



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 160619

(13) U

(51) МПК

B22C 9/02 (2006.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

(21) Номер заявки:	u 2024 05992	(72) Винахідник(и):	Дорошенко Володимир Степанович (UA), Янченко Олександр Борисович (UA)
(22) Дата подання заявки:	17.12.2024	(73) Володілець (володільці):	ВІННИЦЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ, вул. Хмельницьке шосе, 95, м. Вінниця, 21021 (UA)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності:	25.09.2025		
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію:	24.09.2025, Бюл.№ 39		

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ ВИЛИВКІВ ЗА МОДЕЛЯМИ, ЩО ГАЗИФІКУЮТЬСЯ

(57) Реферат:

Спосіб виготовлення виливків за моделями, що газифікуються, включає виготовлення модельного кластера з двох чи більше моделей виливків, які кріплять до моделі ливникової системи, розміщення цього модельного кластера в піщаному наповнювачі ливарної форми, заливання металевого розплаву у цю форму крізь ливникову систему з використанням її моделі, газифікацією модельного кластера, твердіння розплаву з утворенням виливків, охолодження виливків з подачею холодоагенту на окремі їх поверхні і видалення виливків з форми. Модельний кластер виготовляють і розміщують в піщаній ливарній формі так, що між певними поверхнями виливків, які не підлягають поданню на них холодоагенту, утворюють об'єм піщаного наповнювача, який нагрівається теплом від виливків та виконує функцію теплового акумулятора, гальмуючи тепловідвід від дотичної до нього поверхні виливків.

UA 160619 U

UA 160619 U

Корисна модель належить до ливарного виробництва, зокрема до способів лиття металу за моделями, що газифікуються (який ще називають ЛГМ, Lost Foam Casting Process).

Найбільш вигідне його застосування рекомендується для виготовлення робочих навісних органів ґрунтообробної, землерийної чи гірничодобувної техніки. Ці органи чи інструменти мають загострені частини чи леза в гострому стані, а тривала працездатність і ефективність машин та обладнання з ними залежить від підтримання різальної кромки в гострому стані протягом тривалого часу. Такі робочі органи в процесі експлуатації зношуються і замінюються на нові (рідше ремонтуються, наприклад, наплавкою), тому потребують постійного виготовлення. Втрати гостроти їх лез призводить до простоїв обладнання протягом заміни робочих органів, повторного заточування затуплених кромок чи ремонту на спеціалізованому обладнанні.

Для регулювання показників твердості та міцності виливків відоме застосування у ливарній формі систем охолодження рідким холодогентом (Авторські свідоцтва СРСР № 404555 МПК В 22 Д 27/04, опубл. 1972 і № 801981 МПК В 22 С 27/04, опубл. 1981). Проте ці способи пов'язані з застосуванням вельми складних конструкцій холодильної техніки, непрактичних для застосування у виробничих ливарних цехах.

Значно простішими є способи подавання води як холодоагенту у піщаний наповнювач ливарної форми практично зразу після заливання її розплавом металу чи затвердіння виливка шляхом встановлення дозаторів води в ливарній формі з прикріпленням їх до хрестовин опочної оснастки (А. с. № 1496903 СРСР, МПК В22С 9/02, Оснастка для вакуумно-плівкової формовки, опубл. 1989. бюл. № 28), або встановлення ємностей з дозованою кількістю води всередині ливарного піщаного стрижня (А. с. № 1787653 СССР, МПК В22С 9/10, Ливарний стержень, опубл. 1993. Бюл. № 2). Також подання води у форму виконують за допомогою переносних ємностей-дозаторів, які за допомогою трубчастого загостреного штиря дозволяють подати воду в точкові чи локальні об'єми (масиви) піщаного наповнювача ливарної форми поблизу певних стінок виливка, для яких слід забезпечити інтенсивне охолодження (Патент № 80928 Україна, МПК В22С 9/02, Ливарна форма для вакуумної формовки, опубл. 2007, бюл. № 18). При цьому подання води виконують до розрахункової вологості піску в об'ємі піщаного наповнювача, яка дозволяє досягти оптимальної його теплопровідності для підвищення механічних властивостей матеріалу в зоні його прискореного охолодження (Патент № 85516 Україна, МПК В22С 9/02, В22Д 27/04. Спосіб виготовлення виливка корпусу блоку циліндрів, опубл. 2009, бюл. № 2). Також застосування піщаної форми при ЛГМ-процесі (Патент № 83921, Україна, МПК В22С9/02, В22 С27/04, Ливарна форма для вакуумної формовки, опубл. 2008, бюл. № 16) забезпечує швидке охолодження виливків у формувальному піску подібне до загартування і дозволяє підвищити їх якість.

Всі зазначені способи з застосуванням досить нескладної оснастки дозволяють у ливарній формі інтенсифікувати охолодження виливка, що кристалізується чи охолоджується. Охолодження під час кристалізації здрібнює зерно кристалічної структури металу, а швидке охолодження у твердому стані виконується подібно до відомих режимів термообробки (ТО). Обидва варіанти дають позитивний ефект - суттєво підвищують механічні властивості металу виливка.

Проте, для виливків робочих органів, що мають загострене лезо, від стану загострення якого залежить ефективність функціонування машин і механізмів, на яких вони встановлені, потрібні особливі умови виготовлення, оскільки при експлуатації цих органів лезо затуплюється, а робочі органи зношуються, потребуючи постійних їх заміни. Як правило, ремонту чи заточуванню вони не можуть піддаватись із-за втрати геометричних розмірів і функціональної придатності. Тривала працездатність і ефективність робочих органів із різальною кромкою залежить від підтримання їх загостреної частини чи леза в гострому стані. З науки біоніки відомий приклад "вирішення цієї проблеми" при дослідженні функціонування різцевих зубів бобра, в яких більшою мірою зношується одна їх сторона, що складається з менш твердого (ніж емаль іншої частини) дентину, склад якого відповідає гідроксиапатиту (Cheiliakh O.P. and Cheiliakh Ya.O. Implementation of Physical Effects in the Operation of Smart Materials to Form Their Properties // Progress in Physics of Metals, 21, No. 3: 363-463 (2020). <https://doi.org/10.15407/ufm.21.03.363>).

Аналогічні фізичні ефекти притаманні матеріалам, що забезпечують ефект вибіркового зношування - самозагострювання (самозаточування) різально леза робочого органу (інструменту), що полягає у вибіркового стиранні леза зі збереженням заданої геометрії початкової заточки. До таких матеріалів також відносять функціонально-градієнтні матеріали, яким характерна відсутність чітких меж між компонентами та безперервна просторова зміна (градієнт) фізико-механічних властивостей, зокрема по товщині стінки виробу з такого матеріалу.

Прикладами загостреного чи лезового інструменту, для якого є потреба самозагострювання, є ножі для різання різноманітних матеріалів, лемеші плуга та долота чи диски борони, стрілчасті лапи культиваторів, глибокорозпушувачі для оброблення ґрунту, плоскорізи, зуби чи коронки ковшів екскаваторів, лопат чи відвалів бульдозерів, різальні диски бурякозбиральних комбайнів, бурового інструменту тощо. Нерідко самозагострювальне лезо виконують двошаровим, різальний шар виготовляють з більш зносостійкого матеріалу, а другий шар - з менш зносостійкого, який більшою мірою зношуючись, охороняє основний різальний шар від стирання; хоч таке виготовлення значно здорожує різальний металовиріб. В результаті у процесі різання ріжучий шар трохи виступає над більш м'яким та забезпечує різання, в цілому зберігаючи свою задану форму та зношуючись меншою мірою, ніж у зазвичай прийнятому конструктиві.

Розглянуті технічні рішення, зокрема з застосуванням процесу ЛГМ з примусовим охолодженням виливка у ливарних формах з сипкого піску шляхом подання у пісок чи на поверхню виливка плинного холодоагенту (води чи потоку газу) після заливання форми розплавом металу чи після кристалізації металу виливка, в тому числі з розміщенням трубчастих штирів (для подачі води) у піску разом з формуванням у ньому модельних кластерів, дозволяють збільшувати швидкість охолодження всього виливка чи його частин і тим самим регулювати його структуроутворення з підвищенням механічних властивостей. Але забезпечення значного перепаду температур по товщині виливка у ливарній формі, особливо стінок з загостреними лезами (з наближенням до умов створення двошарових конструкцій), відомими способами інтенсифікації охолодження виливка у ливарній піщаній формі не представляється можливим. Опису такого технічного рішення під час огляду вітчизняної та зарубіжної інформації не знайдено.

Найближчим аналогом до корисної моделі є спосіб виготовлення виливка у піщаній формі з регульованим охолодженням окремих його частин (патент № 82963 Україна, МПК B22D27/04, B22D27/15, Спосіб виготовлення виливка у піщаній формі з регульованим охолодженням окремих його частин, опубл. 2008, бюл. № 10), що включає створення газового розрідження у піску форми, заливку металевого розплаву у порожнину форми, кристалізацію розплаву, охолодження з подачею холодоагенту на окремі частини або поверхні виливка і видалення виливка, який при цьому перед подачею холодоагенту частини або поверхні виливка звільняють від піску.

Недоліком способу є обмеження його застосування, обумовлене тим, що можуть бути лише досить рідкі, окремі та поодинокі конструкції виливків, частини поверхні яких у ливарній формі неважко звільнити з сипкого гарячого піску, і потім ці поверхні охолоджувати потоками холодоагентів (це можуть бути гази чи вода) без розмивання, осипання чи розпилення піску форми навколо цих поверхонь. Якщо моделі при ЛГМ збирають у кластер (кущ) з кількох і більше моделей, які кріплять до моделі стояка, як це практикують частіше при ЛГМ, ніж лиття за поодинокими моделями, то здійснення вказаного останнього способу практично неможливе.

В основу корисної моделі поставлено задачу створення способу виготовлення виливків за моделями, що газифікуються, в якому за рахунок конструювання модельного кластера, кріплення моделей виливків до моделі ливникової системи та розміщення цього кластера у піщаній ливарній формі між певними поверхнями виливків, які не підлягають поданню на них холодоагенту, утворюють об'єм (ком, масив, грудку) піщаного наповнювача, який нагрівається теплом від виливків та починає виконувати функцію теплового акумулятора, що гальмує тепловідвід від дотичної до нього поверхні виливків. Це приводить до можливості виготовлення виливків, зокрема робочих органів з загостреними частинами для ґрунтообробної, землерийної та гірничодобувної техніки, з різною твердістю поверхні цих виливків, що дозволить збільшити їх ресурс за рахунок реалізації ефекту самозагострювання.

Поставлена задача вирішується тим, що в способі виготовлення виливків за моделями, що газифікуються, що включає виготовлення модельного кластера з двох чи більше моделей виливків, які кріплять до моделі ливникової системи, розміщення цього модельного кластера в піщаному наповнювачі ливарної форми, заливання металевого розплаву у цю форму крізь ливникову систему з використанням її моделі, газифікацією модельного кластера, твердіння розплаву з утворенням виливків, охолодження виливків з подачею холодоагенту на окремі їх поверхні і видалення виливків з форми, згідно з корисною моделлю, модельний кластер виготовляють і розміщують в піщаній ливарній формі так, що між певними поверхнями виливків, які не підлягають поданню на них холодоагенту, утворюють об'єм піщаного наповнювача, який нагрівається теплом від виливків та виконує функцію теплового акумулятора, гальмуючи тепловідвід від дотичної до нього поверхні виливків.

У об'ємі піщаного наповнювача, який після утворення виливків виконує функцію теплового акумулятора, розміщують модель ливникової системи.

Як металевий розплав використовують залізовуглецевий сплав, при якому виконують нагрівання цього об'єму піщаного наповнювача до температури не нижче такої, що відповідає інтервалу температури найменшої стійкості аустеніту для цього сплаву.

Приклад розташування кластера з чотирьох ливарних моделей зуба екскаватора під час формування у контейнерній формі, лиття по ЛГМ показано на схемі, де на фіг. 1 - при вигляді збоку; на фіг. 2 - при вигляді зверху; на фіг. 3 - показано варіанти виконання перфорованих трубок 4.

1 - модель зуба; 2 - модель ливникової моделі; 3 - трубчаста рамка; 4 - вертикальні трубки з отворами (4 шт., перфоровані, встановлені навпроти заданих поверхонь виливків); 5 - контур піщаної форми (пунктиром); 6 - заливний патрубок у рамку 3 та трубки 4; 7 - контур піщаного об'єму умовно показано штрих пунктиром, а його положення - точками.

Виготовляють модельний кластер з двох чи більше моделей 1, які кріплять до моделі ливникової системи 2. Моделі кріплять у кластері так, що ті певні поверхні, які після утворення за цими моделями виливків не підлягають поданню на них холодоагенту, розміщують навпроти одна одній (ближче до центра кластера). А поверхні, що (ставши металевими) примусово охолоджуються з поданням холодоагенту від трубок 4, розташовуються на периферії кластера ближче до контуру піщаної форми 5, яка традиційно являє собою наповнений піском металевий контейнер.

Розміщують такий кластер у контейнерній ливарній піщаній формі шляхом встановлення кластера у контейнері та засипання цього контейнера піщаним наповнювачем (кварцовим чи іншим піском) разом з установленням у цей пісок трубчастої рамки 3, яка має вертикальні трубки 4. З піску, що засипається між моделями, під час заміщенні яких розплавом металу утворюються виливки, у центральній частині кластера утворюється об'єм 7 піску, який нагрівається теплом від виливків та виконує функцію теплового акумулятора, що гальмує тепловідвід від дотичної до нього поверхні виливків.

Заливають металевий розплав у форму крізь ливникову систему 2 з газифікацією модельного кластера та подають холодоагент крізь трубчасту рамку 3 та вертикальні трубки 4 у піщане середовище поблизу окремих поверхонь виливків (згідно з описами відомих способів, ряд з яких вказано вище), а після охолодження виливків видаляють їх з форми.

Цілеспрямоване розміщення в об'ємі піщаного наповнювача моделі ливникової системи, крізь яку заливають металевий розплав, забезпечує додаткового нагрівання цього об'єму піщаного наповнювача разом з оточуючими його виливками. Зокрема, для залізовуглецевих сплавів нагрівання об'єму піску здійснюють до температури не нижче такої, що відповідає інтервалу температури найменшої стійкості аустеніту для залізовуглецевого сплаву, з якого виготовляють виливки.

Прискорене охолодження холодоагентом однієї сторони стінки виливка разом з гальмуванням охолодження іншої його сторони у ливарній формі виконували за рахунок розкриття досі незадіяного потенціалу технології лиття по ЛГМ для утворення функціонально-градієнтних структур металу з використання акумуляованого тепла, привнесеного розплавом металу у ливарну форму. Цьому сприяла унікальна можливість ЛГМ-процесу практично довільного чи багатоваріантного розміщення моделей у піщаній формі, яку застосували під час такого компонування моделей у кластери, щоб у просторі піщаного середовища контейнерної ливарної форми ці моделі своїми стінками, які не підлягають прискореному охолодженню, оточували об'єм піщаного наповнювача, який нагрівається теплом від виливків та виконує функцію теплового акумулятора, що гальмує тепловідвід від дотичної до нього поверхні виливків.

Цей піщаний об'єм між виливками спочатку нагрівається металом, а потім у більшості своєї маси стає гарячим як метал, оскільки тепловідвід проходить від виливків крізь їх зовнішню піщану оточення та металеві стінки контейнера форми у зовнішній простір. Спеціально оточений заданими стінками виливків піщаний об'єм служить тепловим акумулятором, від якого після нагрівання до температури оточуючого металу тепло практично може відводитись в значній мірі через обмежуючі його металеві поверхні.

При цьому використали відомі особливості структуроутворення металовиробів під час їх виливання у піщані форми. Теплопровідність ливарних форм, які не містять зв'язувального компоненту (що традиційно для ЛГМ), доволі низька, оскільки зерна сухого кварцового формувального піску стикаються лише в окремих точках або близькі до стикування. З досить малої поверхні теплота передається лише теплопередачею або випромінюванням, тому теплопровідність такого формувального матеріалу невисока. При наявності у ливарних формах

зв'язувального компоненту (чим може служити вода та змочені нею глинисті компоненти піску), що знаходиться між зернами піску, цей компонент відіграє роль теплових мостів та підвищує теплопровідність ливарної форми. Крім того, примусове зволоження піску з боку певної поверхні виливка, що кристалізується чи охолоджується, за відомими способами дозволяє значно

5 прискорити тепловідвід з цієї поверхні аж до рівня режимів гартування з технології термообробки металу з відповідним його структуроутворенням.

Введення у піщаний об'єм, який утворений у центрі модельного кластера, що перетворюється під час лиття у металевий кластер, ливникової системи сприяє його ще більшому розігріванню. Традиційно частіше під час лиття по ЛГМ застосовують нижню сифонну

10 чи верхню дощову ливникові системи. Цільове встановлення ливникової системи, наприклад у вигляді стояка з живильниками в середину утвореного піщаного теплового акумулятора, служить однією з відмітних особливостей цього способу лиття, сприяючи збільшенню перепаду температур між заданими поверхнями виливків.

Зокрема, для залізвуглецевих сплавів (сталь, чавун), з яких у світі виливають близько 80

15 млн. т, що відповідає 80 % всього світового литва (з чавуну - 70 %, зі сталі - 10 %, решта сплави кольорових металів), доцільне застосування такої особливості. Менш тверді поверхні виливка (внутрішні щодо конструкції кластера, фіг. 1, 2) доцільно отримувати зі структурою, наприклад, близькою до перлітної, що наприклад, для високоміцного чавуну (ВЧ) мають твердість 220...305 НВ, а більш тверді зовнішні (з виконанням відповідних режимів гартування) - до бейнітної

20 структури, наприклад, для ВЧ зі структурою нижнього бейніту твердістю 350...550 НВ, а також з можливим утворенням у останній структурі включень мартенситу з твердістю 550...650 НВ.

Для прикладу виконали орієнтовний розрахунок для чотирьох виливків лезового типу масою по 3 кг. Приблизно 30 % їх маси врахували на нагрівання піщаного об'єму, який вони оточують, а решта маси виливків нагріває зовнішні оточуючі кластер піщані шари. При теплоємності

25 кварцового піску 0,8 кДж/(кг·°C) для нагрівання його, зокрема, масою 6 кг до температури 600 °C буде витрачено 2880 кДж. При насипній щільності піску 1600 кг/м³ акумуляуючий тепло піщаний об'єм масою 6 кг буде об'ємом 0,00375 м³. Тепер розрахуємо кількість тепла, яким виливки кластера нагрівають цей об'єм піску, який оточує їх, та порівняємо розрахунки за принципом теплового балансу.

Згідно з табличними даними для нагрівання чавуну однієї з типових марок його тепловміст при 1350 °C складає близько 1137 кДж/кг (включно з теплотою плавлення), а при 600 °C - 321

кДж/кг. Охолодження вказаних чотирьох виливків до 600 °C при передачі теплоти у зазначеній мірі вказаному піщаному об'єму $(1137-321) \times 4 \times 1 = 3264$ (кДж). Тобто, за цими розрахунками вказані 4 виливка масою по 3 кг цілком можуть нагріти об'єм піску масою 6 кг вище 600 °C.

На температурі 600 °C зроблено акцент тому, що під час гартування більшість залізвуглецевих сплавів в інтервалі охолодження від 600 до 500 °C мають найменшу стійкість аустеніту з можливим перетворенням його у перліт. Сповільнення охолодження однієї поверхні виливка з таких сплавів у цьому інтервалі робить цю поверхню менш твердою, ніж поверхню, що швидко охолоджується в цьому інтервалі при гартуванні до більш твердих структур,

40 отримуваних за відомими режимами термообробки. Вище наведений приклад розрахунку може стосуватись виливків типу лемехів, плоскорізів, лап культиваторів, придатних для лиття з ВЧ. А також подібний результат буде для виливків з більшим тепловмістом, більш масивних, як коронки чи зуби екскаватора, відвала бульдозера, а також виливків зі сталі.

Також розташування ливникової системи у центрі кластера в його центральному піщаному об'ємі інтенсифікує нагрівання останнього (на додачу впливу тепла від стінок виливків), може сприяти диференційованого впливу на метал як під час його кристалізації, так і охолодження з отриманням функціонально-градієнтних матеріалів виливків у ливарній формі, що дозволить збільшити їх ресурс за рахунок реалізації ефекту самозагострювання у процесі їх зношування.

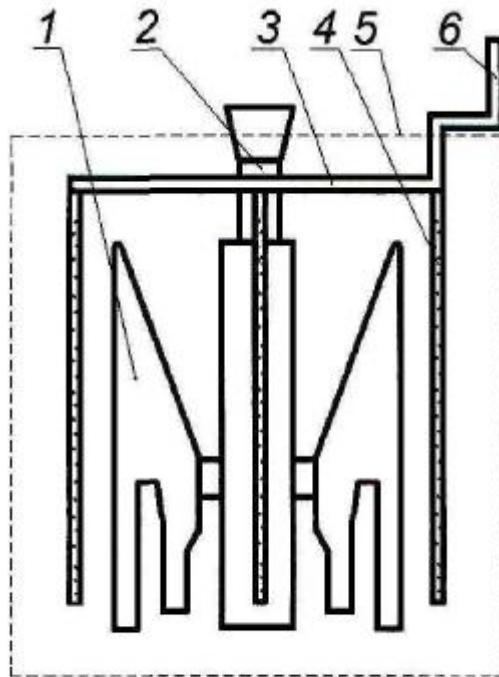
Використання для цього створення диференційованих умов тепловідводу в матеріалі ливарної форми виконано з мінімальними витратами - практично без зміни відомих

50 відпрацьованих ливарних чи ливарно-термічних технологій, головним чином за рахунок конструювання модельних кластерів. Виливки з різною твердістю їх поверхонь також необхідні для зносостійких деталей, одна з поверхонь яких піддається механічній обробці, для чого ця поверхня для спрощення такої обробки має бути з твердістю не вище 300...350 НВ, а інша

55 поверхня (для екстремальних умов експлуатації) - значно вищої твердості. Зокрема, це стосується гальмівних деталей (колодок, дисків тощо), поверхня яких, що третяся, має бути твердою та зносостійкою, тоді як інші частини деталі потребують механічної обробки деяких поверхонь.

ФОРМУЛА КОРИСНОЇ МОДЕЛІ

1. Спосіб виготовлення виливків за моделями, що газифікуються, що включає виготовлення
 5 модельного кластера з двох чи більше моделей виливків, які кріплять до моделі ливникової
 системи, розміщення цього модельного кластера в піщаному наповнювачі ливарної форми,
 заливання металевого розплаву у цю форму крізь ливникову систему з використанням її моделі,
 газифікацією модельного кластера, твердіння розплаву з утворенням виливків, охолодження
 10 виливків з подачею холодоагенту на окремі їх поверхні і видалення виливків з форми, який
відрізняється тим, що модельний кластер виготовляють і розміщують в піщаній ливарній
 формі так, що між певними поверхнями виливків, які не підлягають поданню на них
 холодоагенту, утворюють об'єм піщаного наповнювача, який нагрівається теплом від виливків
 та виконує функцію теплового акумулятора, гальмуючи тепловідвід від дотичної до нього
 15 поверхні виливків.
2. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що у об'ємі піщаного наповнювача, який після
 утворення виливків виконує функцію теплового акумулятора, розміщують модель ливникової
 системи.
3. Спосіб за п. 1, який **відрізняється** тим, що як металевий розплав використовують
 20 залізовуглецевий сплав, при якому виконують нагрівання цього об'єму піщаного наповнювача
 до температури не нижче такої, що відповідає інтервалу температури найменшої стійкості
 аустеніту для цього сплаву.



Фіг. 1

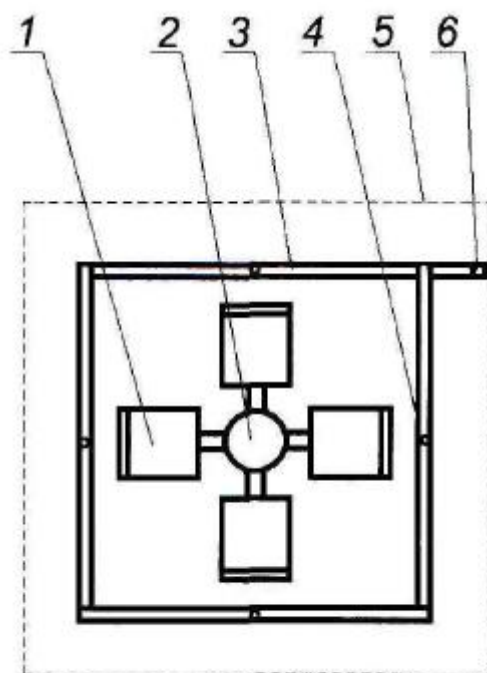


Fig. 2

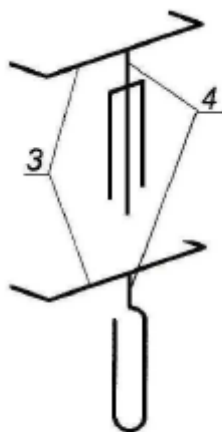


Fig. 3