

Область застосування: Зварювання тертям за допомогою обертового диску може використовуватися у суднобудівній, ракетобудівній, літакобудівній промисловості та інших галузях машинобудування для виконання стикових та таврових зварних з'єднань великої довжини в листових та оболонкових конструкціях із алюмінієвих, титанових, а також інших сплавів. Може бути також застосовано при зварюванні термопластичних полімерів.

Аналоги: В широковідомому способі зварювання тертям деталі, що зварюються, спочатку розігрівають шляхом взаємного тертя одне об друге по місцю стику, а потім стискають і фіксують при охолодженні. Цей процес порівняно просто реалізується при з'єднанні циліндричних деталей. Для деталей інших форм потрібно застосування складних пристроїв, що створюють взаємне зворотно-поступальне зміщення деталей з великою частотою. Наприклад, у патенті США №346732 (спосіб зварювання листів встик) для отримання якісних з'єднань потрібна висока точність підгонки та прямилинійності стику. Зварювання тертям задовгих листових деталей малої товщини не знайшло застосування в промисловості.

Відомий спосіб зварювання тертям (АС СРСР №1586879 від 31.10.88.), під час якого торці деталей, що з'єднуються, розігрівають за допомогою обертового диска з температуростійкого матеріалу, а вже після цього виконують проковування з'єднання. Недоліком цього способу є те, що потрібно розігрівати велику ширину крайок до високої температури. При зварюванні великих товщин такий розігрів є малоефективним. Окрім цього, спосіб може бути застосований тільки до матеріалів, які піддаються зварюванню проковкою.

Відомий спосіб зварювання тертям за допомогою обертового диску (SU1655725A, B23K20/12, 15/06/1961), при якому на поверхні деталей по стику виконують канавку, вздовж якої диск рухається поступально в напрямку зварювання. Для втілення процесу зварювання твірна поверхня диску має симетричну проточку таким чином, що бокові частини диску мають більший діаметр і при зварюванні глибше занурені у деталі. Завдяки формі проточки пластифіковані крайки зближуються і відбувається процес з'єднання їх внаслідок стиснення. Найбільш суттєвим недоліком цього способу є незадовільна якість з'єднання по лінії змикання крайок.

Відомий оригінальний спосіб зварювання, що захищений піонерським патентом IPM:W095/1035 від 10.06.93; IPC B2Ж 20/12, B29C 65/06 і уточнений патентом W095/26254 від D5.10.95 під назвою зварювання тертям з перемішуванням (Friction Stir Welding, FSW).

Суть способу полягає у тому, що для зварювання деталей, зібраних в з'єднання і притиснутих одна до одної крайками, що зварюються, використовується проміжний робочий інструмент у вигляді обертового стрижня з матеріалу більш термостійкого, ніж у деталей, який під час зварювання заглиблюється в тіло деталей, обертається і • переміщується відносно них, створюючи при цьому в з'єднанні пластифіковану зону внаслідок розігріву тертям, причому в зоні пластифікації матеріал з'єднання зазнає переміщення з перемішуванням. Для здійснення процесу стрижень конструктивно виконаний таким чином, що має, по перше, плескату частину торця, яка фрикційно торкається поверхні деталей, що зварюються, а по-друге - центральну частину меншого діаметру, яка виступає із торця по формі пальця. Під час зварювання виступ є занурений у метал майже на всю його товщину і під час обертання перемішує його. Для формування з'єднання створені умови для пресування матеріалу в задній зоні перемішування. У відомому способі для цього деталі заневолюють з боків допоміжними притискачами, а торцем стрижня зону зварювання прижимають до підкладки, причому для покращання режиму пресування стрижень відхилений назад на деякий кут.

Принципово новим у цьому способі на відміну від інших способів зварювання тертям з те, що тут відбувається зняття матеріалу деталей на крайках та переміщення його з перемішуванням і пресуванням, причому відбувається спочатку розрив міжкристалічних зв'язків у матеріалі шва з наступним миттєвим поновленням їх у новій структурі.

Основними недоліками способу є велика ширина шва, мала швидкість зварювання, неможливість подавання присаджувального дроту та необхідність створення припливів на деталях для підсилення з'єднання.

Прототип. Найближчим по суті до способу, що пропонується, є спосіб RU2173619 Cl, B23K 20/12, у якому на зібрані у стик і затиснуті з боків деталі встановлюють пристрій - повзун з прорізю, притискають цим пристроєм деталі до підкладки, потім у проріз вводять диск, який обертається з великою швидкістю і занурюють його в крайки деталей, матеріал яких пластифікуються, розігріваючись внаслідок роботи сил тертя, а потім поступально рухають диск разом із повзуном вздовж стику в напрямку зварювання. При цьому знятий з крайок матеріал деталей диском переноситься з передньої зони у задню, де обтискується за допомогою повзуна. Найбільш характерні процеси, які відбуваються при зварюванні відомим способом наступні:

розігрів, пластифікація та зняття основного матеріалу з крайок деталей з розривом міжкристалічних зв'язків;

переміщення матеріалу шва з передньої зони в задню із подрібненням, перемішуванням та миттєвим відновленням міжкристалічних зв'язків;

формування в задній зоні нероз'ємного з'єднання в умовах обмеження об'єму пластифікованого матеріалу.

Критика прототипу. 1. При зварюванні відомим способом процес формування шва супроводжується неминучими втратами матеріалу, що знятий з крайок деталей. Основна причина полягає у тому, що не весь перенесений матеріал знімається з диску додатковим пристроєм. На диску після повзуна залишається шар матеріалу деякої товщини, що продовжує обертання у передню зону, де зустрічає опір твердих, ще недостатньо розігрітих крайок. Тут частина залишкового шару знімається з диску і накопичується у вигляді рихлої маси. Ця маса, охолоджуючись, твердішає і вимушено пересувається попереду разом із диском та повзуном. Окрім цього матеріал природно розсіюється по бічних частинах диску. Як наслідок під повзуном отримуємо недостатньо матеріалу для формування щільного з'єднання (особливо початок і кінець), шов містить велику кількість порожнин, що мають вигляд видовжених пор. У відомому способі деталі, що стикаються, мають бути дуже добре підігнані, без проміжків по стику, інакше це також призводить до дефіциту матеріалу шва. Навіть незначна різниця по товщині зварюваних деталей або відхилення їх від також

плескатості призводить до погіршення щільності з'єднання. Зрозуміло, що дефіцит матеріалу для спресовування шва особливо відчутний при зварюванні тонких з'єднань.

2. Механічні властивості з'єднання, одержаного відомим способом, нижчі аніж у основного металу (особливо це стосується високоміцних сплавів), оскільки в процесі перемішування відбуваються небажані зміни структури. Загалом ця проблема може бути вирішена формуванням необхідного підсилення зварного шва, введенням в нього елементів легування та застосування захисних газів. Накопичення твердої рихлої маси перед диском перешкоджає внесенню присаджувального матеріалу очевидними методами.

3. Значний опір твердої передньої зони деталей обумовлює велику товщину диску і малу швидкість зварювання відомим способом, а процес формування шва є критичним, що пояснюється механізмом трансформації матеріалу шва. Частиці металу переносяться з передньої зони до задньої завдяки їх руху подібно гідравлічній течії, яку ініціює твірна поверхня диску. Перемішування відбувається переважно в задній зоні, де частки, які знаходяться ближче до центру з'єднання, зазнають гальмівної дії часток, що знаходяться ближче до периферії.

З одного боку важко забезпечити режим формування з'єднання на малих товщинах внаслідок того, що основна кількість матеріалу шва перетікає через вузький проміжок між низом диску та підкладкою. Чим більша ширина течії, тим гірша однорідність перемішування. Шви, виконані на тонких пластинах, мають низьку якість переважно з причини неоднорідної структури із залишками сліду стику (неподрібнених окисних плівок та нез'єднань зерен) у центрі і різкої зміни зернистості по зоні сплавлення. При відносно малій товщині деталей, що зварюються відомим способом (для Al-сплавів менше за 3мм), коли тепла необхідно вводити мало (інакше зразки втрачають твердість в широкій зоні і порушуються умови обтискання), а проміжок знизу диску надто тонкий для проходження малопластичного матеріалу, формування шва не відбувається.

З іншого боку важко забезпечити формування з'єднання на великих товщинах внаслідок перегріву матеріалу вище температури солідусу. Збільшення товщини заготовок для зварювання потребує збільшення кількості матеріалу (швидкості) потоку та одночасного збільшення кількості теплоти (відновлення), яка витрачається на розповсюдження. Ці параметри пропорційно змінюються із зміною лінійної швидкості обертів диску. Але зі збільшенням температури зменшується товщина (глибина) течії з причини зростання пластичності у шарі матеріалу. При відносно великій товщині зразків, що зварюються відомим способом (для Al-сплавів вище 9мм), виникає режим, коли теплота не встигає розповсюдитись від диску, тоді матеріал течії перегрівається настільки, що стає надто тонким, і наповнення шва не відбувається (значна кількість матеріалу проходить крізь щілину між диском та повзуном). Шви, виконані відомим способом на товстих пластинах, мають низьку якість переважно за рахунок нещільної структури з наявністю великої кількості порожот по об'єму і перегрітих включень із втратою елементів легування.

4. Твірна поверхня повзуна, що пересувається по стику, є плоска; При виконанні кутових з'єднань відомим способом потрібно в деталях, що зварюються, створювати відповідні припливи, які створювали б плескату смугу біля шва дещо більшої ширини, ніж товщина диску. Такі ж припливи потрібно створювати при зварюванні деталей різної товщини і для утворення підсилення зварного шва при зварюванні сплавів, що розміщуються при зварюванні.

Таким чином, найбільш суттєвими недоліками відомого способу є:

1. низька якість з'єднання;
2. неможливість легування матеріалу шва;
3. неможливість одержати підсилення стикових з'єднань або радіусні переходи кутових з'єднань, або з'єднань різної товщини без попереднього створення на деталях фасонних припливів.
4. підвищені вимоги до підгонки щілини в стику, до плескатості поверхні деталей, що зварюються, та до відхилень їх по товщині;
5. мала швидкість зварювання;
6. завищена ширина зварного шва;
7. обмежена (зверху і знизу) допустима товщина деталей для зварювання.

Новий спосіб і пристрій для зварювання тертям спрямований на вирішення задачі покращання якості зварного з'єднання, забезпечення можливості легування шва або формування потовщень на стикових швах, або формування необхідних радіусних переходів в кутових і різнотовщинних з'єднаннях, збільшення швидкості зварювання, зменшення ширини зварного шва, розширення діапазону товщин, що підлягають зварюванню, зниження вимог до якості підготування крайок деталей, що зварюються.

Суть нового способу і пристрою зварювання тертям обертовим, при якому зібрані в стик листові деталі притискають до підкладки допоміжним інструментом у вигляді повзуна з прорізю, а основний інструмент у вигляді диску вставляють у прорізь, обертають навколо своєї осі і занурюють в матеріал деталей у місці стику і переміщують разом із повзуном поступально у напрямку зварювання, при цьому зварювання утворюється внаслідок пластифікації матеріалу шва від роботи сил тертя, переміщення його з передньої зони зварювання в задню, перемішування та обтиснення в останній, полягає у тому, що у проміжок між деталями та диском у передній зоні подають присаджувальний матеріал у вигляді стрічки або дроту з регулюванням зусилля притиснення до твірної поверхні диску, а об'єм пластифікованого матеріалу, що утворюється у проміжку, обмежують приймальною камерою, полягає у тому, що крайки деталей розроблюють в передній зоні зварювання, для чого твірна поверхня диску по центру товщини має реборду, висота якої відповідає товщині деталей, полягає у тому, що твірна поверхня повзуна в задній зоні має формуючу канавку зі звуженням, яке відповідає формі підсилення шва, а в передній зоні - приймальну канавку для обмеження об'єму пластифікованого матеріалу присадки, полягає у тому, що твірна поверхня диску має періодично розташовані виступи та западини, виконані, наприклад, як шестерня двоякого укусу, полягає у тому, що основний інструмент складається із трьох дисків, центральний з яких виступає як реборда, причому кожна складова або тільки центральна виконана з окремих пелюшок, наприклад, як щітка-голкофреза. Конструктивна схема нового способу подана на фіг.1, де: 1 - присаджувальний матеріал; 2 - приймальна камера; 3 - деталі, що зварюються; 4 - диск обертовий; 5 - пластифікований матеріал; 6 - реборда; 7 - стик; 8 - шов; 9 - фільєра

повзуна; 10 - повзун.

Пристрій для зварювання тертям з перемішуванням за новим способом складається із обертового диска, повзуна, що ковзає позаду диска по поверхні деталей, що зварюються, і приймальної камери для подавання присаджувального матеріалу.

Приймальна камера розташована у передній зоні і може бути виконана за одне ціле із повзуном, як канавка, обернена до поверхні деталей. Тут, внаслідок розігріву акумулюється об'єм пластифікованого матеріалу у вузькому проміжку між диском та деталями. Матеріал присадки у вигляді, наприклад, стрічки, вводять в камеру примусово із зусиллям F . Регулюванням зусилля змушують пластифікуватись матеріал в об'ємі проміжку та створюють умови, за яких пластичність матеріалу в камері вища аніж у залишкового шару (про нього йшлося раніше). Сила F спричиняє пересування матеріалу в камері у напрямку твірної поверхні диску та притискання до неї.

Стінки камери перешкоджають витисненню матеріалу на сторони і спрямовують його на твірну поверхню диску. Обертовий диск ініціює рух "під себе" пластифікованого матеріалу, що знаходиться в камері. При цьому з'являється можливість дещо підвищити швидкість зварювання внаслідок додаткового підігріву крайків деталей матеріалом камери.

Повзун по новому способу слугує для формування підсилення в умовах пресування металу шва. Для цього в повзуні виконана канавка перемінного перерізу - починаючись від прорізі по формі диска, вона має форму філь'єри, що звужується і закінчується вихідним перерізом за формою підсилення зварного з'єднання (Фіг.2, де: 1 - деталі, що з'єднуються; 2 - стик; 3 - шов; 4 - повзун; 5 - прорізь повзуна для реборди диску; 6 - поверхня повзуна, що обернена до бічних частин диску; 7 - філь'єра. Для обтискання деталі фіксуються з боків від розбігу допоміжним інструментом і притискуються повзуном до підкладки з певним зусиллям, щоб перешкодити вигину від плескатості.

Профіль філь'єри разом з підкладкою створює форму, подібну до тих, що використовуються в пристроях для отримання пресованих профілів, а фізичний процес, що має місце у філь'єрі, подібний до процесу пресування. Тиск пресування у філь'єрі створюється, по-перше, за рахунок нагнітання матеріалу течії обертовим диском, по-друге - примусовим протягненням матеріалу відносно філь'єри під час пресування повзуна по з'єднанню, що охолоджується, твердішає. За наявності пресування по новому способу щільність матеріалу шва вища.

Найбільш раціональна конструкція диска складається із трьох частин: двох бічних, які при зварюванні своїми циліндричними поверхнями фрикційно торкаються із деталями, що зварюються, по зоні біля шва і центральної, яка виступає із бічних як реборда і під час зварювання занурена в деталі майже на всю їх товщину. Такий диск є ініціатором більш ефективного перемішування і нагнітання матеріалу внаслідок того, що реборда введена в об'єм філь'єри.

Кількість теплоти, що генерується тертям, залежить від розміру контактуючої кромки обертового диску. У пристрої по новому способу маємо можливість збільшити ширину бічних частин диску для підвищення інтенсивності процесу без зміни товщини реборди. Процес по новому способу зароджується з операції розроблювання стику переднім краєм реборди. Про це свідчать рештки механічного відрізання матеріалу на початку сліду від диску при спеціально раптової зупинці процесу зварювання. Тонка реборда підрізає крайки деталей у холодному стані, чим забезпечується симетричність подальшого розігріву і перемішування, навіть у випадку відхиленню стику чи товщини щілини. Тут щільна підгонка стику не обов'язкова, навпаки, наявність щілини зменшує опір реборді. Як результат за новим способом швидкість зварювання суттєво збільшується порівняно із відомим.

Товщина реборди незначна (0,5-2,5мм), тому ширина шва, що виконаний новим способом, у декілька разів менша, аніж у відомому способі. Перемішуванню підлягає менший об'єм металу при довгому переміщенні, внаслідок чого воно більш інтенсивне. Завдяки посиленій течії, частки металу, що захоплюються диском, зазнають більшого подрібнення. Отримуємо рекомбінацію зв'язків з більшим насиченням, подрібненням та однорідністю, ніж у відомого способу.

По новому способу за наявності відповідної кількості присаджувального матеріалу якісна підгонка поверхні деталей, що стикаються, не потрібна і є можливим сформувати шов з достатнім підсиленням, яке буде відповідати вихідному перерізу пази повзуна. Крім цього є можливість сформувати підсилення по кореню шва, для чого потрібно у підкладці виконати відповідну канавку.

Якість шва, який виконано новим способом, краща завдяки більш однорідній та дрібнозернистій структурі. Наповнення шва щільне, без дефектів типу шпаринок та нез'єднань по границі зерен. Завдяки введенню елементів легування та формування підсилення величина міцності зварного з'єднання за новим способом підвищується до рівня основного металу.

Для нового способу не має необхідності створювати додаткові припливи при зварюванні кутових швів або різних за товщиною листів. У цьому випадку достатньо бокові частини диску виконати або конічними, або різного діаметру (Фіг.3, де: 1 - схема зварювання тертям з перемішуванням за допомогою диску деталей різної товщини; 2 - схема зварювання тертям за допомогою диску таврового з'єднання). Слід відмітити, що це суттєво поліпшує практичне використання способу при зварюванні таврових з'єднань, оскільки в них плавні радіусні переходи є необхідними.

Твірна поверхня диску, особливо реборда, може бути виконана конструктивно як постійного перерізу, так і може бути обладнана періодично розташованими по ободу виступами і западинами. В останньому випадку перемішування буде більш однорідним. Конфігурація ободу диску може бути, наприклад, як шестерня із зубами двоякого укусу (у вигляді протектора колеса всюдиходу). В усякому разі вона повинна бути раціональною, виходячи із стійкості, ресурсу і працездатності диску та якості перемішування матеріалу.

Але, все рівно, суцільна реборда є ініціатором течії матеріалу шва переважно поздовжньої орієнтації, що не сприяє однорідності структури шва. Крім того, під час поступального руху такої реборди протидіє опір недостатньо розігрітої передньої зони металу стику. Цих недоліків можна позбутися, якщо центральну частину диску виконати з окремих, розташованих по діаметру пелюсток, що можуть пружно відгинатись, наприклад, у

вигляді щітки-голкофрези (Фіг.4, де: 1 - центральна частина диску (щітка голко-фрези); 2 - бічна частина диску; 3 - повзун; 4 - деталі, що зварюються; 5 - зона пластифікації). Такі пелюстки разом працюють як реборда (у частині, що виступає), а кожна окремо - це мініатюрний шпатель, що знімає дрібні порції металу з передньої зони зварювання і переносить їх в задню, причому, в силу того, що пелюстка має можливість вигинатися від твердого опору, знімання буде проходити винятково із м'якої пластифікованої зони. Внаслідок цього підвищується швидкість зварювання і однорідність перемішування.

Бічні частини диску можуть бути також виконані як металева щітка. У порівнянні із суцільним варіантом, така конструкція має дві переваги: по-перше – поперед диску під фрикційним контактом знаходиться більша за довжиною ділянка стику; по-друге - частки матеріалу, які реборда намагається витиснути із центра стику на обидва боки, такою щіткою примусово заносяться у філь'єру.

Приклад конкретного виконання

На фіг.5 подано фото лабораторного пристрою для зварювання зразків із алюмінієвих сплавів за новим способом. Де: 1 - диск обертовий; 2 - зразок, що зварюється; 3 - механізм пересування зразка; 4 - приймальна камера; 5 - супорт повзуна.

На лабораторному пристрої одержано зразки стикових та кутових з'єднань пластин із алюмінієвих сплавів АД31 завтовшки 0,5+3мм, Діб завтовшки 20мм, Амг61 завтовшки 5мм, Амг6НН завтовшки 16мм, А6013 завтовшки 2+3мм. При якісному заповненні шва одержували підсилення заввишки до 5мм.

На фіг.6 наведені фото лицьового (1) та зворотного (2) боку зразків зварного стикового з'єднання зі сплаву АД31 товщиною 1,5мм, що отриманий на лабораторному пристрої.

Перелік фігур.

Фіг.1 - Схема зварювання тертям з перемішуванням за допомогою обертового диска.

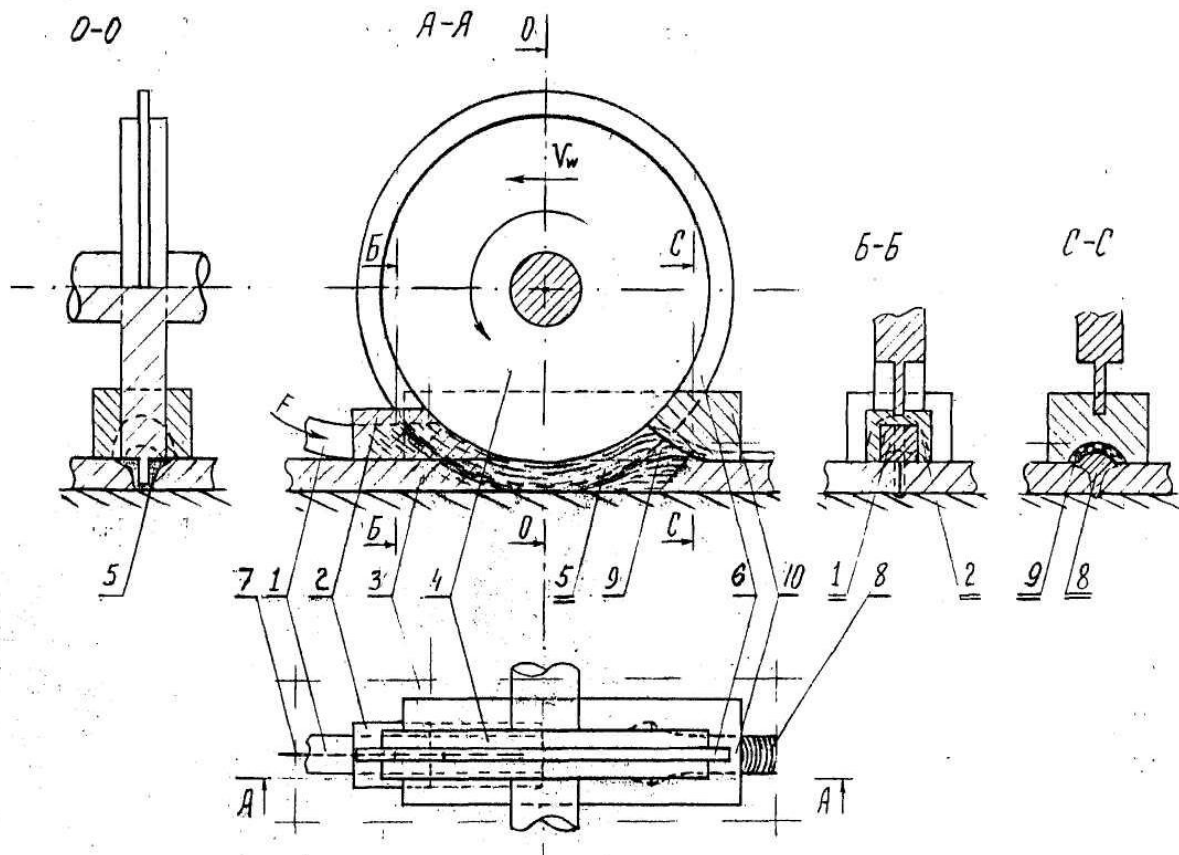
Фіг.2 - Ескіз конструкції повзуна.

Фіг.3 - Схема зварювання тертям з перемішуванням таврових та різних за товщиною з'єднань.

Фіг.4 - Ескіз конструкції центральної частини диску, що складається з окремих пелюсток.

Фіг.5 - Лабораторне обладнання для зварювання тертям з перемішуванням за допомогою обертового диска.

Фіг.6 - Зразки із сплаву АД31, що зварені новим способом.



Фіг. 1

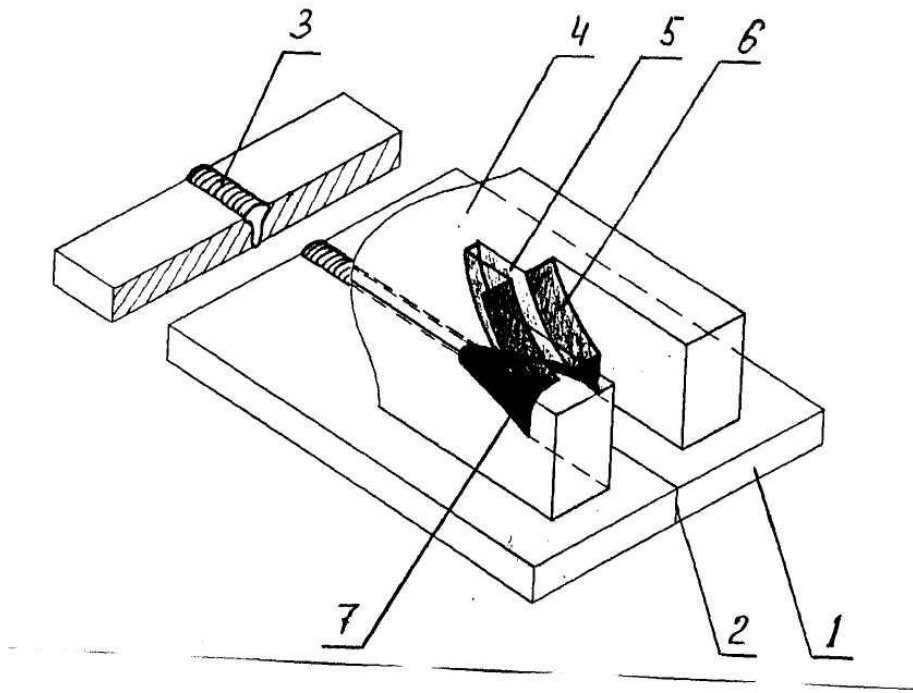


Fig. 2

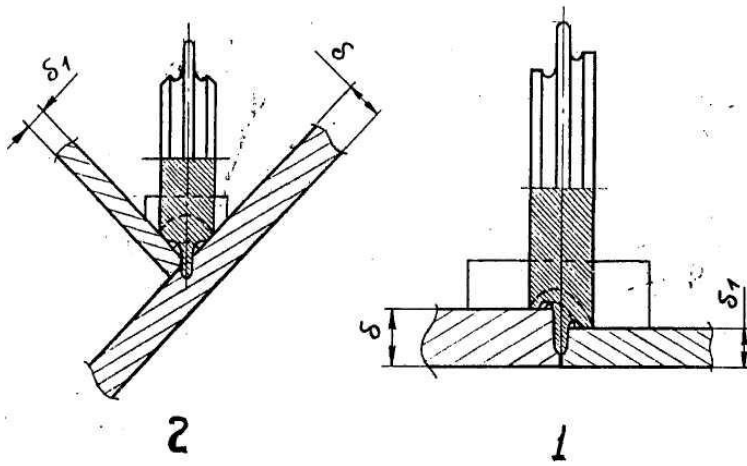


Fig. 3

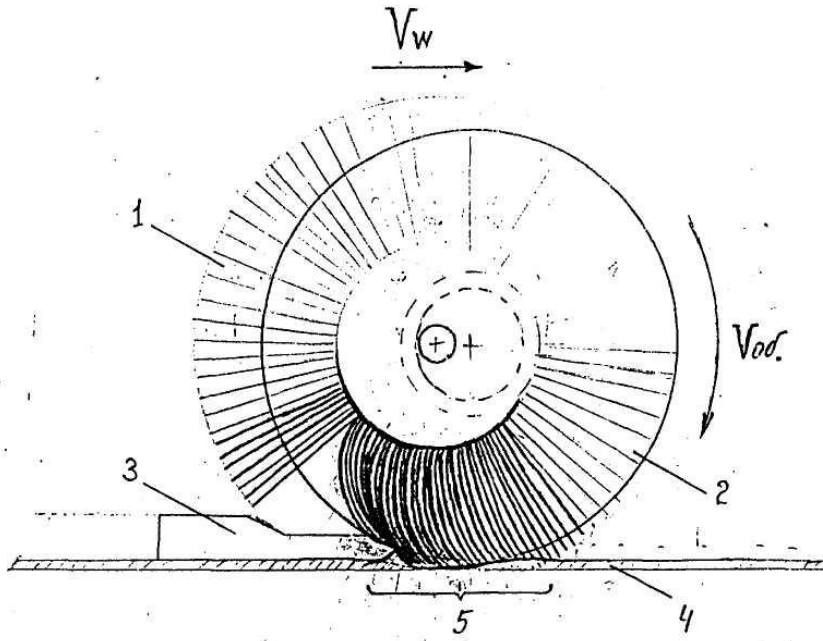


Fig. 4

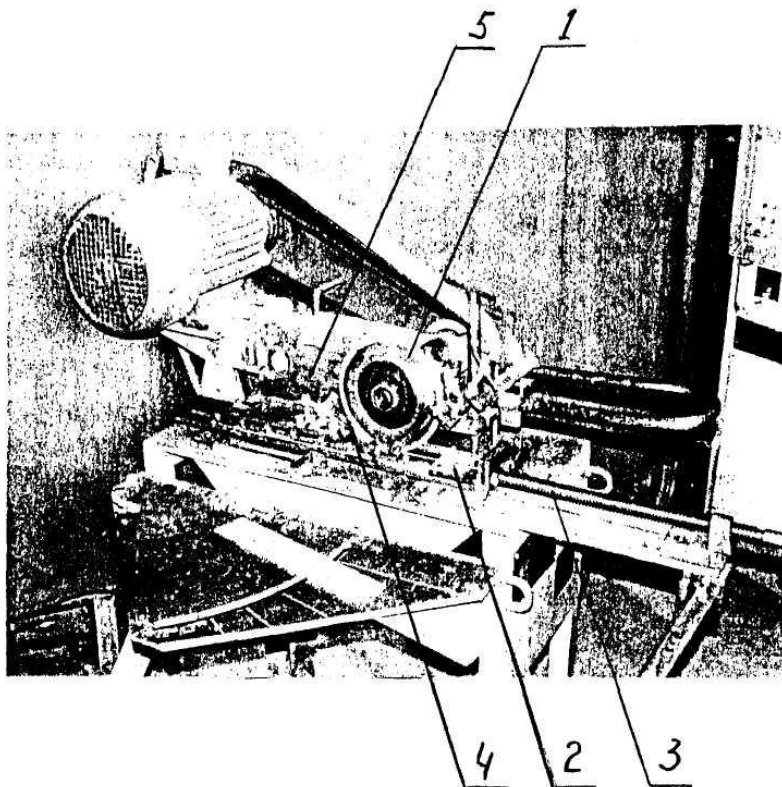


Fig. 5

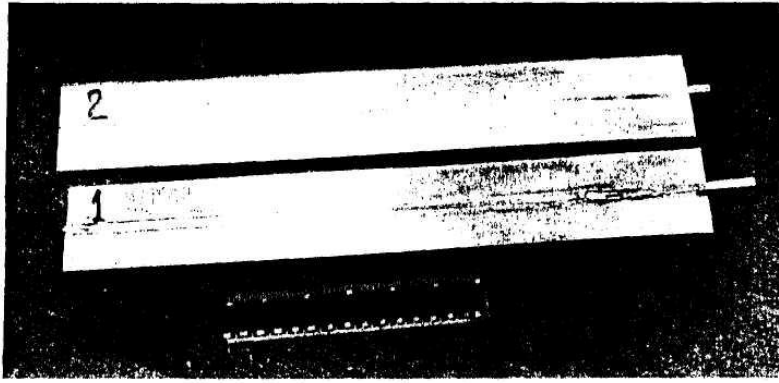


Fig. 6