

Даний винахід стосується способу дробоструминної обробки, яку називають "ультразвуковою", в якому використовують факел мікрокульок всередині камери, і, зокрема, способу дробоструминної обробки деталей на колесі, таких як п'р'я лопаток на роторі газотурбінного двигуна. Винахід стосується також дробометального апарату, що застосовується для реалізації даного способу.

Під терміном "колесо" розуміють предмет, що має основну форму, утворену обертанням навколо геометричної осі, при цьому даний предмет виконаний з можливістю обертання навколо цієї осі. Для підвищення міцності від утомленості механічних деталей з рівня техніки відомий спосіб дробоструминної обробки їх поверхні за допомогою струменя мікрокульок. Така технологія вельми поширена в авіаційній промисловості. Попадаючи на поверхню деталі під незначним відносно перпендикуляра до цієї поверхні кутом падіння і з достатньою кінетичною енергією, мікрокульки створюють постійну компресію поверхні на незначній глибині. Ця компресія протистоїть появі і поширенню тріщин на поверхні деталі, що дозволяє підвищити її міцність від утомленості. Звичайно цей кут падіння повинен бути меншим за  $30^\circ$ , щоб удари могли передавати достатню енергію від кульки на поверхню, що обробляється. Положення деталі при дробоструминній обробці повинно наближатися до оптимального, що сприяє приданню даної деталі максимальної міцності. Недостатня дробоструминна обробка не додає деталі передбаченої міцності, однак максимуму міцності можна ще досягнути шляхом додаткової дробоструминної обробки. З іншого боку, надмірна дробоструминна обробка приводить до поверхневого зносу деталі і пониження її міцності. Такий знос не підлягає відновленню, і деталь відбраковують.

Звичайно дробоструминну обробку здійснюють за допомогою сопел, в які одночасно подають стисле повітря і мікрокульки. Такий спосіб дробоструминної обробки має два недоліки:

- параметри дробоструминної обробки відрізняються нестійкістю, і дробометальний апарат необхідно часто контролювати і регулювати, якщо хочуть досягти близької до оптимальної дробоструминної обробки,
- спосіб необхідно здійснювати всередині камери досить великих розмірів, щоб мати можливість маніпулювати деталями і дробоструминними соплами.

У авіаційній промисловості відомий спосіб дробоструминної обробки боковин лопаток турбінних роторів літальних апаратів. Коли лопатки виготовляють окремо від колеса, кожна з них містить тонке перо і ніжку, призначену для закріплення лопатки. Для дробоструминної обробки тонкого пера лопатку втримують за ніжку, і дробоструминну обробку здійснюють за допомогою двох сопел, направлених одне проти одного по обидві сторони пера, при цьому перше сопло проводить дробоструминну обробку однієї боковини пера, а друге сопло - дробоструминну обробку його іншої боковини, причому обидва сопла повинні переміщатися вздовж боковин пера по можливості максимально синхронно, щоб досягнути симетричної прогресії дробоструминної обробки. Якщо такої симетрії не досягають, то під боковиною, що піддається обробці в більшій мірі, виникають піки напруження, які знижують зносостійкість лопатки і приводять до її деформації. Досягти такої симетрії і зберегти її досить складно через розкид і відхилення параметрів дробоструминної обробки, властиву даному способу. Стає зрозумілим, що близька до оптимальної дробоструминна обробка є тривалою і такою операцією, що дорого коштує, оскільки її необхідно здійснювати для кожної лопатки окремо і з великою точністю.

Намагалися також здійснювати дробоструминну обробку п'р'їв лопаток роторів нап'ям у таким же чином, при цьому ротори виконані у вигляді єдиного блоку "колесо + лопатки", і п'р'я лопаток утворюють на роторі виступи. Дробоструминної обробки повинні зазнавати боковини п'р'їв, а також поверхня ротора, яку називають звана "міжп'р'йовою", що тобто, розташовується між двома поряд стоячими п'р'ями і, можливо, навколо вказаних п'р'їв. Лопатки можуть монтуватися на роторі, або п'р'я можуть бути інтегровані в ротор шляхом виконання заодно з ним з того ж матеріалу.

Дробоструминну обробку виконують для кожної лопатки окремо таким чином:

- синхронно обробляють мікрокульками обидві боковини кожної лопатки за допомогою двох сопел з відхиленням струменем, проникаючим в міжп'р'йові простори, тобто в простори, що розташовуються між двома поряд стоячими п'р'ями, при цьому кожне сопло містить рефлектор для відхилення потоку мікрокульок на  $90^\circ$ , що додає йому нап'ям, перпендикулярний до боковин п'р'їв,

- після цього за допомогою прямоструйного сопла мікрокульками обробляють міжп'р'йовий простір ротора.

Недолік способу полягає в тому, що при дробоструминній обробці боковин п'р'їв і міжп'р'йового простору неминуче виникають ділянки перекриття в перехідній зоні між вказаними боковинами і міжп'р'йовим простором. Зрозуміло, що по суті ця перехідна зона зазнає дробоструминної обробки двічі.

Основним недоліком способу є те, що його неможливо застосовувати, коли міжп'р'йовий простір є дуже вузьким і в нього неможливо вводити сопла, що часто відбувається у випадку лопаткових робочих коліс, що виробляються в даний час. Фахівці поки не знають способу дробоструминної обробки боковин п'р'їв і міжп'р'йового простору, коли лопатки не є знімними.

З міжнародної публікації WO 95/17994, США є вказаною країною, відомий ультразвуковий дробометальний апарат, в якому застосовують титановий барабан, дно якого піддають вібрації за допомогою звукоходу сполученого з магніто-стрикційним вібратором. Деталі, що обробляються мікрокульками підвішують до кришки, що закріплюється на отворі барабана. Барабан піддають вібрації, і він утворює разом з кришкою камеру, всередині якої створюють мікрокульковий факел. Такий дробометальний апарат не дозволяє обробляти тонкі деталі, такі як п'р'я турбінних лопаток, оскільки мікрокульковий факел не є однорідним, зокрема, внаслідок того, що розподіл вібраційної енергії є дуже складним, і при ньому утворюються вузли і опуклості. Крім того, для дробоструминної обробки повністю укомплектованого ротора потрібний барабан великих розмірів, який є таким, що дорого коштує і вимагає потужного віброгенератора.

З патенту FR 2.689.431 відомий також спосіб дробоструминної обробки зубів шестерні, при цьому шестерню приводять у обертання перед звукоходом, а звукоход оточений екраном з стержнів, що втримуються за допомогою пружин, при цьому стержні входять в контакт із зубами і з шестернею і утворюють навколо звукоходу непроникну камеру, боки якої, що деформуються, повторюють профіль зубів і шестерні. Такий спосіб не може бути застосований для лопаткового колеса, оскільки:

- обробка боковин пір'їв буде дуже асиметричною,
- стержні не можуть автоматично повторювати профіль боковин пір'їв, які розташовані дуже близько один від одного і від радіального положення.

Крім того, дуже важко забезпечити оптимальну обробку, оскільки необхідно встановлювати високу точність для обробки всієї периферії колеса, не піддаючи при цьому додатковій обробці частину колеса, яка першою пройшла обробку.

Першою задачею є виконання дробоструминної обробки, коли боковини пір'їв лопаткового колеса розташовані дуже близько одне від одного, що заважає вводити дробометальні сопла.

Друга задача складається в обробці боковин пір'їв і міжпір'йового простору, не обробляючи при цьому двічі перехідні зони між пір'ями і міжпір'йовими просторами.

Третя задача складається в збільшенні швидкості дробоструминної обробки пір'їв міжпір'йового простору лопаткового колеса.

Четвертою задачею є поліпшення симетрії дробоструминної обробки на протилежних боковинах пір'їв.

Предметом даного винаходу є спосіб ультразвукової дробоструминної обробки деталей на колесах, яке містить кільцеву поверхню обертання з центром на геометричній осі обертання колеса, при цьому деталі розташовані на кільцевій поверхні на лінії по геометричному колу з центром на геометричній осі обертання і утворюють таким чином геометричну поверхню обертання, яку називають оболонкою, коли колесо обертається навколо своєї геометричної осі обертання, дробоструминну обробку здійснюють шляхом занурення деталей в мікрокульковий факел всередині активної камери, мікрокульковий факел активується віброуючою поверхнею всередині активної камери, при цьому колесо приводиться у обертання навколо своєї геометричної осі під час дробоструминної обробки. Такий спосіб відрізняється тим, що:

а) колесо вміщують одночасно в отворах щонайменше трьох камер, кожний отвір обмежений з одного і з іншого боку двома бічними краями деталей, бічні краї розташовані навпроти кільцевої поверхні з обмеженим зазором E1, при цьому отвори також обмежені двома розташованими один проти одного профільними краями, які розташовані також навпроти щонайменше поверхні оболонки з обмеженим зазором E2, камери є попарно суміжними, кожна за допомогою одного профільного краю, причому щонайменше одна камера є активною, і щонайменше дві камери є пасивними, тобто не містять віброуючої поверхні, при цьому кожна активна камера розташована між двома іншими камерами,

б) під час дробоструминної обробки мікрокульки подають в активні камери і витягують їх з пасивних камер.

Зрозуміло, що деталі можуть бути знімними і можуть бути інтегровані в колесо шляхом їх виконання в єдиному блоці з матеріалу колеса. У будь-якому разі деталі послідовно проходять всередині кожної камери при обертанні колеса, що дозволяє проводити дробоструминну обробку всіх деталей. Зрозуміло також, що активна камера не сполучається із зовнішнім простором безпосередньо через свій профільний край, а завжди через, щонайменше, одну пасивну камеру, оскільки тільки пасивна камера може сполучатися через свій профільний край із зовнішнім простором. Зрозуміло, що бічні краї і профільні краї взаємодіють один з одним, забезпечуючи непроникність камер для мікрокульок по відношенню до колеса і деталей, при цьому вказана непроникність є безконтактною. Дійсно, бічні краї закривають камери по кільцевій поверхні колеса, внаслідок чого кільцева поверхня проходить вздовж бічних країв із зазором E1, а деталі проходять внаслідок цього між бічними краями, коли колесо обертається навколо своєї геометричної осі обертання. Точно так само профільні краї закривають камери по

поверхні оболонки, при цьому деталі проходять поперечно перед профільними краями з обмеженим зазором E2. Така непроникність достатня, щоб мікрокульковий факел залишався сконцентрованим в обмеженому об'ємі для того, щоб енергія, що приводить його в рушення не могла понадміру розсіюватися.

Зрозуміло, що мікрокульки поступово покидають активну камеру при проходженні через міжпір'йовий простір, тобто між двома деталями, коли міжпір'йові простори проходять перед профільним краєм. Оскільки активна камера є суміжною через кожний з своїх профільних країв з іншою камерою, то мікрокульки попадають в суміжні камери. При цьому можна розглядати два випадки. Якщо дана суміжна камера є пасивною, то проникаючи в неї мікрокульки перестають отримувати енергію від віброуючої поверхні і швидко осідають на дні пасивної камери внаслідок загасання отриманої ними енергії. Якщо дана суміжна камера є активною, то мікрокульки знову проходять через міжпір'йові простори до обох суміжних камер до того моменту, поки вони не попадуть в пасивну камеру, в якій вони втрачають свою енергію і осідають на дно. Звідси зрозуміло, що потік мікрокульок утвориться під час дробоструминної обробки в напрямі від активних камер до пасивних камер, при цьому даний потік в основному проходить через міжпір'йові простори, причому ті, що нагромаджуються в пасивних камерах мікрокульки витягуються і в переважному варіанті знову подаються в активні камери, забезпечуючи їх живлення.

Було помічене, що мікрокульковий факел дуже добре проникає у вузькі простори між пір'ями до міжпір'йового простору колеса, що дозволяє повністю обробити боковини пір'їв і вирішити першу задачу. Міжпір'йові простори обробляються одночасно з боковинами пір'їв. Внаслідок цього перехідні зони між боковинами пір'їв і міжпір'йові простори зазнають дробоструминної обробки тільки один раз, що є рішенням другої задачі.

Звичайно тривалість дробоструминної обробки в камері набору з 75 пір'їв досягає 24 годин, враховуючи необхідність численних проміжних маніпуляцій між кожним пером. При застосуванні даного способу ця тривалість скорочується до 90 хвилин, завдяки скасуванню цих проміжних операцій, що дозволяє вирішити третю задачу.

Практично величина зазору E1 між бічними краями і кільцевою поверхнею менше діаметра мікрокульок, що повністю перешкоджає проникненню мікрокульок через цей зазор E1 і дозволяє уникнути застосування додаткових засобів для витягання мікрокульок, що проникли через цей зазор E1.

У переважному варіанті зазор E2 між краями форми і поверхнею оболонки щонайменше рівний подвійному діаметру мікрокульок. Це дозволяє скоротити кількість мікрокульок, що проходять з однієї камери в іншу. Можна також додати цьому зазору E2 величину, меншу діаметра мікрокульок, що повністю виключає

можливість їх проходження через цей зазор E2 з однієї камери в іншу, однак очевидно, що цей зменшений зазор E2 не впливає на мікрокульки, що попадають з однієї камери в іншу через межп'ясові простори.

У переважному варіанті кругова ширина L1 камер, взята між краями форми, щонайменше рівна потрібній круговій відстані L2 між двома сусідніми деталями, при цьому L1 і L2 утворюють довжини дуги на геометричному колі, утвореному деталями. Інакше кажучи, одна камера може одночасно приймати до чотирьох деталей. У випадку активних камер таке розташування дозволяє втримувати в цій активній камері масу мікрокулькового факела, що перевищує масу, здатну проникати через міжп'ясовий простір при його проходженні перед профільним краєм, що є чинником, регулюючим цю масу. У випадку пасивних камер таке розташування збільшує камеру, сприяє загасанню енергії мікрокульок і дозволяє тим самим скоротити пропорцію кульок, здатних покидати камеру. Проте отриманий ефект можна збільшити шляхом збільшення відношення  $L1/L2$ , наприклад, до величини, щонайменше рівній від п'яти до десяти.

Переважно, під час дробоструминної обробки колесо робить щонайменше  $N=5$  оборотів. При такому розташуванні кожна деталь при кожному обороті проходить тільки  $1/N$  частину необхідної повної дробоструминної обробки, що дозволяє досягти рівномірної і близької до оптимальної дробоструминної обробки деталей. Насправді зрозуміло, що в нормальному режимі деталі проходять через активну камеру  $N$  раз, але деякі з них пройдуть  $N+1$  або  $N-1$  разів в залежності від того, як колесо пройде останнє коло, однак це різниця  $1/N$  стає не важливою при великому  $N$ .

Таке розташування є переважним у випадку тонких деталей, таких як п'р'я турбінних лопаток. Дійсно, коли перо проникає у вібраційний камеру, його боковина, повернена в напрямі обертання колеса, стає навпроти вібруючої поверхні і внаслідок цього буде оброблятися переважно протилежна боковина, і все відбувається навпаки в момент, коли це ж перо виходить з активної камери. Таким чином, прогресія дробоструминної обробки на протилежних боковинах пера є асиметричною під час проходження пера у вібраційний камеру, і ця асиметрія компенсується, коли перо виходить з вібраційний камери, при цьому дана асиметрія ділиться на  $N$  і внаслідок цього може стати не важливою, що є розв'язанням четвертої проблеми.

У переважному варіанті активні камери і вібруючі поверхні симетричні по відношенню до вертикальної геометричної площини P, що містить в собі геометричну вісь обертання. При такому розташуванні мікрокульковий факел, що знаходиться в активних камерах симетричний по відношенню до цієї площини P, тому задні і передні боковини п'р'їв проходять в мікрокульковому факелі через еквівалентні цикли дробоструминної обробки, що поліпшує загальну симетрію дробоструминної обробки боковин п'р'їв.

Даною патентною заявкою запропонований також дробометальний апарат, необхідний для реалізації заявленого способу, при цьому апарат містить шпindel, виконаний з можливістю утримання і приведення у обертання предмета, такого як колесо, навколо геометричної осі обертання, при цьому апарат містить активну камеру, нижня частина якої виконана навколо вібруючої поверхні, здатної втримувати мікрокульковий факел у вказаній камері, а інші камери є пасивними. Даний апарат відрізняється тим, що він містить:

а) щонайменше три камери, кожна з яких містить отвір, повернений до геометричної осі обертання, кожен отвір обмежений краєм, причому кожен край містить дві кругові протилежні частини або бічні краї, бічні краї утворюють дугу кола з центром на геометричній осі обертання, і кожен край містить також дві профільні частини, протилежні профільному краю, при цьому профільні частини ідентичні і розташовані по геометричному колу з центром на геометричній осі обертання, камери є попарно суміжними через профільний край, при цьому кожна активна камера розташована між двома іншими камерами,

б) засоби подачі мікрокульок в активні камери, а також засоби видалення мікрокульок з пасивних камер.

У переважному варіанті засоби подачі мікрокульок в активні камери і засоби видалення мікрокульок з пасивних камер являють собою тальвеги, що містять високі точки і низькі точки, при цьому низькі точки знаходяться в активних камерах і доходять до вібруючих поверхонь, а високі точки знаходяться в пасивних камерах. Зрозуміло, що по тальвегам під впливом сили тяжіння проходять мікрокульки, падаючи на дно пасивних камер, і попадають на вібруючі поверхні в активних камерах. Ці тальвеги перетинають бічні стінки камер і проходять через канали.

У переважному варіанті камери є знімними. Такі камери мають просту конструкцію і виконані, наприклад, з плексигласових листів, при цьому така конструкція дозволяє легко пристосувати дробометальний апарат до обробки коліс і деталей самих різних форм і діаметрів.

Даний винахід і його переваги будуть більш зрозумілі при розгляді докладного прикладу виконання і прикладених фігур.

Фіг.1 - фронтальний вигляд дробометального апарату відповідно до даного винаходу, лопаткового турбінного ротора, що застосовується для дробоструминної

обробки, при цьому вказаний ротор є двоступеневим. Для того, щоб ясніше виділити складаючі частини відповідно ротора і дробометального апарату, на фігурі наказана тільки половина ротора.

Фіг.2 - вигляд збоку в розрізі дробометального апарату і ротора.

Фіг.3 - збільшений вигляд спереду дробометального апарату і ротора, при цьому на фігурі показане розташування бічних сторін лопаток по відношенню до мікрокулькового факела всередині активної камери. Для більшої ясності межп'ясові простори показані розширеними.

Фіг.4 - збільшений вигляд збоку активної камери, при цьому на фігурі показано, як п'р'я проходять у вирізах перед профільними краями.

Розглянемо одночасно фігури 1 і 2. Ультразвуковий дробометальний апарат 10 містить станину 11, в якій встановлений шпindel 15, що обертається навколо геометричної осі 16, при цьому на одному кінці шпинделя 15 встановлений патрон 17, що дозволяє повністю закріплювати весь ротор 18. Шпindel 15 приводиться в рушення за допомогою не показаного на фігурі двигуна. Ротор 18 має основну форму обертання з центром на геометричній осі 16. Ротор 18 містить кругове колесо 19, периферія якого утворена кільцевою поверхнею 20, на якій розташована множина п'р'їв 21 по круговій лінії на геометричному колі з центром на геометричній осі обертання 16 таким чином, що п'р'я 21 проходять по чергові через одне і те ж положення під дією обертання колеса. У даному прикладі ротор 18 містить два рівні лопаток 21.

Нижченаведений опис однаково відноситься до кожної з цих рівнів. У цьому ж прикладі пір'я 21 розташовані радіально у вигляді виступів на кільцевій поверхні 20 і відділені один від одного рівномірними просторами. Цифрою 23 позначена міжпірйова поверхня, утворена ділянкою кільцевої поверхні 20 між пір'ями 21. Цифрою 24 позначений міжпірйовий простір, тобто простір між пір'ями 21. При обертанні колеса 19 пір'я 21 утворюють геометричну поверхню оболонки 25, що має форму обертання навколо геометричної осі 16.

Дробометальний апарат 10 в даному прикладі містить п'ять камер 30. Кожна камера 30 містить днище 31, утворююче її саму низьку частину, бічні стінки 32 і отвори 33, направлені вгору і, у разі необхідності, в сторону. Кожний отвір 33 обмежений двома бічними краями, позначеними 34 на фігурі 3 і що мають зазор Е1 з кільцевою поверхнею 20, при цьому бічні краї 34 утворюють дуги кола з центром на геометричній осі 16. На фігурі 2 показано, що пір'я 21 проходять між бічними краями 34 при обертанні колеса 19 навколо геометричної осі 16. Кожний отвір 33 обмежений також двома профільними краями 35, що повторюють форму пір'їв 21, при цьому пір'я 21 проходять перед профільними краями 35 з обмеженим зазором Е2 при обертанні колеса 19.

Камери 30 утворюють конвеєр і позначені послідовно 30а, 30b, 30с, 30d і 30е, при цьому камери 30 є попарно суміжними через профільні краї 35. Таким чином, кожна з камер 30а і 30е на кінцях конвеєра має відповідно профільний край 35а і 35е, що межує із зовнішнім простором, а всі інші профільні краї 35 межують зі суміжною камерою. Зрозуміло, що, коли колесо 10 обертається в напрямі обертання 46, кожне перо приходить ззовні і входить в конвеєр камер 30 через профільний край 35а, перетинає послідовно камери 30а, 30b, 30с, 30d і 30е, проходячи через бічні краї 34 і профільні краї 35, виходячи після цього назовні через профільний край 35е.

Призначення і функції різних камер 30 не є ідентичними. Камера 30с в середині конвеєра є активною, і її горизонтальне днище 31с оточує вібруючу поверхню 40 на кінці звукоходу 41, закріпленого на станині за допомогою відповідної опори 42 і одержуючого енергію вібрації від віброгенератора 43 кварцового типу. Звукоход 41 передає цю енергію вібрації на вібруючу поверхню 40 із зниженим імпедансом, при цьому вібруюча поверхня 40 передає цю енергію вібрації мікрокулькам, що знаходиться на поверхні 40 або падаючим на неї, при цьому мікрокульки розлітаються у всіх напрямках до бічних стінок 32, кільцевій поверхні 20 і пір'ям 21, що знаходяться в отворі 33с активної камери 30с, і заповнюють таким чином об'єм активної камери 30с у вигляді мікрокулькового факела 45. Активна камера 30с оточена з кожної сторони двома пасивними камерами, тобто відповідно 30b і 30а з одного боку і 30d і 30е з іншого боку.

Зрозуміло, що бічні краї 34 і профільні краї 35 забезпечують непроникність камер 35 по відношенню до колеса 19 і пір'ям 21, при цьому ця непроникність є більш або менш повною. Додаючи зазору Е1 величину, меншу діаметра мікрокульок, що застосовуються, тим самим повністю перешкоджають виходу мікрокульок з камер шляхом проходження між бічними краями 34 і кільцевою поверхнею 30. Скорочуючи зазор Е2 між профільними краями 35 і пір'ями 21, знижують витрату мікрокульок, що проходять від активної камери 30с до пасивних суміжних камер 30b і 30d, однак залишається витрата мікрокульок, що проходять через міжпірйові простори 21, коли міжпірйові простори 21 проходять перед профільним краєм 35. Однак, мікрокульки, ті, що попадають в пасивні камери 30b і 30d більше не отримують енергії від вібруючої поверхні і швидко втрачають кінетичну енергію, отриману ними при ударах об бічні стінки 32 і днище 33 пасивних камер 30b і 30d, а також об пір'я 21 і кільцеву поверхню 20 в пасивних камерах 30b, 30d, при цьому мікрокульки падають під силою тяжіння на днище 31 пасивних камер 30b, 30d. Незначна кількість мікрокульок доходить все ж до днища 31 пасивних камер 30а, 30е на кінці конвеєра. Однак їх кінетична енергія стала дуже слабкою і повністю затухає після вищеописаних рухів, і жодна мікрокулька вже не може вилетіти назовні. Тому оператор завантажує певну кількість мікрокульок в активну камеру 30с перед початком дробоструминної обробки колеса, і цієї кількості досить для виконання всього циклу дробоструминної обробки, під час якого оператору не треба додавати мікрокульки. У даному прикладі колесо 19 з пір'ями 21 має діаметр 900мм, і пасивні камери підіймаються з кожної сторони на висоту, рівну половині цього діаметра.

Мікрокульки, що знаходяться в пасивних камерах 30а, 30b, 30d і 30е при загасанні їх кінетичної енергії падають на днище 31 камер. Дані днища 31 нахилені і утворюють тальвеги 50 з кожної сторони активної камери 30с, при цьому тальвеги 50 дозволяють мікрокулькам опускатися під силою тяжіння до днища 31с активної камери 31 і попасти на вібруючу поверхню 40, де вони отримують нову кількість енергії і поповнюють мікрокульковий факел 45 всередині активної камери 30с. Тальвеги 50 перетинають бічні стінки 32 через канали 51 і пропускають мікрокульки, що проходять від пасивних камер 30а, 30b, 30d, 30е до активної камери 30с через бічні стінки 32.

У цьому прикладі камери 30 є знімними і являють собою бак 55, що містить дві подовжні плоскі вертикальні стінки 56, паралельні між собою і перпендикулярні геометричній осі обертання 16, при цьому кожна з подовжніх стінок 56 містить ребро 57 у вигляді півкола з центром на геометричній осі обертання 16, при цьому ребра приходять в положення проти кільцевої поверхні 20 колеса 19 по обидві сторони пір'їв 21, подовжні стінки 56 сполучені поперечними стінками 58, закриваючи таким чином по боках бак 55. Поперечні стінки 58 направлені до днища бака 55 і утворюють днище 59, нахилене до середини. Бак 55 встановлений на майданчику 60, закріпленому на станині 11, при цьому майданчик оточує вібруючу поверхню 40 на верхньому кінці звукоходу 41. Зрозуміло, що бак 55 в поєднанні з майданчиком 60 на вібруючій поверхні 40 відкритий зверху і непроникний збоку і знизу щонайменше для мікрокульок. Бак 55 розділений на п'ять камер 30 поперечними перегородками 61, практично радіальними по відношенню до геометричної осі обертання 16, при цьому поперечні перегородки 61 містять не показані на фігурі вирізи, в які із зазором Е2 входять пір'я 21 при обертанні колеса. Зрозуміло, що такий бак 55 може бути легко виконаний шляхом нарізання його елементів з пластини, наприклад, з плексигласу, при цьому елементи з'єднують разом, наприклад, за допомогою гвинтів. Зрозуміло, що обидва ребра 57 утворюють бічні краї 34 камер 30 і що краю вирізів в поперечних перегородках 61 утворюють профільні краї 35. Зрозуміло також, що камера 30, виконана в баку 55 над вібруючою поверхнею 40 являє собою активну камеру 30с, а інші камери 30, виконані в баку 55, є пасивними камерами 30а, 30b, 30d, 30е.

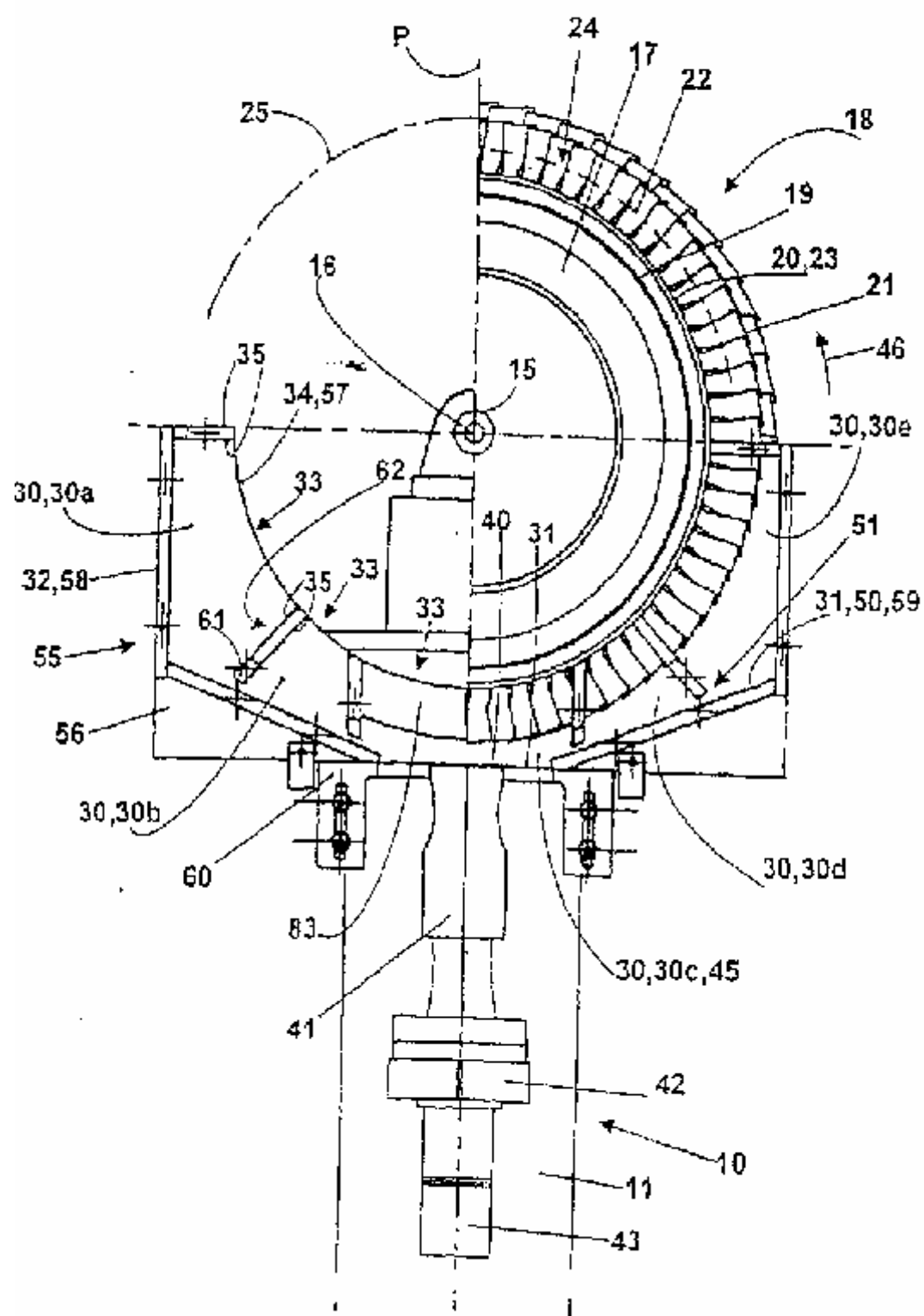
Тепер розглянемо одночасно фігури 3 і 4. Для більшої ясності зазори Е1 і Е2 показані в збільшеному

вигляді так само, як і межп'ясові простори. Цифрами 65 і 66 позначені протилежні боковини пера 20, при цьому боковина 65, яка називається передньою, умовно повернена в напрямі обертання 46, а протилежна боковина, яка називається задньою, повернена в зворотну сторону. Розглянемо шлях пера 21 і його боковин 65, 66, що перетинають активну камеру 30с, при цьому позначення пера 21 і його боковин 65, 66 доповнені індексами а, b, с, відповідними положенню входу, середньому положенню і положенню виходу. Під дією обертання колеса 19 в напрямі обертання 46 перо 21 а, що рухається від пасивної камери 30b, проникає в активну камеру 30с, проходячи через виріз 62 поперечної перегородки 61 із зазором Е2 по відношенню до профільного краю 35, що обмежує виріз 62. Передня боковина 65а пера 21а виявляється поверненою до вібруючої поверхні 40 на верхньому кінці звукоходу 41, при цьому боковина 65а направлена до мікрокулькового факела і внаслідок цього зазнає дробоструминної обробки. На відміну від неї задня боковина 66а лише в незначній мірі повернена до мікрокулькового факела і буде до нього повертатися все більше по мірі входу пера 21а в середнє положення. У середньому положенні перо, позначене тепер 21b, повністю навантажене в мікрокульковий факел таким чином, що обидві його боковини, позначені в цьому випадку 65b, 66b, в однаковій мірі зазнають дробоструминної обробки. При виході пера, позначене 65с, повертає свою задню боковину 65с до мікрокулькового факела, в той час як його передня боковина 65с вже практично повернена в сторону від факела, і дробоструминну обробку проходить тільки задня боковина 66с. Зрозуміло, що симетрія активної камери 30с і вібруючої поверхні 40 по відношенню до вертикальної геометричної площини Р, що заключає геометричну вісь обертання 16, приводить до симетрії мікрокулькового факела всередині активної камери 30с по відношенню до тієї ж площини Р. Внаслідок цього протилежні боковини 65, 66 пера 21 будуть проходити в такому мікрокульковому факелі в активній камері 30с симетричні шляхи і зазнавати при кожному проході еквівалентної дробоструминної обробки, різниця в обробці, виникаюча між протилежними боковинами 65, 66 при перетині активної камери 30с, носить тимчасовий характер, оскільки вона компенсується в момент виходу пера 21 з активної камери 30с. Зрозуміло також, що дробоструминна обробка, здійснювана за N оборотів замість одного приводить до розподілу на N цієї тимчасової різниці. Наприклад, якщо дробоструминна обробка здійснюється за N=20 оборотів, то ця тимчасова різниця буде рівна всього лише 5% повної дробоструминної обробки. Заявник вважає, що N=5 оборотів є прийнятним мінімумом для дробоструминної обробки дуже тонких п'р'їв 21, що застосовуються в газотурбінних двигунах. Можливо значно збільшувати число N за умови, що внаслідок цього тангенціальна швидкість п'р'їв 21 залишається не важливою в порівнянні зі середньою швидкістю мікрокульок в факелі. В іншому випадку виникає асиметрія, при якій передня боковина 65 зазнає більш інтенсивної обробки, ніж задня боковина 66. У даному прикладі ширина L камери рівна чотирьом відстаням L2 між двома сусідніми деталями, внаслідок чого в даній камері можуть одночасно знаходитися до п'яти деталей.

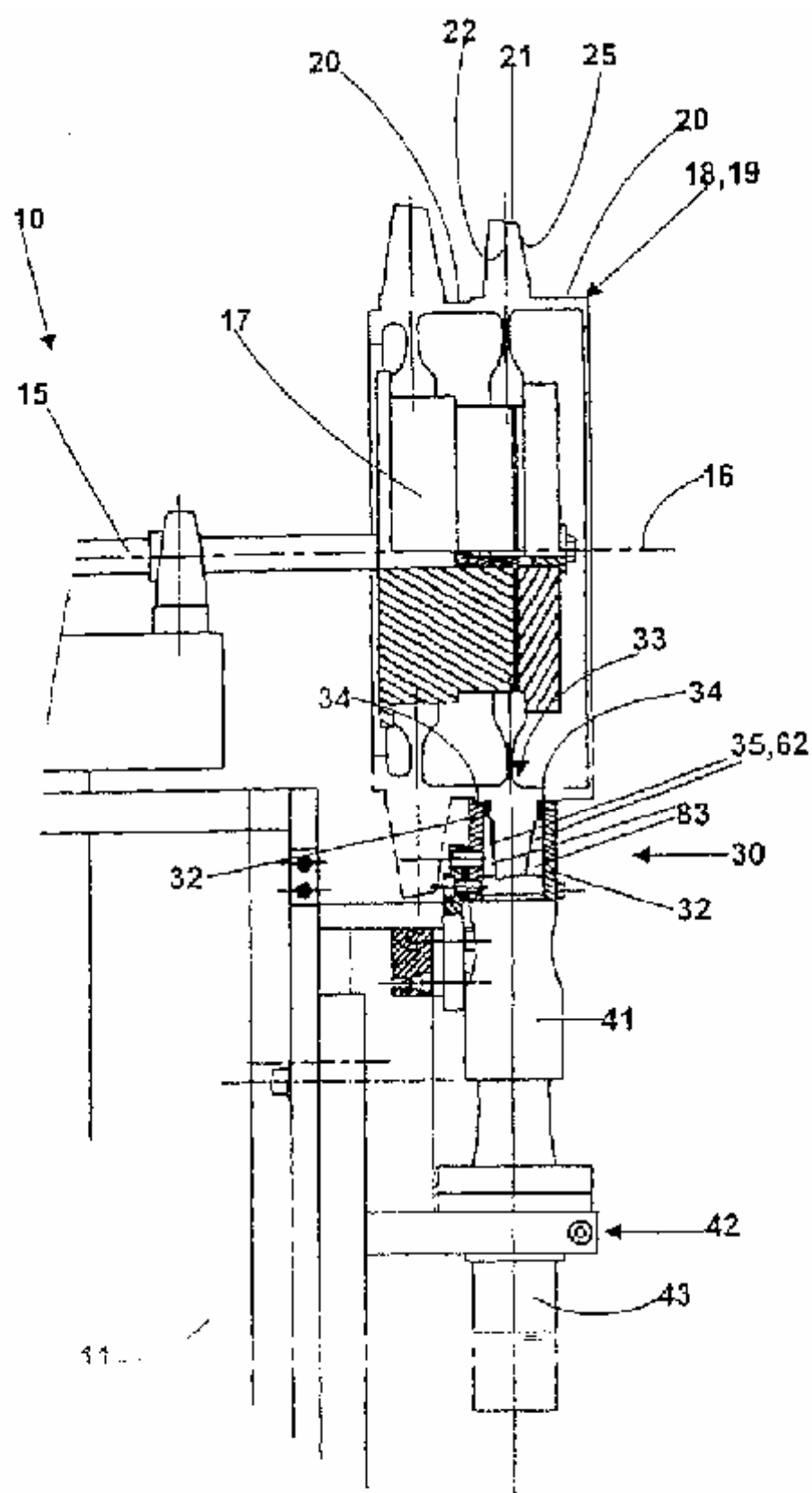
Частина 70 мікрокульок, що знаходяться в камері, проходить через міжп'ясові простори 24 в суміжних пасивних камерах 30b і 30d. Ці мікрокульки швидко втрачають свою енергію і падають на днищі 31, утворюючи низхідний потік 71, що опускається під силою тяжіння по тальвегу 50 і що повертається таким чином в активну камеру 30с, проходячи через поперечні перегородки 61 по просторах або каналах 51, виконаних між поперечними перегородками 61 і днищами 31.

Вершини 80 п'р'їв під впливом дробоструминної обробки зазнають розплющення і в результаті приймають форму, що злегка наближається до форми головки молотка. Тому п'р'я виконують з висотою, що перевищує остаточну висоту, і після дробоструминної обробки вершини 80 обробляють, наприклад, шляхом шліфування, щоб додати п'р'ям остаточну висоту і зняти деформацію у вигляді головки молотка.

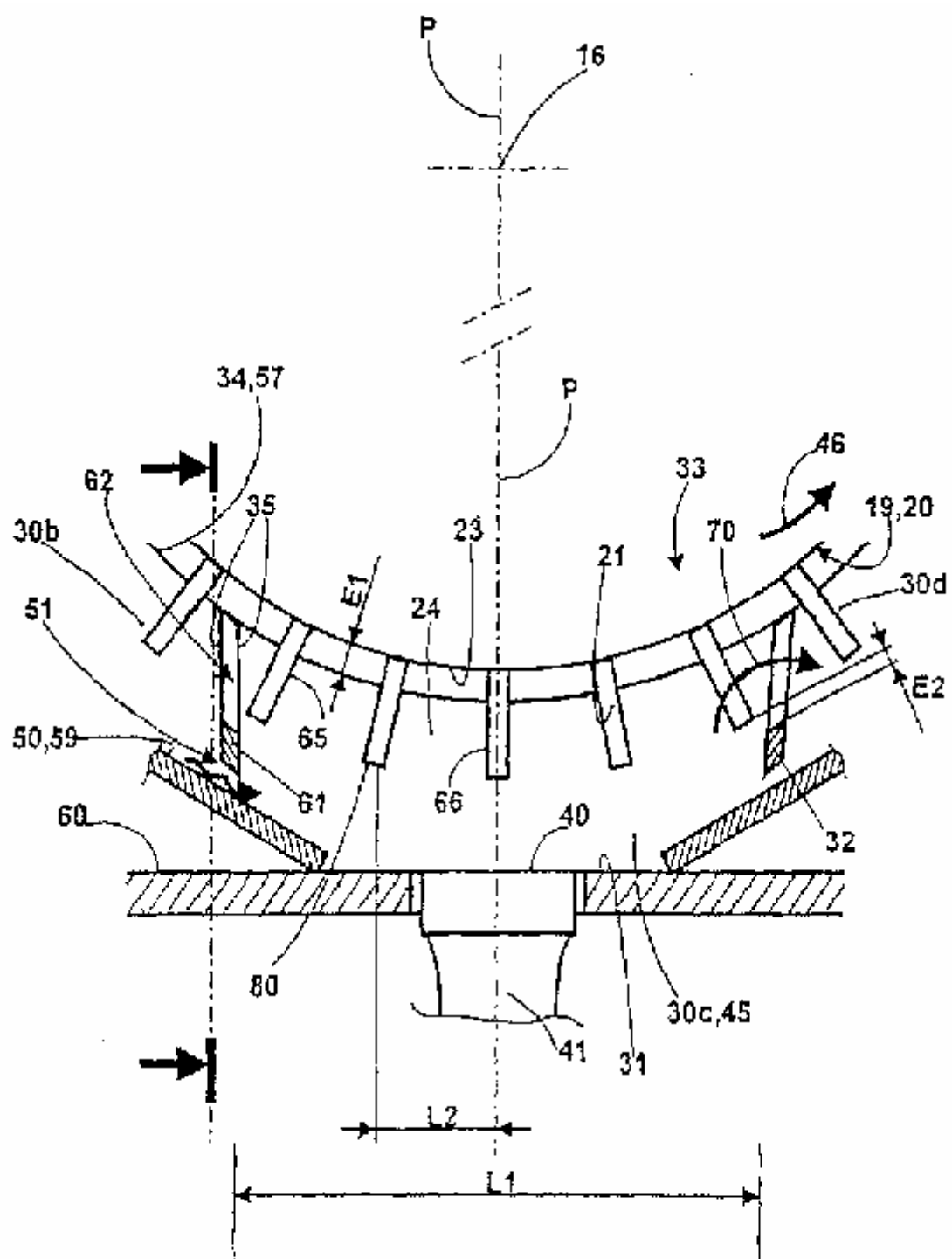
У переважному варіанті в активну камеру 30 вміщують форми, позначені 83 на фігурі 1, при цьому форми 83 розташовують по обидві сторони п'р'їв 21, і п'р'я 21 перетинають активну камеру 30с між формами 83 з тим же зазором Е2. Таке розташування перешкоджає ударам мікрокульок по дуже тонких передніх кромках 81 і задніх кромках 82 п'р'їв 21 і захищає передні кромки 81 і задні кромки 82 від розплющення.



Фиг. 1

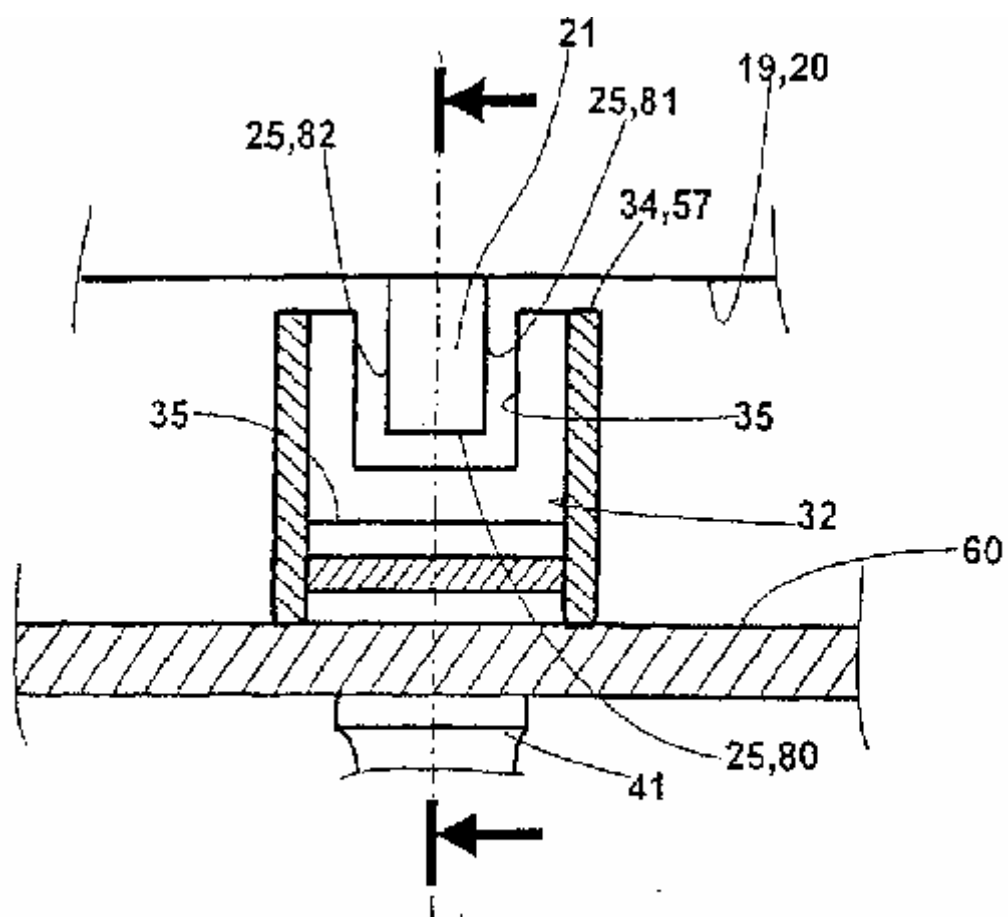


Фиг. 2



Φ11.3





Фиг. 4