заготовку на етапі (a) установлюють, по суті, співвісно з порожниною, а пуансон виконують з можливістю переміщення уздовж подовжньої осі порожнини.

13. Спосіб за п.12, який **відрізняється** тим, що згаданий пуансон виконаний із профілем у вигляді купола, а на етапі (c) деформують закритий кінець заготовки з наданням йому згаданого профілю у вигляді купола.

14. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що стінка матриці містить складову частину, виконану з можливістю відокремлення для видалення сформованого контейнера після завершення етапу (c).

15. Спосіб за п.12, який **відрізняється** тим, що задана форма є асиметричною відносно подовжньої осі порожнини матриці.

16. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що пуансон спочатку, а саме на початку етапу (b), розміщують з можливістю обмеження осьового подовження заготовки під впливом тиску текучого середовища.

17. Спосіб за п.12, який **відрізняється** тим, що заготовка виконана у вигляді подовженого і спочатку, по суті, циліндричного виробу з відкритим кінцем, протилежним закритому кінцю, причому діаметр заготовки, по суті, дорівнює діаметру горловинної частини форми у вигляді пляшки.

18. Спосіб за будь-яким з пп.12-17, який **відрізняється** тим, що згаданий виріб має здатність до формування, достатню для забезпечення розширення до заданої форми за одну операцію формування під тиском.

19. Спосіб за п.17, який **відрізняється** тим, що до здійснення етапів (a), (b) і (c) виріб попередньо поміщають у порожнину матриці менших розмірів, ніж спочатку згадана порожнина, і піддають виріб дії внутрішнього тиску текучого середовища з метою розширення виробу до проміжних розміру і форми, менших ніж задані поперечний розмір і форма.

20. Спосіб за п.12, який **відрізняється** тим, що заготовка виконана у вигляді подовженого і спочатку, по суті, циліндричного виробу, що має відкритий кінець, протилежний закритому кінцю, причому діаметр заготовки перевищує діаметр зазначеної горловинної частини пляшки, при цьому після здійснення етапів (a), (b) і (c) виріб піддають операції обертального формування на ділянці поблизу відкритого кінця для утворення горловинної частини зменшеного діаметра.

21. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що заготовку виготовляють з алюмінію.

22. Спосіб за п.21, який **відрізняється** тим, що перед здійсненням етапу (a) заготовку виготовляють з листа алюмінію, що має рекристалізовану чи відновлену мікроструктуру і товщину в межах приблизно від 0,25 до 1,5 мм.

23. Спосіб за п.22, який **відрізняється** тим, що заготовку виготовляють у вигляді циліндра із закритим кінцем шляхом багаторазової витяжки зазначеного листа чи пресуванням зворотним методом.

24. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що на етапі (b) тиск текучого середовища усередині заготовки проходить три послідовні стадії: (i) підвищення до першого максимуму до початку розширення заготовки, (ii) падіння до мінімального значення після початку розширення заготовки, (iii) поступове підвищення до проміжного значення у міру розширення заготовки, але до її неповного входження в контакт зі стінкою матриці, і (iv) підвищення від зазначеного проміжного значення при завершенні розширення заготовки, при цьому на етапі (c) пуансон починають переміщати з метою зсуву і деформації закритого кінця заготовки, по суті, наприкінці стадії (iii).

25. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що на етапі (b) закритий кінець заготовки набуває збільшеної і, по суті, півсферичної конфігурації при входженні зазначеної частини заготовки в первинний контакт зі стінкою матриці на етапі (b), при цьому на етапі (c) пуансон починають переміщати для зсуву і деформації закритого кінця заготовки, по суті, в момент набрання закритим кінцем зазначеної конфігурації.

26. Спосіб за п.2, який **відрізняється** тим, що внутрішній і зовнішній надлишкові тиски текучого середовища, одночасно прикладені до заготовки, незалежно регулюють з метою зміни різниці між цими тисками, тим самим регулюючи швидкість деформації заготовки.

27. Спосіб за п.3, який **відрізняється** тим, що заготовку нагрівають за допомогою нагрівальних засобів, розташованих у пуансоні, з метою створення в заготовці температурного градієнта в напрямку від закритого дна угору.

28. Спосіб за п.3, який **відрізняється** тим, що заготовку нагрівають за допомогою нагрівальних засобів, розташованих у матриці навколо верхньої частини заготовки, з метою створення у заготовці температурного градієнта в напрямку від зазначеної верхньої частини униз.

29. Спосіб за п.27 чи 28, який **відрізняється** тим, що заготовку нагрівають за допомогою нагрівальних засобів, розташованих у бічних стінках матриці.

Даний винахід відноситься до способу формування металевих контейнерів і подібних виробів, який використовує внутрішній тиск текучого середовища для розширення порожнистої металевої заготовки чи виробу в порожнині матриці. Важливий аспект винаходу відноситься до способів формування алюмінієвих чи інших металевих фасонних контейнерів, наприклад, таких, що мають форму асиметричної пляшки.

Металеві банки добре відомі і широко використовуються для напоїв. Існуючі корпуси банок для напоїв, або цільні банки зі стоншеним при витяганні корпусом, або корпуси, відкриті з обох кінців (з окремими "кришками" зверху і знизу), звичайно мають прості вертикальні циліндричні бічні стінки. Іноді бажано, наприклад, з міркувань естетики, привабливості для споживача та/або ідентифікації продукту, надавати бічним стінкам металевого контейнера для напоїв більш складну форму і, зокрема, виконувати металевий контейнер у формі пляшки, а не у формі простого циліндра. Однак таку конфігурацію не можна одержати за допомогою звичайних операцій, використовуваних для виготовлення банок.

Для цих та інших цілей необхідні зручні й ефективні способи надання заготовкам "пляшкоподібних" чи інших складних форм. Крім того, бажано використовувати такі технології, що забезпечили б формування фасонних контейнерів без радіальної симетрії, що дозволить збільшити різноманітність одержуваних конфігурацій.

[У патенті США №3040684] описується пристрій для формування дверних ручок із заготовок з використанням матриці і гідравлічного тиску. Заготовку поміщають у порожнину матриці, заповнюють гідравлічною рідиною і запечатують. Потім матрицю закривають, переміщають нижній плунжер угору, змушуючи стінки заготовки приймати форму порожнини матриці. Під час цієї операції об'єм текучого середовища не змінюється, і розширення заготовки забезпечується переміщенням плунжера.

[У патенті США №4362037] описаний інший пристрій для формування дверної ручки, у якому використовується рознімна матриця. Заготовка є частково відформованою дверною ручкою, круглий зовнішній торець якої поміщають у нижню матрицю. Верхня матриця має порожнину, ділянки бічних стінок якої визначають остаточну форму ручки. Цією верхньою матрицею натискають униз на заготовку, що спирається на нижню матрицю. Потім усередину заготовки нагнітають рідину, тим самим змушуючи заготовку приймати форму порожнини матриці.

[У патенті США №6182487] описується спосіб виготовлення металевої посудини, який використовує рознімну матрицю, що складається з нерухомої і рухомої матриць. Спочатку формують циліндр, дно якого приварюють до оболонки, після чого циліндр установлюють нижнім торцем у рухомій матриці, а відкритий кінець циліндра кріпиться до нерухомої матриці. Через нерухому матрицю до циліндра подають тиск, а рухому матрицю змикають з нерухомою для формування посудини.

Даний винахід забезпечує спосіб формування металевого контейнера заданої форми і заданих поперечних розмірів, відповідно до якого розміщають у порожнині матриці порожнисту металеву заготовку, що має закритий кінець. Порожнина матриці оточена стінкою матриці, що визначає зазначені форму і поперечні розміри. У одного з кінців порожнини розташований пуансон з можливістю переміщення усередину порожнини. Закритий кінець заготовки розміщають у напрямку та поблизу пуансона, при цьому щонайменше частина заготовки спочатку має зазор зі стінками матриці. Заготовку піддають дії внутрішнього тиску текучого середовища для розширення заготовки назовні до входження по суті в повний контакт зі стінками матриці з метою надання заготовці заданої форми і заданих поперечних розмірів. Тиск текучого середовища діє на закритий кінець заготовки із зусиллям, спрямованим убік зазначеного кінця порожнини. Пуансон переміщають усередину порожнини або до початку розширення заготовки, або після початку, але до завершення розширення заготовки, для входження в контакт із закритим кінцем заготовки і зсуву цього кінця в напрямку, протилежному напрямку зусилля дії текучого середовища на зазначений закритий кінець заготовки. У результаті забезпечується деформування закритого кінця заготовки. Переміщення пуансона здійснюють за допомогою плунжера, здатного прикладати достатнє зусилля до пуансона для зсуву і деформації заготовки. Цей спосіб іноді називають способом плунжерного формування під тиском (PRF-формування), оскільки контейнер формується як за рахунок прикладеного внутрішнього тиску текучого середовища, так і за рахунок переміщення пуансона плунжером.

Іншою особливістю винаходу є те, що пуансон має фасонну поверхню, а закритий кінець заготовки деформують для відповідності цій фасонній поверхні. Наприклад, пуансон може мати куполоподібний профіль, так що закритий кінець заготовки при деформації набуває форми купола.

Задана форма, якої набуває контейнер, може бути формою пляшки, що включає горловинну частину і корпусну частину, яка має більші поперечні розміри, ніж горловинна частина. Порожнина матриці .і заготовка мають подовжні осі, причому заготовку розміщають по суті співвісно з порожниною, а пуансон переміщають уздовж подовжньої осі порожнини.

У кращому варіанті стінка матриці містить складову частину, виконану з можливістю відокремлення для видалення сформованого контейнера. У випадку рознімної матриці задана форма може бути асиметричною по відношенню до подовжньої осі порожнини.

Для обмеження осьового подовження заготовки під впливом тиску текучого середовища доцільно, щоб спочатку, тобто до прикладання тиску текучого середовища, пуансон розташовувався поблизу закритого кінця заготовки чи у контакті з ним. Переміщення пуансона може починатися після того, як розширювана нижня частина заготовки увійшла в контакт зі стінкою матриці.

Краще, щоб заготовка для формування кон-

тейнера у виді пляшки чи подібної конфігурації була виконана у виді подовженого і спочатку по суті циліндричного виробу, що має відкритий кінець, протилежний закритому кінцю виробу. У конкретних варіантах здійснення даного винаходу діаметр такого виробу може по суті дорівнювати діаметру горловинної частини контейнера у виді пляшки, а виріб має здатність до формування, достатню для розширення до заданої форми за одну операцію формування під тиском. Якщо така здатність до формування недостатня, то перш ніж приступати до PRF-формування, описаного вище, заготовку попередньо поміщають у порожнину матриці менших розмірів, ніж вищезгадана порожнина, і піддають у цій порожнині дії внутрішнього тиску текучого середовища, щоб розширити заготовку до проміжних розмірів і форми, менших за задані поперечні розміри і задану форму.

Альтернативно, якщо подовжений і спочатку по суті циліндричний виріб має більший первинний діаметр, ніж горловинна частина пляшки, то спосіб формування контейнера у виді пляшки може включати додатковий етап обертального формування виробу на ділянці поблизу його відкритого кінця для утворення горловинної частини зменшеного діаметра. Цей етап йде за виконанням PRF-формування.

Можна також зменшити діаметр горловинної частини заготовки шляхом звуження за допомогою протяжного кільця. Ця операція звуження за допомогою протяжного кільця може бути проведена до етапу розширення.

Заготовка може бути алюмінієвою (використовуваний тут термін "алюміній" позначає сплави на основі алюмінію, а також чистий алюміній) і може виготовлятися з листа алюмінію, що має рекристалізовану чи відновлену мікроструктуру і товщину в межах приблизно від 0,25 до 1,5мм. Заготовку можуть виготовляти у виді циліндра із закритим кінцем шляхом багаторазового витягання чи пресуванням зворотним методом.

Під час дії на заготовку внутрішнього тиску текучого середовища, тиск текучого середовища усередині заготовки проходить ряд послідовних стадій: (i) підвищення до першого максимуму до початку розширення заготовки, (ii) падіння до мінімального значення після початку розширення, (iii) поступове підвищення до проміжного значення по мірі розширення заготовки, але до її неповного входження в контакт зі стінкою матриці, і (iv) підвищення від цього проміжного тиску при завершенні розширення заготовки. У кращому варіанті даного винаходу переміщення пуансона, який здійснює зсув і деформацію закритого кінця заготовки, у цій послідовності стадій зміни тиску починають наприкінці стадії (iii).

У процесі прикладання внутрішнього тиску текучого середовища закритий кінець заготовки набуває збільшеної і по суті напівсферичної конфігурації, коли заготовка входить у контакт зі стінкою матриці, при цьому переміщення пуансона починають по суті в той момент, коли закритий кінець заготовки набуває цієї конфігурації.

Крім того, відповідно до даного винаходу, прикладання до заготовки внутрішнього тиску текучого середовища є одночасним прикладенням до заготовки, що знаходиться у порожнині, надлишкового внутрішнього тиску текучого середовища і надлишкового зовнішнього тиску текучого середовища, причому надлишковий внутрішній тиск більше надлишкового зовнішнього тиску. Внутрішній і зовнішній тиски забезпечуються, відповідно, двома баричними системами, що мають незалежне регулювання. Швидкість деформації заготовки регулюють шляхом незалежного регулювання внутрішнього і зовнішнього надлишкових тисків текучого середовища, прикладених одночасно до заготовки, з метою зміни різниці між цими тисками. В результаті усуваються труднощі, зв'язані з надмірними швидкостями деформації, і досягаються додаткові позитивні результати, наприклад, зменшення гідростатичних напруг, здатних викликати ушкодження мікроструктури стінок контейнера.

Наступна особливість даного винаходу полягає в тому, що під час розширення заготовки доцільно здійснювати її нагрів, наприклад, створюючи у заготовці певний температурний градієнт. Шляхом додавання до пуансона нагрівачів у заготовці створюється температурний градієнт, спрямований знизу угору. Для створення у заготовці температурного градієнта, спрямованого зверху донизу, нагрівачі можуть встановлюватися у верхній частині матриці. Можливе вбудовування додаткових нагрівачів у бічні стінки матриці. Введення температурного градієнта під час розширення заготовки дозволяє визначити момент початку розширення і поліпшує формівність.

Також було встановлено доцільність контакту пуансона із заготовкою перед початком розширення, а також доцільність створення пуансоном певного осьового навантаження протягом усього процесу розширення. У тих випадках, коли пуансон прикладає певне осьове навантаження до закритого кінця заготовки протягом усього процесу розширення, краще не здійснювати зсув і деформацію закритого кінця заготовки до завершення розширення.

Інші ознаки і переваги даного винаходу будуть зрозумілі з нижченаведеного детального опису і прикладених креслень.

На Фіг.1 як приклад реалізації приведене спрощене і, до деякої міри, схематичне зображення в перспективі устаткування для здійснення способу за даним винаходом.

На Фіг.2А і 2В, подібних до Фіг.1, показані послідовні етапи здійснення першого варіанта способу за даним винаходом.

На Фіг.3 показаний графік залежності внутрішнього тиску і переміщення плунжера як функції часу при використанні як текучого середовища повітря; графік ілюструє часову залежність між операціями дії на заготовку внутрішнього тиску текучого середовища і переміщення пуансона у способі за даним винаходом.

На Фіг.4В, 4С і 4D, подібних до Фіг.1, показані послідовні етапи здійснення другого варіанта способу за даним винаходом.

На Фіг.5А і 5В, подібних до Фіг.1, приведене спрощене схематичне зображення в перспективі етапу обертального формування, що ілюструє послідовні стадії здійснення третього варіанта способу за даним винаходом.

На Фіг.6А, 6В, 6С і 6D показані одержані шляхом комп'ютерної обробки схематичні зображення у вертикальному розрізі послідовних етапів способу за даним винаходом.

На Фіг.7 приведений графік зміни тиску як функції часу (з використанням довільних одиниць часу), що ілюструє ознаку одночасного прикладення незалежно регульованих надлишкових внутрішнього і зовнішнього тисків текучого середовища на заготовку, що знаходиться в порожнині матриці, і дозволяє зробити порівняння з випадком зміни внутрішнього тиску (як на Фіг.3) при відсутності надлишкового зовнішнього тиску.

На Фіг.8 приведений графік зміни деформації як функції часу, одержаний з використанням методу кінцевих елементів, що показує деформацію для одного конкретного положення (елемента) при двох різних режимах тиску, які порівнюються на Фіг.7.

На Фіг.9 приведений графік, подібний до приведеного на Фіг.7, що ілюструє певний регулюючий механізм, який може використовуватися в способі формування у випадку одночасної дії внутрішнього і зовнішнього надлишкових тисків текучого середовища на заготовку в порожнині матриці.

Фіг.10 схематично ілюструє заготовку, що розширюється, у випадку використання пуансона, що нагрівається.

На Фіг.11 приведений графік, що показує навантаження на пуансон, внутрішні тиски і переміщення пуансона під час розширення заготовки.

Фіг.12 ілюструє в перспективі етапи виготовлення заготовки з плоского диска.

Винахід описується за допомогою його реалізації в способах формування фасонних алюмінієвих контейнерів, форма яких не обов'язково повинна бути вісесиметричною, тобто радіально симетричною по відношенню до геометричної осі контейнера, які використовують комбінацію гідравлічного тиску, тобто, внутрішнього тиску текучого середовища, і формування з використанням плунжера, так звану технологію плунжерного формування під тиском (PRF-формування).

Процес PRF-формування має два різних етапи: виготовлення заготовки і наступне формування цієї заготовки в готовий контейнер. Існує кілька варіантів повного циклу формування, і належний вибір визначається здатністю до формування використовуваного листового алюмінію.

Заготовку виготовляють з листа алюмінію, що має рекристалізовану чи відновлену мікроструктуру і товщину в межах від 0,25 до 1,5мм. Заготовка є циліндром із закритим кінцем і може виготовлятися, наприклад, шляхом багаторазового витягання чи пресування зворотним методом. Діаметр заготовки знаходиться в межах від мінімального до максимального діаметра одержуваного готового контейнера. До виконання наступних операцій формування на заготовку може бути нанесена різь. Профіль закритого кінця заготовки може проектуватися . таким чином, щоб він сприяв формуванню профілю дна готового виробу.

Як показано на Фіг.1, устаткування для пропонованого способу включає рознімну матрицю 10 з фасонною порожниною 11, що визначає форму пляшки з вертикальною віссю, пуансон 12, профіль якого призначений для формування визначеного дна контейнера (у показаних варіантах, наприклад, пуансон має куполоподібний профіль для надання дну готового контейнера форми купола), і плунжер 14, що прикріплений до пуансона. На Фіг.1 показана лише одна з двох половин рознімної матриці. Друга половина є дзеркальним відображенням показаної першої половини. Зрозуміло, що обидві половини стикуються у площині, що містить геометричну вісь пляшки, визначувану стінкою порожнини 11 матриці.

Мінімальний діаметр порожнини матриці 11 на її верхньому відкритому кінці 11а, що відповідає горловині порожнини у виді пляшки, дорівнює зовнішньому діаметру заготовки (див. Фіг.2А), що поміщається у порожнину, з допуском на зазор. Спочатку заготовка розташовується над пуансоном 12 і має на відкритому кінці 11а нагнітальний фітинг 16 (показаний схематично) для забезпечення внутрішнього тиску. Нагнітання може здійснюватися, наприклад, шляхом з'єднання з різзю, відформованою на верхньому відкритому кінці заготовки, чи за допомогою введення трубки у відкритий кінець заготовки і створення ущільнення за допомогою рознімної матриці чи іншого нагнітального фітинга.

Етап нагнітання включає подачу усередину порожнистої заготовки текучого середовища, наприклад води чи повітря під тиском, достатнім для розширення заготовки усередині порожнини настільки, що стінка заготовки по суті цілком притиснеться до стінки, яка визначає порожнину матриці, завдяки чому заготовці будуть надані форма і поперечні розміри цієї порожнини. Загалом кажучи, використовуване текуче середовище може бути стисливим чи нестисливим і може мати будь-яку масу, витрату, обсяг чи тиск із регулюванням цих параметрів таким чином, щоб регулювати тиск, дії якого зазнають стінки заготовки. При виборі текучого середовища необхідно враховувати температурні умови, використовувані в процесі формування. Якщо цим середовищем є, наприклад, вода, то температура повинна бути нижче 100°С, а якщо потрібна більш висока температура, таким середовищем повинний бути газ, наприклад повітря, чи рідина, що не закипає при температурі формування.

У результаті проведення етапу нагнітання усі фасонні деталі стінки матриці переносяться в дзеркальному відображенні на поверхню готового контейнера. Навіть якщо такі деталі чи загальна форма контейнера, що виготовляється, не є вісесиметричними, контейнер легко виймається з устаткування завдяки використанню рознімної матриці.

У конкретному варіанті винаходу, показаному на Фіг.2А і 2В, заготовка 18 є порожнистим циліндричним виробом з алюмінію із закритим нижнім кінцем 20 і відкритим верхнім кінцем 22. Зовнішній діаметр заготовки дорівнює зовнішньому діаметру горловини пляшки, що формується. Формувальна напруга при PRF-формуванні знаходиться в межах, обумовлених здатністю заготовки до формування, що залежить від температури і швидкості деформації. Якщо заготовка має належну здатність до формування, форма порожнини 11 мат-

риці виконується точно такою, яка повинна бути у готового виробу, і даний виріб може бути виготовлений за допомогою однієї операції PRF-формування. Рух плунжера 14 та інтенсивність внутрішнього нагнітання такі, щоб звести до мінімуму напруги при формуванні і виготовити контейнер необхідної форми. Горловина і бічні стінки утворюються головним чином в результаті розширення заготовки під дією внутрішнього тиску, у той час як форма дна визначається в основному рухом плунжера і пуансона 12, при цьому профіль поверхні пуансона повернений до закритого кінця 20 заготовки.

При реалізації даного винаходу велике значення має належна синхронізація подачі внутрішнього тиску текучого середовища і керування плунжером та пуансоном, тобто, їхнього переміщення усередину порожнини. На Фіг.3 показаний графік, побудований шляхом комп'ютерного моделювання (послідовність результатів аналізу за методом кінцевих елементів), який показує процес формування, представлений на Фіг.2А і 2В, з використанням стиснутого повітря і регулюванням витрати. Графік ілюструє залежності тиску і переміщення плунжера від часу. Як зрозуміло з Фіг.3, усередині заготовки текуче середовище створює тиск, що проходить ряд послідовних етапів: (i) підвищення до першого максимуму 24, перш ніж почнеться розширення заготовки, (ii) падіння до мінімального значення 26, коли починається розширення, (iii) поступове підвищення до проміжної величини 28 по мірі розширення заготовки, але до входження в повний контакт зі стінками матриці, і (iv) більш швидке підвищення (у точці 30) від цієї проміжної величини під час завершення розширення заготовки. У кращому варіанті здійснення винаходу переміщення пуансона для зсуву і деформації закритого кінця заготовки у зазначеній послідовності етапів зміни тиску починають (точка 32) по суті наприкінці етапу (iii). На графіку зазначені одиниці виміру часу, тиску і зсуву плунжера. На Фіг.6А, 6В, 6С і 6D показаний результат операцій із заготовкою, представлених на графіку за Фіг.3, одержаний за допомогою комп'ютерного моделювання, для моментів часу 0,0; 0,096; 0,134 і 0,21 секунди, відлічуваних по осі X на Фіг.3.

На початку нагнітання текучого середовища усередину порожнистої заготовки пуансон 12 розташовується під закритим кінцем заготовки в безпосередній близькості до нього, наприклад, у дотику, щоб обмежити осьове розтягнення заготовки під дією внутрішнього тиску, що прикладається. Тут передбачається вертикальна орієнтація осі устаткування, як показано на кресленні. Коли заготовка розширилася у значній мірі, хоча розширення ще не завершилося, пускають у хід плунжер 14 для примусового переміщення угору пуансона, що зсуває угору метал закритого кінця заготовки і деформує закритий кінець за формою поверхні пуансона, оскільки поперечне розширення заготовки під дією внутрішнього тиску завершене. Зсув закритого кінця заготовки угору не може спричинити рух заготовки угору відносно матриці чи випинання бічних стінок заготовки, як це могло б відбутися у випадку передчасного підйому плунжера, оскільки у той час, коли плунжер почав рухати пуансон угору, заготовка вже значно розширена.

На Фіг.4А-4D показаний другий варіант здійснення винаходу. У цьому варіанті, як і у випадку, показаному на Фіг.2А і 2В, циліндрична заготовка 38 має первинний зовнішній діаметр, що дорівнює мінімальному діаметру, тобто діаметру горловини готового виробу. Однак, у цьому варіанті передбачається, що деформація при PRF-формуванні перевищує границі формівності заготовки. У цьому випадку потрібні дві послідовні операції формування під тиском. Під час першої операції (ФІГ.4А і 4В) плунжер не потрібний, і відбувається звичайне розширення заготовки усередині звичайної рознімної матриці 40 до більшого діаметра виробу 38а за рахунок внутрішнього тиску. Друга операція є процесом PRF-формування (Фіг.4С і 4D). У ній використовується виріб, одержаний первинним розширенням у рознімній матриці 40, а також рознімна матриця 42 з порожниною 44 у виді пляшки і пуансоном 46, переміщуваним плунжером 48. Таким чином, використовується як внутрішній тиск, так і рух плунжера. Під час цієї операції одержують готову пляшку заданої форми разом з усіма особливостями профілю бічних стінок і дна, що досягається головним чином за рахунок пуансона 46.

На Фіг.5А і 5В показаний третій варіант. У цьому варіанті заготовку 50 виготовляють таким чином, що її первинний зовнішній діаметр більше заданого мінімального зовнішнього діаметра, який звичайно є діаметром горловини готового контейнера у виді пляшки. Вибір такої заготовки може здійснюватися, виходячи з границь формування на стадії попереднього формування, чи з метою зменшення напруг при PRF-формуванні. Внаслідок цього одержання готового виробу повинне включати і поперечне стиснення, і поперечне розширення заготовки, і тому не може здійснюватися шляхом тільки PRF-формування. Для формування стінок і дна використовується одна операція PRF-формування, показана на Фіг.5А, з використанням рознімної матриці 52 і пуансона 54, що приводиться в рух плунжером, як і у варіанті, показаному, на Фіг.2А і 2В. Для одержання необхідної конфігурації горловини контейнера потрібне обертальне формування чи інша відповідна операція. Як показано на ФІГ.5В, можна використовувати операцію обертального формування, запропоновану, наприклад, [у патентній заявці США 09/846169 від 1 травня 2001р.], що розглядається одночасно з даною заявкою, де для формування горловини пляшки 60 використовуються кілька пар дисків 56 обертального формування і конусна оправка 58.

Описана вище операція PRF-формування на практиці може виявитися зв'язаною з великими деформаціями. Тому склад сплаву підбирають чи регулюють таким чином, щоб забезпечити визначений компроміс між необхідними властивостями виробу і кращою формівністю. Якщо потрібна ще краща формівність, то можна регулювати температуру формування так, як це описано нижче, оскільки підвищення температури поліпшує формівність, і, отже, для збільшення формівності може знадобитися проведення операції чи операцій PRF-формування при підвищених температурах та/або відновний відпал заготовки.

Пропонована технологія відрізняється від ві-

домих операцій штампування, наприклад, формування видуванням контейнерів з поліетилентерефталату, зокрема, тим, що додається зовнішній формувальний елемент у виді пуансона. Внутрішній пуансон, іноді використовуваний при формуванні видуванням пляшок з поліетилентерефталату, не потрібний. Заявникам не відомий існуючий спосіб виготовлення фасонного алюмінієвого контейнера, діаметри якого знаходилися б у такому діапазоні, що досягається у даному винаході. Також заявникам не відомий існуючий спосіб одержання асиметричного профілю, наприклад, з ніжками на дні чи спіральними поясками на бічній поверхні контейнера.

Пропонований спосіб може також використовуватися для формування контейнерів з інших матеріалів, наприклад, зі сталі.

Значимість переміщення пуансона 12, що приводиться плунжером, усередину порожнини 11 для зсуву і деформації закритого кінця 20 заготовки-18, як показано на Фіг.2А і 2В, може бути далі пояснена з посиланням на Фіг.3 (див. вище), розглянуту разом з Фіг.6А-6D, де пунктирна лінія представляє вертикальний профіль порожнини 11 матриці, а переміщення (у міліметрах) куполоподібного пуансона 12 у різні моменти часу після початку прикладання внутрішнього тиску показано на шкалі праворуч від пунктирної лінії.

При формуванні алюмінієвої пляшки плунжер виконує дві важливі функції: обмежує деформацію розтягання в осьовому напрямку і формує дно контейнера. Спочатку пуансон 12, що приводиться плунжером, утримують у безпосередній близькості від дна заготовки 18 чи в легкому дотику з ним (Фіг.6А). Це зменшує осьове розтягання бічних стінок заготовки, що відбувалося б у противному випадку під дією внутрішнього тиску. Таким чином, при збільшенні внутрішнього тиску бічні стінки заготовки будуть розширюватися до входження в контакт із внутрішньою поверхнею матриці без істотного подовження. Звичайно спочатку розширюється центральна ділянка заготовки, і ця область розширення буде збільшуватися уздовж заготовки, як угору, так і вниз. У певний момент часу дно заготовки набуває майже напівсферичної форми з радіусом, приблизно рівним радіусу порожнини матриці (Фіг.6В). Саме в цей момент часу чи безпосередньо перед ним необхідно привести в дію плунжер для переміщення пуансона 12 угору (Фіг.6С). Профіль дна контейнера цілком визначається конфігурацією носової частини плунжера, тобто формою поверхні пуансона. Як тільки під впливом внутрішнього тиску текучого середовища закінчується формування заготовки за формою стінок порожнини матриці (порівняйте плічка і горловину пляшки на Фіг.6В, 6С і 6D), рух плунжера в сполученні з внутрішнім тиском притискає дно заготовки до профільної поверхні пуансона, завдяки чому забезпечується необхідна форма (Фіг.6D) без надмірних деформацій розтягання, що могли б призвести до руйнування. За рахунок руху плунжера угору до напівсферичної області заготовки прикладають стискувальне зусилля і тим самим зменшують загальну напругу, викликувану підвищенням тиску, та сприяють радіальному плину матеріалу назовні для заповнення рельєфних ділянок носової частини пуансона.

Якщо плунжер переміщають занадто рано у порівнянні зі швидкістю підвищення внутрішнього тиску, можливі випинання і поява складок на заготовці під дією осьових зусиль стиску. Якщо ж плунжер переміщають занадто пізно, то матеріал буде зазнавати надмірної напруги в осьовому напрямку, отже, руйнуватися. Таким чином, для успішного виконання операції формування необхідна координація швидкості підвищення внутрішнього тиску і переміщення плунжера з носовою частиною пуансона. Належна синхронізація найкраще досягається при використанні аналізу за методом кінцевих елементів (FEA). Результати такого аналізу показані на Фіг.3.

Досі даний винахід описувався та ілюструвався прикладом, приведеним на Фіг.3, так, як би на зовнішню поверхню заготовки, що знаходиться в порожнині матриці, не діяв ніякий надлишковий, наприклад, надбарометричний, тиск текучого середовища. У цьому випадку зовнішній тиск на заготовку, що знаходиться в порожнині матриці, є в основному зовнішнім атмосферним тиском. Коли заготовка розширюється, повітря, що знаходиться в порожнині, буде видалятися внаслідок поступового зменшення об'єму між зовнішньою поверхнею заготовки і стінками матриці через придатний випускний отвір чи канал, який передбачений з цією метою і з'єднує порожнину матриці з зовнішнім середовищем.

Як було встановлено за допомогою аналізу за методом кінцевих елементів на конкретному прикладі алюмінієвих контейнерів, під час відсутності якого-небудь надлишкового зовнішнього тиску пластична деформація (плин) заготовки, що вже почалася, викликає дуже велику і фактично неконтрольовану швидкість деформації. Це обумовлено низькою чи нульовою швидкістю механічного зміцнення алюмінієвих сплавів при робочій температурі процесу PRF-формування, наприклад, близько 300°С.

Іншими словами, при таких температурах швидкість механічного зміцнення алюмінієвих сплавів фактично дорівнює нулю, і зі збільшенням швидкості деформації пластичність (тобто границя формування) зменшується. Таким чином, зі збільшенням швидкості деформації при формуванні і зменшенням пластичності алюмінію можливості формування контейнерів заданої остаточної форми скорочуються.

Іншою важливою особливістю винаходу є дія на зовнішню поверхню заготовки, що знаходиться в порожнині матриці, надлишкового тиску текучого середовища одночасно з дією надлишкового тиску текучого середовища на внутрішню поверхню заготовки. Ці надлишкові зовнішній і внутрішній тиски текучого середовища створюються двома незалежно регульованими баричними системами. Надлишковий зовнішній тиск текучого середовища можна без ускладнень забезпечити шляхом підключення незалежно регульованого джерела надлишкового тиску текучого середовища до вищезгаданого випускного отвору чи каналу таким чином, щоб підтримувати надлишковий тиск у просторі між матрицею і заготовкою, що розширюється.

На Фіг.7 і 8 порівнюються графіки тиску і деформації як функції часу для процесу PRF-формування контейнера з регулюванням надлишкового зовнішнього тиску та без нього. Термін "деформація" позначає подовження на одиницю довжини, створюване в тілі заготовки зовнішньою силою. Крива 101 на Фіг.7 відповідає кривій "Тиск" на Фіг.3 для випадку, коли на заготовку не діє надлишковий зовнішній тиск текучого середовища. Крива 103 на Фіг.8 є результуючою деформацією для одного конкретного положення (елемента), визначеною за методом кінцевих елементів. Легко бачити, що в цьому випадку деформація зростає майже миттєво, і заготовка розширюється до входження в контакт зі стінками матриці при дуже високих швидкостях деформації за дуже короткі проміжки часу. Навпроти, криві 105, 107 і 109 на Фіг.7 показують, відповідно, надлишковий внутрішній тиск текучого середовища, надлишковий зовнішній тиск текучого середовища і різницю цих тисків, коли ці незалежно регульовані тиски одночасно прикладаються до заготовки в порожнині матриці. Внутрішній тиск більше зовнішнього, тому має місце результуючий надлишковий тиск, необхідний для розширення заготовки. Крива 111 на Фіг.8 представляє колову деформацію, тобто деформацію, створювану в горизонтальній площині по окружності заготовки під час її розширення, для випадку незалежно регульованих внутрішнього і зовнішнього тисків, показаних кривими 105, 107 і 109. Як легко бачити, колова деформація, показана кривою 111, досягає того ж кінцевого значення, що і крива 103, але за набагато триваліший час і, отже, з набагато меншою швидкістю деформації. Крива 115 на Фіг.8 представляє осьову деформацію, тобто деформацію, створювану у вертикальному напрямку під час подовження заготовки.

Повний контроль операції формування, а також запобігання дуже великим і неконтрольованим швидкостям деформації досягаються одночасним прикладанням внутрішнього і зовнішнього надлишкових тисків, регульованих незалежно і діючих на заготовку в порожнині матриці, і крім того, зміною різниці цих тисків. Збільшення пластичності заготовки і, тим самим, підвищення границі формування, пояснюється двома причинами. По-перше, зменшення швидкості деформації під час операції формування підвищує власну пластичність алюмінієвого сплаву. По-друге, введення надлишкового зовнішнього тиску знижує, можливо, до негативних значень, гідростатичні напруги в стінках заготовки, що розширюється. Це здатно зменшити пагубний ефект руйнування, зв'язаний з мікропорами та інтерметалевими частинками в металі. Тут термін "гідростатична напруга" позначає середнє арифметичне трьох взаємоперпендикулярних напруг, спрямованих по осях x, y і z.

Ця особливість винаходу розширює можливості PRF-формування для успішного виготовлення алюмінієвих контейнерів у виді пляшок чи подібної форми . шляхом регулювання швидкості деформації і зменшення гідростатичної напруги в металі під час формування.

Вибір різниці тисків визначається властивостями металу, з якого виконана заготовка. Особливо слід враховувати границю плинності і швидкість механічного зміцнення металу. Для забезпечення пластичного, тобто непружного, плину матеріалу заготовки, різниця тисків повинна бути такою, щоб ефективне значення напруги в заготовці перевищувало границю плинності. Якщо має місце позитивна швидкість механічного зміцнення, то фіксована ефективна напруга, яка забезпечується тиском і перевищує границю плинності, буде викликати деформацію металу до рівня напруг, що дорівнює прикладеній ефективній напрузі. У цей момент швидкість деформації наближається до нуля. У випадку дуже низької чи нульової швидкості механічного зміцнення метал буде деформуватися з високою швидкістю до входження у контакт зі стінками прес-форми (матриці) чи до руйнування. При підвищених температурах, можливих під час PRF-формування, швидкість механічного зміцнення алюмінієвих сплавів близька до нуля.

Для прикладання як внутрішніх, так і зовнішніх тисків придатні, наприклад, азот, повітря й аргон, причому даний перелік не є вичерпним, а також будь-які суміші цих газів,

Швидкість пластичної деформації в будь-якій точці стінки заготовки в будь-який момент часу залежить тільки від миттєвої ефективної напруги, яка у свою чергу залежить від різниці тисків. Вибір зовнішнього тиску залежить від внутрішнього тиску, і здійснюється за загальним принципом досягнення і регулювання ефективної напруги, отже, швидкості деформації, у стінці заготовки.

На Фіг.9 показаний інший механізм регулювання, що може використовуватися в процесі формування. Для оптимізації процесу одночасно застосовується метод кінцевих елементів. На Фіг.9 крива 120 представляє внутрішній тиск (Pin), що діє на заготовку, крива 122 - зовнішній тиск (Pout), що діє на заготовку, а крива 124 - різницю зазначених тисків (Pdiff=Pin-Pout). Цей графік показує характер зміни тиску в одному зі способів регулювання. У даному випадку маса текучого середовища у внутрішній порожнині залишається постійною, а тиск у зовнішній порожнині, тобто ззовні заготовки, знижується за лінійним законом. При моделюванні також враховуються властивості матеріалу, що залежать від швидкості деформації. Такий механізм регулювання в даний час є найкращим, оскільки спрощує технологічний процес.

Фіг.10 відноситься до іншого варіанту здійснення винаходу, при якому заготовку нагрівають зі створенням градієнта температури. Як показано на Фіг.10, пуансон 12 знаходиться в контакті з дном заготовки 18 і містить нагрівальний елемент 19. Цей елемент нагріває заготовку знизу угору, викликаючи збільшення розширення заготовки знизу угору при збільшенні внутрішнього тиску.

На Фіг.11 представлені графіки, що ілюструють процес розширення. Одна крива показує переміщення плунжера і пуансона, а інша - зміну навантаження, що діє на плунжер і пуансон, у залежності від часу. Третя крива характеризує внутрішній тиск у заготовці.

В точці А плунжер попередньо навантажують стискувальним зусиллям 22,7кг, а в точці В у заготовку подають внутрішній тиск, який підтримується на рівні 1,14МПа. У показаному процесі положення

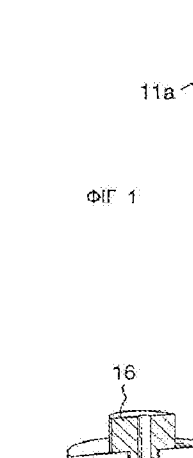
плунжера між точками B і C змінюється стрибкоподібно для підтримання діючого на плунжер зусилля стиску 68кг. Коли навантаження на плунжер перестають швидко зменшуватися після переміщення плунжера (від точки C до точки D), плунжер продовжує переміщатися до відмітки приблизно 25 мм і навантаження приблизно 454 кг (точка E). Під час цього лінійного переміщення плунжера від точки D до точки E відбувається формоутворення дна контейнера одночасно з розширенням заготовки, так що точка E відповідає завершенню формування контейнера.

На Фіг.11 показаний стрибкоподібний процес, але можливо також розширення і формування заготовки в контейнер за одну плавну операцію, наприклад, при використанні комп'ютерного керування даним процесом. Перевагою такої операції є створення температурного градієнта, коли при підйомі плунжера і пуансона розширення заготовки відбувається поступово від дна до верхньої частини. Було показано, що така технологія веде до поліпшення формівності у порівнянні з раніше описаними способами, у яких розширення відбувалося фактично одночасно по всій довжині заготовки.

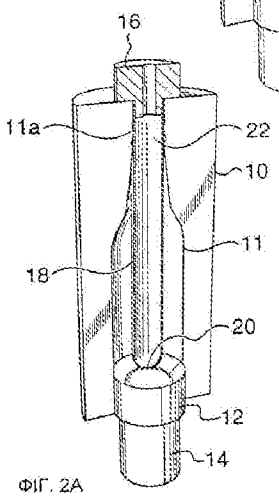
Хоча на Фіг.10 показаний лише один нагрівальний елемент усередині пуансона 12, для полегшення формування можна забезпечити кілька зон нагрівання. Наприклад, можна помістити окремий додатковий нагрівач навколо верхньої частини заготовки і кілька додаткових окремих нагрівачів усередині бічних стінок порожнини матриці. Шляхом незалежного підбирання температури в кожній з цих зон можна створити оптимальні динамічні умови розширення для різних видів контейнерів.

На Фіг. 12 показана типова послідовність виготовлення заготовки з плоского диска. Використовується стандартна технологія багаторазового витягання з алюмінієвого листа 70. Спочатку з листа формують порожній циліндр 71 із закритим кінцем, який шляхом повторного витягання трансформують у другий циліндр 72 меншого діаметра, що має довшу бічну стінку. Потім циліндр 72 витягають з утворенням циліндра 73, який далі витягають у ще довший та тонший циліндр 74.

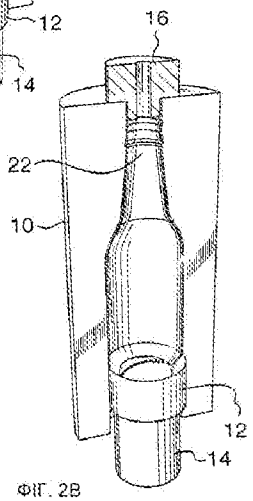
Зрозуміло, що винахід не обмежується способами і варіантами, описаними вище на конкретних прикладах, але може бути реалізований й іншими шляхами в межах його суті.



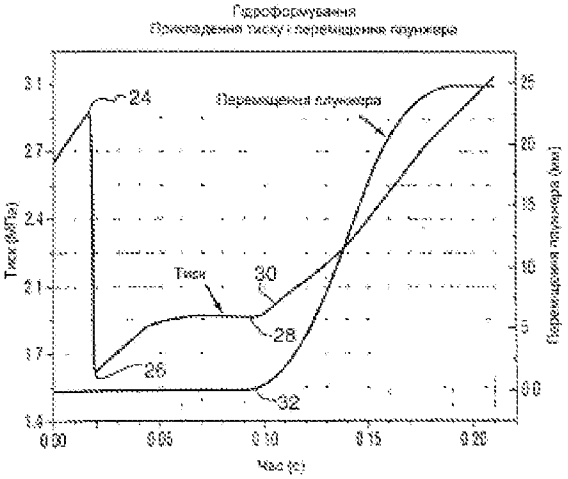
ФІГ. 1



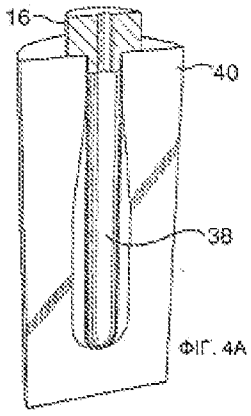
ФІГ. 2A



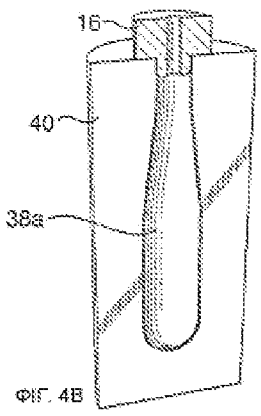
ФІГ. 2B



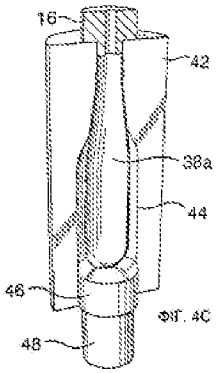
ФІГ. 3



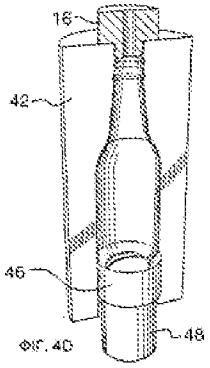
ФІГ. 4A



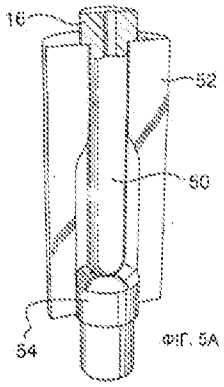
ФІГ. 4B



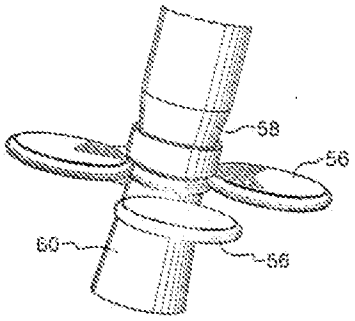
ФІГ. 4С



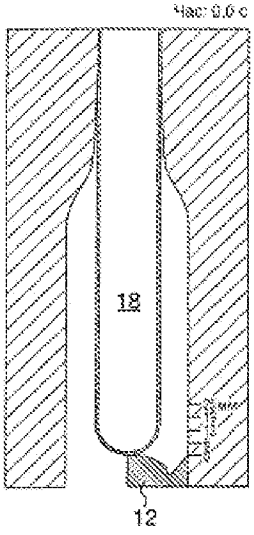
ФІГ. 4D



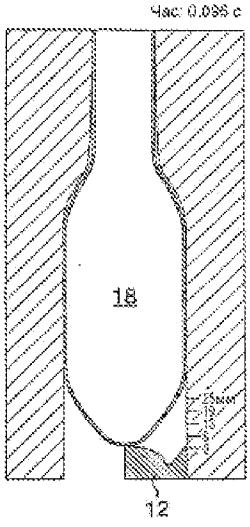
ФІГ. 5А



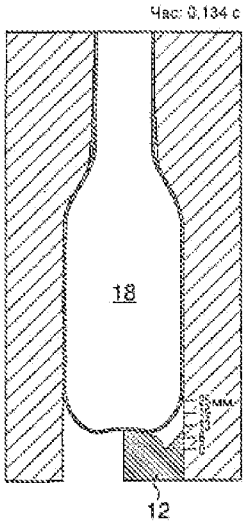
ФІГ. 5В



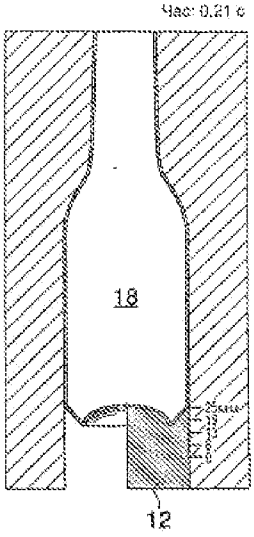
ФІГ. 6А



ФІГ. 6В



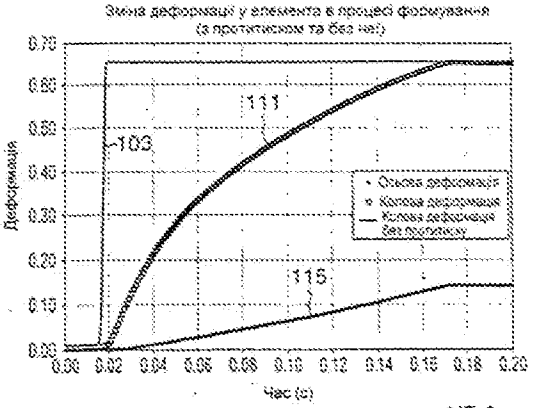
ФІГ. 6С



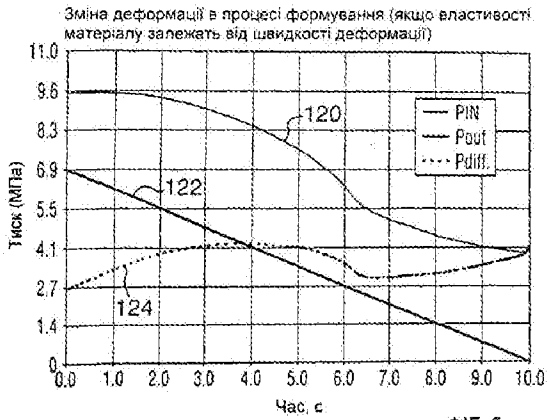
ФІГ. 6D



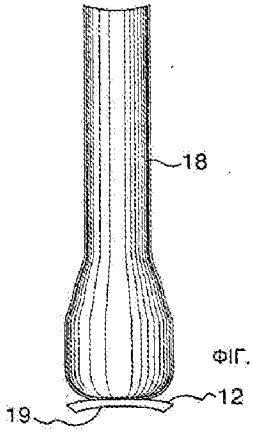
ФІГ. 7



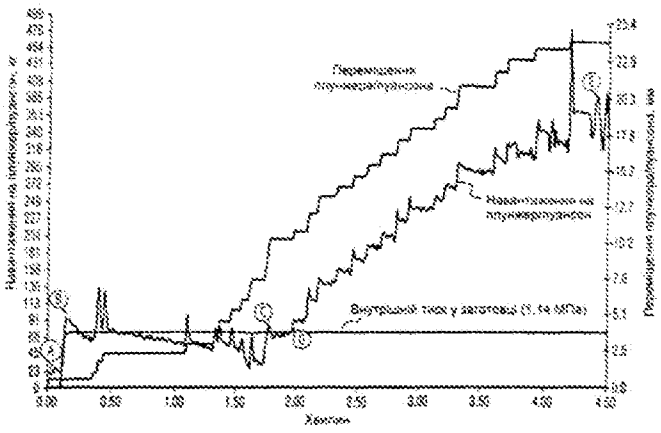
ФІГ. 8



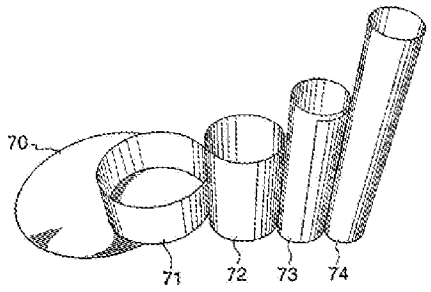
ФІГ. 9



ФІГ. 10



ФІГ. 11



ФІГ. 12

Комп'ютерна верстка Т. Чепелева Підписне Тираж 26 прим.

Міністерство освіти і науки України

Державний департамент інтелектуальної власності, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

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