

Цей винахід відноситься до гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, що містить сталеву основу і покриття з алюмінієвого сплаву, щонайменше, на одній стороні сталеві основі, причому покриття включає оптимізовану щільність тріщин, деталь має чудову адгезію до фарби і чудову здатність до точкового зварювання. Цей винахід також відноситься до способу виготовлення гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

Такі деталі також можна використовувати, наприклад, в автомобільній промисловості для виготовлення структурних елементів, що виконують функції захисту від проникнення або поглинання енергії.

У таких випадках бажано мати сталеві деталі, які поєднують в собі високу механічну міцність, високу удароміцність, хорошу корозійну стійкість і точність розмірів. Деталі автомобіля, такі як передні або задні бруси даху, подовжні бруси даху кузова, середні стійки кузова легкового автомобіля, та деталі шасі, такі як нижні важелі підвіски, опори двигуна, особливо потребують цих властивостей.

Аби задовольнити ці вимоги, такі деталі тепер зазвичай виробляються методом гарячого штампування (також званим загартуванням під пресом). В процесі гарячого штампування, як розкрито, зокрема, в FR 2780984 і FR 2807447, заготовка, вирізана із сталевих листа, заздалегідь покритого металом або металевим сплавом, нагрівається в печі до температури, при якій мікроструктура фериту і цементита низковуглецевої сталі принаймні частково перетворюється на аустеніт, а потім піддається гарячому штампуванню в штампі. Під час штампування деталь утримується в штампі для досягнення швидкого охолодження, що приводить до утворення бажаної загартованої мікроструктури і набуття бажаних механічних властивостей. Попереднє покриття може бути алюмінієм або алюмінієвим сплавом. При нагріві в печі попереднє покриття сплавляється зі сталеву основу для утворення сполуки, що забезпечує захист поверхні сталі від знеуглецювання і утворення окалини.

Останнім часом основна увага була приділена покриттю деталі після гарячого штампування й тому, як воно впливає на властивості використовуваних деталей.

У WO 2008/053273A1 було запропоновано обмежити товщину попереднього покриття від 20 до 33 мкм в кожному місці й контролювати процес гарячого штампування, особливо швидкість нагріву і параметри аустенізації, аби досягти сприятливої послідовності й морфології безперервних шарів покриття деталі, що приводить до поліпшення зварюваності.

Проте залишається бажаним створити гарячештамповану сталеву деталь, що має дедалі покращену здатність до точкового зварювання та покращену адгезію до фарби, яка може бути вироблена з розширеним діапазоном товщини попереднього покриття.

Додатково, навіть якщо в деяких випадках адгезія до фарби може бути покращена, це покращення досягається на шкоду здатності до точкового зварювання, так що залишається бажаним створити деталь, що поєднує в собі чудову адгезію до фарби і чудову здатність до точкового зварювання.

Таким чином, винахід направлений на створення гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, що містить сталеву основу й покриття з алюмінієвого сплаву щонайменше на одній стороні сталеві основі, що має одночасно чудову адгезію до фарби і чудову здатність до точкового зварювання, а також спосіб для її виготовлення.

Зокрема, бажано створити гарячештамповану сталеву деталь з покриттям, що має щонайменше одну недеформовану частину з діапазоном зварювання, виміряним відповідно до стандарту SEP 1220-2 (2011 р.), більше за 1 кА, разом із відмінними експлуатаційними характеристиками адгезії до фарби. Адгезія до фарби оцінюється шляхом проведення дослідження фарби на висихання і випробування на адгезію до мокрої фарби відповідно до стандарту ISO 2409:2013. Адгезія до фарби вважається відмінною, якщо результат випробування із сухою фарбою суворо нижчий за 1.

З цією метою винахід відноситься до гарячештампованої сталеві деталі з покриттям згідно з пунктом формули 1.

Гарячештампована сталеву деталь з покриттям переважно має одну або декілька ознак за пунктами формули 2-13.

Винахід також відноситься до способу виготовлення гарячештампованої сталеві деталі з покриттям відповідно до пункту формули 14.

Цей спосіб переважно включає одну або декілька ознак пунктів формули 15-24.

Винахід також відноситься до використання гарячештампованої сталеві деталі з покриттям згідно з винаходом або виготовленої способом згідно з винаходом, для виготовлення деталей шасі або кузова або важелів підвіски для автомобільних транспортних засобів.

Тепер винахід буде детально описаний і проілюстрований прикладами без введення обмежень, з урахуванням наступних фігур, на яких:

- Фіг. 1 схематично ілюструє приклад гарячештампованої сталеві деталі з покриттям згідно з винаходом,

- Фіг. 2 представляє поперечний переріз покриття на недеформованій частині деталі згідно з винаходом, як спостерігається в даному полі зору,

- на Фіг. 3 показаний приклад поперечного перерізу покриття на недеформованій частині іншої деталі, де лінійна щільність тріщин недостатня.

Винахід відноситься до гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

Гарячештампована сталева деталь з покриттям є непласкою деталлю, виготовленою шляхом гарячого штампування заготовки.

Сталевий лист відноситься до плоского сталевих листа. Під сталевим листом тут мається на увазі гарячекатаний сталевий лист або холоднокатаний сталевий лист у вигляді котушки або вирізаний з такої котушки.

Сталевий лист має верхню і нижню грань, які також називаються верхньою і нижньою сторонами або верхньою і нижньою гранями або поверхнями. Відстань між указаними гранями визначається товщиною листа. Товщину можна виміряти, наприклад, за допомогою мікрометра, шпіндель і стрижень якого розташовані на верхній і нижній гранях, причому вісь між шпінделем і стрижнем розташована перпендикулярно поверхні листа. Аналогічним чином можна виміряти товщину і на формованій деталі. Аналогічним чином можна виміряти товщину і на заготівці, і на деталі.

Під сталевою заготовкою розуміється плоский сталевий лист, який був вирізаний у будь-якій формі, відповідній для його використання, або заготовка, виготовлена шляхом розрізання двох або більше сталелистових матеріалів, які можуть мати різну товщину або різний склад, до необхідної форми і зібраних разом, зокрема зварених разом.

Під середньою товщиною деталі або частини деталі розуміють загальну середню товщину матеріалу, з якого складається деталь, після того, як зі спочатку плоского листа була сформована тривимірна деталь.

Під однорідною товщиною мається на увазі, що товщина даної заготовки, деталі, листа або її ділянки або частини є постійною, а максимальна зміна товщини заготовки, деталі, листа або її ділянки або частини вища або нижча середньої товщини заготовки, деталі, листа або ділянки або частини складає не більше 0,1 мм. Зокрема, під однорідною товщиною мається на увазі, що жодна зміна товщини не була доволі допущена під час виробництва, особливо під час виробництва листа при гарячій і/або холодній прокатці, а також під час формують операцій при виробництві деталі.

Нижче товщина заготовки, деталі, листа або її ділянки або частини з однорідною товщиною визначається як середня товщина цієї заготовки, деталі, листа або її ділянки або частини.

Крім того, термін "товщина" використовується на позначенні товщини заготовки, деталі, листа або її ділянки або частини однорідної товщини, тоді як термін "середня товщина" використовується в загальнішому сенсі на позначенні середньої товщини заготовки, деталі, листа, або її ділянки, або частини, незалежно від того, чи є товщина однорідною або змінною.

Спроектвані зварні заготовки "по викрійці" виготовляються шляхом збирання, наприклад, за допомогою лазерного зварювання, декількох листів або вирізаних сталевих заготовок, відомих як підзаготовки, з метою оптимізації характеристик деталі в її різних областях і зниження загальної ваги деталі, аби знизити загальну вартість деталей і скоротити відходи матеріалів. Підзаготовки, що утворюють спроектовані зварні заготовки "по викрійці", можуть бути зібрані з перекриттям або без нього, наприклад, вони можуть бути з'єднані лазерним стиковим зварним з'єднанням (без перекриття) або точковим зварюванням одне з одним (з перекриттям).

Гнучка заготовка є різновидом індивідуально звареної заготовки "по викрійці", що має ділянки, де принаймні частина з'єднання між різними підзаготовками не є жорсткою, що дозволяє підзаготовкам переміщатися у різних напрямках під час операції формування у відповідних ділянках.

На відміну від зварної заготовки "по викрійці", монолітна заготовка відноситься до заготовки, яка складається з однієї єдиної підзаготовки без об'єднання декількох підзаготовок разом.

Прокатна заготовка "по викрійці" - це заготовка, що має змінну товщину, тобто зміну товщини уздовж заготовки, отриману методом диференціальної прокатки в процесі виробництва сталевих листа.

Гаряче штампування – це технологія формування, яка включає нагрівання заготовки до температури, при якій мікроструктура сталі принаймні частково трансформується на аустеніт, формування заготовки при високій температурі шляхом її штампування і гартування формованої деталі для одержання мікроструктури, що має високу міцність. Гаряче штампування дозволяє отримувати дуже міцні деталі складних форм і дає безліч технічних переваг.

Монолітна деталь – це гарячештампована деталь, виготовлена з монолітної заготовки.

Монолітну деталь виготовляють, наприклад, з монолітної заготовки однорідної товщини або з монолітної катаної "по викрійці" заготовки.

Гарячештампована зварна сталева деталь, або гарячештампована сталева деталь, зварена лазерним зварюванням, є гарячештампованою деталлю, виготовленою із зварної заготовки "по викрійці", наприклад, з гнучкої заготовки. Таким чином, гарячештампована зварна сталева деталь включає дві або більше гарячештамповані піддеталі та один або декілька гарячештампованих зварних швів, що сполучають разом гарячештамповані піддеталі.

У одному з варіантів здійснення винаходу гарячештампована сталева деталь з покриттям згідно з винаходом є монолітною деталлю.

В іншому варіанті здійснення гарячештампована сталева деталь з покриттям є зварною сталевую деталлю, отриманою методом гарячого штампування.

Гарячештампована сталева деталь з покриттям згідно з винаходом переважно має середню товщину e_p , що складає від 0,6 мм до 3,5 мм.

Діапазон від 0,6 мм до 3,5 мм - це звичайна товщина, використовувана при виготовленні конструкційних або підсилюючих деталей для автомобільної промисловості. Цей діапазон товщини також підходить для промислових інструментів для гартування пресів, зокрема пресів або штампів для гарячого штампування.

Крім того, як детально описано нижче, термічний процес, застосований до сталевому листу заданої товщини, діє на покриття, зокрема на утворення тріщин у покритті плоскій недеформованій частині, які є бажаними за винаходом.

Переважно, середня товщина e_p гарячештампованої сталевій деталі з покриттям, знаходиться в діапазоні від 0,7 мм до 3,0 мм.

У одному з варіантів здійснення винаходу гарячештампована сталева деталь з покриттям має однорідну товщину e_p від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм.

У іншому варіанті здійснення винаходу гарячештампована сталева деталь з покриттям має змінну товщину (тобто неоднорідну). В цьому випадку гарячештампована сталева деталь з покриттям складається з двох або більше ділянок з різною однорідною товщиною e_{pi} , кожна з яких переважно складає від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм.

Наприклад, гарячештампована сталева деталь з покриттям із змінною товщиною може бути виготовлена з прокатої заготовки "по викрійці" різної товщини, отриманої шляхом диференціальної прокатки в процесі виробництва сталевому листа.

Як інший приклад, гарячештампована сталева деталь з покриттям із змінною товщиною може бути гарячештампованою зварною сталевую деталлю, виготовленою із звареної "по викрійці" заготовки, виготовленої із заготовок різної товщини.

Гарячештампована сталева деталь з покриттям містить сталеву основу (також називану сталевую базою), що має дві основні поверхні.

Сталь в основі є сталлю для гарячого штампування, тобто сталлю, здатною тверднути після аустенізації і швидкого охолодження шляхом гартування.

В одному варіанті здійснення винаходу, де деталь виготовлена з монолітної заготовки, сталева основа виготовлена з однієї сталі.

В іншому варіанті реалізації, коли деталь є гарячештампованою зварною сталевую деталлю, сталева основа складається з двох або більше ділянок (або піддеталей), які можуть бути виготовлені з тієї самої сталі або з різних сталей і можуть мати однакову або різні мікроструктури.

Надалі під мікроструктурою і складом сталі сталевій основи розуміють мікроструктуру і склад сталевій основи (якщо основа виготовлена з однієї сталі) або мікроструктуру або склад в одній або декількох з ділянок або піддеталей сталевій основи.

Склад сталі залежить від бажаних механічних властивостей деталі. Але переважно, щоб у сталевій основі або в кожній ділянці сталевій основи сталь мала склад, що включає, мас. %:

$0.062 \% \leq C \leq 0.4 \%$

$0.4 \% \leq Mn \leq 3.9 \%$

$0.10 \% \leq Si \leq 1.5 \%$

$0.005 \% \leq Al \leq 1.0 \%$

$0.001 \% \leq Cr \leq 2.0 \%$

$0.001 \% \leq Ti \leq 0.2 \%$

$0.0005 \% \leq B \leq 0.010 \%$

$Ni \leq 2 \%$

$Nb \leq 0.1 \%$

$Mo \leq 0.65 \%$

$W \leq 0.30 \%$

$N \leq 0.010 \%$

$0.0001 \% \leq S \leq 0.05 \%$

$0.0001 \% \leq P \leq 0.1 \%$

$Ca \leq 0.005 \%$

де залишок складу складається із заліза і немінучих домішок (забруднень), що утворюються при переробці.

Рівень домішок, що утворюються в процесі переробки, залежатиме від використовуваного виробничого маршруту. Наприклад, при використанні доменної печі з низьким рівнем сталевому лому (переробленої сталі) рівень домішок залишиться дуже низьким. З іншого боку, при обробці сталі з використанням електropечі з дуже високим вмістом переробленого сталевому лому рівень домішок буде значно підвищений. У цьому останньому випадку, наприклад, рівень Cu може досягати до 0,25 %, Ni до 0,25 %, Sn до 0,05 %, As до 0,03 %, Sb до 0,03 %. а Pb може досягати 0,03 %.

Отже, в одному варіанті сталь містить до 0,25 % Cu, до 0,05 % Sn, до 0,03 % As, до 0,03 % Sb та/або до 0,03 % Pb як неминучі домішки.

Вищезгадана композиція сприяє досягненню високих механічних властивостей, зокрема міцності на розрив (MP, TS) у діапазоні від 950 МПа до 2100 МПа.

Міцність на розрив вимірюється відповідно до стандарту ISO NF EN ISO 6892-1, опублікованого в жовтні 2009 року. Зразки для випробувань на міцність на розрив вирізаються з плоских ділянок гарячештампованої деталі.

Надалі вміст елементів виражається в масових відсотках, якщо не вказане інше.

Вміст вуглецю залежить від бажаної міцності на розрив TS гарячештампованої сталевий деталі з покриттям.

При вмісті С нижче 0,062 % важко отримати міцність на розрив щонайменше 950 МПа після гарячого штампування за будь-яких умов охолодження. При понад 0,4 % у поєднанні з іншими елементами складу, адгезія покриття після гарячого штампування може бути незадовільною, та знижуються стійкість до сповільненого розтріскування і ударна в'язкість сталі. В одному з варіантів вміст С складає не більше 0,38 %.

Вміст С залежить від бажаної міцності на розрив TS гарячештампованої деталі, отриманої гарячим штампуванням сталевий листа. В одному з варіантів здійснення вміст С складає від 0,062 % до 0,095 %. Якщо потрібна вища міцність на розрив, порядку 1500 МПа, вміст С можна збільшити до діапазону від 0,15 % до 0,30 %. Якщо необхідне подальше підвищення міцності на розрив, принаймні, до 1800 МПа, вміст С може бути доданий у кількості до 0,4 %.

Окрім своєї розкислюючої ролі, марганець чинить сильну дію на загартовуваність, особливо при його вмісті не менше 0,4 %. Вище 3,9 % стабілізація аустеніту Mn може виявитися дуже важливою, що може привести до утворення дуже вираженої стрічкової структури. Переважно вміст Mn складає не більше 3,0 %.

Кремній додають у кількості не менше 0,10 %, аби сприяти розкислюванню рідкої сталі й сприяти гартуванню сталі шляхом осадження в твердому розчині. Проте його вміст зазвичай обмежують, аби уникнути надлишкового утворення оксидів кремнію, що погіршують покриваність сталі. Тому вміст кремнію зазвичай нижчий або рівний 1,5 %, наприклад нижчий або рівний 0,80 %.

Алюміній може бути доданий як розкислювач у кількості не менше 0,005 %. Додатково Al може захищати бор шляхом зв'язування з N, якщо вміст титану недостатній. Вміст Al переважно складає щонайменше 0,01 %. Вміст Al зазвичай нижчий або рівний 1,0 %, аби уникнути проблем з окисленням і утворення фериту під час гарячого штампування. Переважно вміст Al складає не більше 0,1 %.

Cr може бути доданий для підвищення загартовуваності сталі і для досягнення бажаної міцності на розрив після гарячого штампування. При додаванні Cr його вміст перевищує або рівний 0,01 %, переважно вищий або рівний 0,1 %, і аж до 2,0 %. Якщо добровільне додавання Cr не виконується, вміст Cr може бути наявний у вигляді домішки в концентрації лише 0,001 %.

При додаванні титану його вміст переважно складає від щонайменше 0,008 % до 0,2 %. Коли вміст Ti складає від 0,008 % до 0,2 %, при дуже високій температурі відбувається осадження TiN, а потім, при нижчій температурі, в аустеніті у вигляді дрібнозернистого TiC, що приводить до гартування. Крім того, коли на додаток до бору додають титан, титан запобігає з'єднанню бору з азотом, причому азот зв'язується з титаном. Отже, вміст титану переважно перевищує $3,42 \cdot N$, де N є вмістом N у відсотках по масі в композиції. Проте вміст Ti переважно повинен залишатися нижче або рівним 0,2 %, переважно нижче або рівним 0,1 %, ще переважніше не більше 0,05 %, аби уникнути осадження крупних осадів TiN. Якщо добровільне додавання Ti не виконується, Ti наявний у вигляді домішки в кількості не менше 0,001 %.

Бор додають у кількості від 0,0005 % до 0,010 % для підвищення загартовуваності сталі. Переважний вміст B складає не більше 0,004 %.

У одному з варіантів здійснення винаходу Ni може бути доданий у кількості не більше 2 %, зазвичай щонайменше 0,25 % і переважно до 0,5 %, аби знизити схильність до сповільненого руйнування за рахунок концентрації на поверхні деталі. Якщо його не додавати, Ni може бути наявним у вигляді домішки, вміст якої може складати всього 0,001 %. Залежно від використовуваного виробничого маршруту вміст Ni як домішки може досягати 0,25 % (наприклад, при виробництві сталі з високим співвідношенням переробленого сталевий лому) або до 0,1 % (наприклад, при використанні меншої кількості сталевий лому).

Необов'язково додається до 0,1 % ніобію для забезпечення дисперсійного тверднення і поліпшення мікроструктури, як-от розміру попереднього аустенітного зерна. Nb додатково покращує пластичність сталі. При додаванні Nb його вміст переважно складає щонайменше 0,01 %. Вміст Nb переважно складає не більше 0,06 %, аби уникнути утворення крупних осадів (Ti, Nb)(C, N).

Молібден може бути доданий у кількості не більше 0,65 %. При додаванні Mo його вміст переважно складає щонайменше 0,05 %. Mo переважно додають разом з Nb і Ti для утворення співосадів, які дуже стабільні при високих температурах. Mo також може бути доданий для підвищення ударної

в'язкості сталі, граючи роль зміцнювача кордонів зерен у стані твердого розчину. Оптимальний ефект досягається, коли вміст Мо складає від 0,15 % до 0,25 %.

W може бути доданий для підвищення загартуваності і прожарюваності сталі за рахунок утворення карбідів вольфраму. При додаванні W його вміст перевищує або рівний 0,001 % і нижчий або рівний 0,30 %.

Сірка, фосфор і азот зазвичай наявні у складі сталі у вигляді домішок.

Вміст азоту зазвичай складає щонайменше 0,0005 %. Вміст N зазвичай складає не більше 0,010 %, переважно не більше 0,005 %, аби запобігти випаданню крупних осадів TiN.

У надмірних кількостях сірка і фосфор знижують пластичність. Тому їх вміст обмежений 0,05 % і 0,1 % відповідно.

Зокрема, наявність S у рідкій сталі може привести до утворення осадів MnS, що погіршують її властивості. Переважно вміст S складає не більше 0,01 %, краще не більше 0,005 %. Досягнення дуже низького вмісту сірки, тобто нижче 0,0001 %, є дуже дорогим і не приносить жодної користі. Отже, вміст S зазвичай перевищує або рівний 0,0001 %.

Переважно вміст фосфору складає не більше 0,05 %, і ще переважніше не більше 0,02 %. Досягнення дуже низького вмісту фосфору, тобто нижче 0,0001 %, є дуже дорогим. Отже, вміст P зазвичай перевищує або рівний 0,0001 %.

Сталь може піддаватися обробці для глобуляризації сульфідів, що виконується кальцієм, що приводить до поліпшення кута вигину за рахунок глобуляризації MnS. Отже, склад сталі може містити від щонайменше 0,0001 % Ca до 0,005 %.

Залишок складу сталі складають залізо і домішки, що утворюються в процесі переробки. Як детально описано вище, домішки, що утворюються в результаті процесу переробки, можуть включати 0,25 % або менше Cu, 0,05 % або менше Sn, 0,03 % або менше As, 0,03 % або менше Sb і 0,03 % або менше Pb.

Склад сталі може бути вибраним залежно від бажаних механічних властивостей, зокрема міцності і пластичності.

Зокрема, коли бажана міцність на розрив становить таку в діапазоні від 950 до 1200 МПа, а також кут вигину більше за 75° (вимірюється відповідно до стандарту вигину VDA 238-100 від липня 2020 р.), у цілій деталі або в щонайменше одній ділянці деталі, сталь сталеві основи або щонайменше одна ділянка сталеві основи переважно має склад відповідно до першого переважного складу, що містить, мас. %:

$0.062 \% \leq C \leq 0.095 \%$

$1.4 \% \leq Mn \leq 1.9 \%$

$0.2 \% \leq Si \leq 0.5 \%$

$0.020 \% \leq Al \leq 0.070 \%$

$0.02 \% \leq Cr \leq 0.1 \%$

$\geq 1.5 \% \leq (C+Mn+Si+Cr) \leq 2.7 \%$

$0.0035 \% \leq Ti \leq 0.072 \%$

$0.0002 \% \leq B \leq 0.004 \%$

$0.04 \% \leq Nb \leq 0.06 \%$

$\geq 0.044 \% \leq (Nb+Ti) \leq 0.09 \%$

$0.001 \% \leq N \leq 0.009 \%$

$0.0005 \% \leq S \leq 0.003 \%$

$0.0001 \% \leq P \leq 0.020 \%$

$Ca \leq 0.005 \%$,

де залишок складу складається із заліза і немінучих домішок, що утворюються в результаті переробки.

З іншого боку, коли потрібна міцність на розрив становить щонайменше 1400 МПа, сталь сталеві основи або, щонайменше, одна ділянка сталеві основи переважно має склад відповідно до другого переважного складу, що включає, по масі %:

$0.15 \% \leq C \leq 0.30 \%$

$0.5 \% \leq Mn \leq 3.0 \%$

$0.10 \% \leq Si \leq 0.50 \%$

$0.005 \% \leq Al \leq 0.1 \%$

$0.01 \% \leq Cr \leq 1.0 \%$

$0.001 \% \leq Ti \leq 0.2 \%$

$0.0002 \% \leq B \leq 0.010 \%$

$0.0005 \% \leq N \leq 0.010 \%$

$0.0001 \% \leq S \leq 0.05 \%$

$0.0001 \% \leq P \leq 0.1 \%$

$Ca \leq 0.005 \%$,

де залишок складає Fe і немінучі домішки, що виникають в результаті переробки.

Якщо потрібна ще вища міцність на розрив, 1800 МПа або вище, склад переважно відповідає третьому переважному складу, що включає в мас. %:

$0.3 \% \leq C \leq 0.4 \%$
 $0.5 \% \leq Mn \leq 1.0 \%$
 $0.40 \% \leq Si \leq 0.80 \%$
 $0.01 \% \leq Al \leq 0.1 \%$
 $0.1 \% \leq Cr \leq 1.0 \%$
 $0.008 \% \leq Ti \leq 0.03 \%$
 $0.0005 \% \leq B \leq 0.003 \%$
 $Ni \leq 0.5 \%$
 $0.01 \% \leq Nb \leq 0.1 \%$
 $0.1 \% \leq Mo \leq 0.5 \%$
 $N \leq 0.005 \%$
 $0.0001 \% \leq S \leq 0.004 \%$
 $0.0001 \% \leq P \leq 0.02 \%$
 $Ca \leq 0.0010 \%$

де залишок складу складається із заліза і немінучих домішок, що утворюються при переробці.

Сталева основа гарячештампованої сталевий деталі з покриттям зазвичай має мікроструктуру, що складається з, у об'ємній долі, щонайменше 60 % мартенситу, не більше 20 % бейніту і не більше 5 % фериту і не більше 15 % аустеніту.

Доля мартенситу може досягати 100 %, а кожної з фракцій бейніту, фериту і аустеніту – лише 0 %.

Цей опис мікроструктури застосовний до більшої частини сталевий основи, що означає, що ця мікроструктура наявна щонайменше у 95 % об'єму сталевий основи, переважно у всьому об'ємі сталевий основи.

Мікроструктуру визначають наступним методом: зразок вирізають із гарячештампованої сталевий деталі з покриттям, полірують, як детально описано нижче, і травлять ніталом 2 % (10 секунд), аби виявити мікроструктуру. Потім зріз досліджують за допомогою оптичного мікроскопу з 500-кратним збільшенням і, якщо необхідно відрізати мартенсит від бейніту, за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) (спосіб зворотнорозсіяних електронів, Збільшення 500-кратне, ЕНТ (електронний об'єм високої напруги) = 15,00 кВ, масштаб 10 мікрометрів). Визначення об'ємної частки кожного компонента (мартенситу, бейніту, фериту, аустеніту) здійснюють за допомогою аналізу зображення відомим методом.

У одному з варіантів реалізації аустенітна фракція складає не більше 5 об. % і/або фракція бейніту не перевищує 10 об. %.

У одному варіанті мікроструктура складається за об'ємом із щонайменше 80 % мартенситу, до 10 % бейніту, до 5 % аустеніту і до 5 % фериту.

В переважному варіанті мікроструктура є по суті мартенситною, тобто складається за об'ємом із щонайменше 95 % мартенситу і до 5 % бейніту і/або фериту.

Ще переважніше, щоб мікроструктура була повністю мартенситною.

Гарячештампована сталевий деталь з покриттям містить недеформовану частину й щонайменше одну деформовану частину.

В одному варіанті реалізації гарячештампована сталевий деталь з покриттям містить дві або більше недеформованих частин.

Дійсно, при штампуванні для виготовлення деталі, зокрема гарячому штампуванні, одна або декілька частин заготовки не деформуються, тоді як інші частини деформуються для досягнення остаточної непласкої геометрії деталі. Ця або кожна недеформована частина є частиною, яка не піддавалася деформації ані під час гарячого штампування, ані, якщо вона виконувалася, під час ранішої холодної попередньої деформації заготовки.

Під терміном "недеформована" слід розуміти, що в процесі штампування недеформована частина піддавалася еквівалентній деформації ε_b не більше 0,01.

Еквівалентна деформація визначається як $\varepsilon_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_1 \varepsilon_2 + \varepsilon_2^2}$,

де ε_1 та ε_2 є основними деформаціями.

Наприклад, основні деформації ε_1 та ε_2 даної складнопрофільної деталі можна визначити таким чином, причому описана нижче процедура є одним з прикладів методу визначення головних деформацій і жодним чином не є обмежувальною – існують також інші методи:

- числова модель фізичної частини отримана за допомогою 3D-камери. Результатом цієї першої операції є файл САПР, що представляє фізичну деталь.

- Потім файл САПР обробляється за допомогою програмного забезпечення для зворотного формування, такого як, наприклад, Ramstamp® Onestep, яке обчислює поле деформації, необхідне для штампування форми деталі, починаючи з пласкої заготовки.

- Вказане поле деформації потім виражається у відповідних основних деформаціях з використанням будь-якої з комерційних програм, перерахованих вище (наприклад, Ramstamp®, Abaqus® або LS-Dyna®).

Коли описаний вище метод не може бути застосований, наприклад, тому, що доступна лише частина повністю сформованої деталі або для того, щоб оцінити деформацію дуже локально в певних ділянках, таких як, наприклад, на краях, можуть здійснювати вимірювання способом дифракції зворотновідбитих електронів (EBSD) у поєднанні із спостереженнями скануючим електронним мікроскопом (SEM). Він заснований на кореляції, яка існує між деформацією і локальною дезорієнтацією кристалу. В наступному посиланні, наприклад, наведений приклад такого вимірювання: "Kamaya M. Assessment of local deformation using EBSD: quantification of accuracy of measurement and definition of local gradient. Ultramicroscopy. 2011 Jul;111(8):1189-99. doi: 10.1016/j.ultramic.2011.02.004. Epub 2011 Feb 21. PMID: 21763236."

Інший метод, який можна застосувати для визначення основних деформацій формованої деталі, полягає у вимірюванні товщини деформованого матеріалу на формованій ділянці і порівнянні її з товщиною недеформованої ділянки.

Ця або кожна недеформована частина є пласкою частиною деталі.

Ця або кожна недеформована частина є, наприклад, фланцем деталі або пласкою частиною, розташованою між двома деформованими частинами деталі. Наприклад, якщо деталь має капелюхоподібну форму, пласкі частини можуть додатково включати пласку верхню частину капелюхоподібної штампованої деталі.

Приклад такої деталі схематично показаний на Фіг. 1.

На Фіг. 1 показана гарячештампована сталева деталь 1 з покриттям, яке було приварене до пласкої деталі 2 множиною точкових зварних швів 3. Точкові зварні шви 3 розташовані, в даному прикладі, на фланцях 8 гарячештампованої сталєвої деталі 1 з покриттям.

Зразкова гарячештампована сталева деталь 1 з покриттям є деталлю у формі капелюха (або деталь у формі "омеги"), що містить пласку верхню частину 4, дві перші зігнуті частини 5 (або радіус), що відходять від двох протилежних подовжніх країв пласкої верхньої частини 4, дві бічні стінки 6, кожна з яких відходить від подовжнього краю першої зігнутої частини 6, дві другі зігнуті частини 7, кожна з яких відходить назовні від подовжнього краю бічної стінки 6, і два пласкі фланці 8, кожен з яких відходить від подовжнього краю другої зігнутої частини 7 до зовнішнього краю деталі 1. Таким чином, фланці 8 утворюють краї деталі 1.

В даному прикладі фланці 8 і пласка верхня частина 4 є пласкими недеформованими частинами гарячештампованої сталєвої деталі 1 з покриттям.

Недеформовані частини можна відрізнити від деформованих частин за їх формою та/або по тріщинах у покритті цих частин.

Дійсно, як детально описано нижче, покриття деформованих частин містить широкі тріщини, які відсутні або рідко наявні в покритті недеформованої ділянки.

Кожна недеформована частина, хоча вона і не піддавалася деформації, була піддана тому ж термічному циклу, що й деформована частина(и).

Гарячештампована сталева деталь з покриттям згідно з винаходом відрізняється від пласкої заготовки, яка була б виготовлена за допомогою аустенітизації й гартування без будь-якої деформації, не лише тим, що вона включає щонайменше одну деформовану частину, отриману в результаті гарячого штампування, але також тим, що ціла гарячештампована сталева деталь з покриттям піддана термічному циклу за допомогою гарячого штампування, що відрізняється від термічного циклу, якому піддаються недеформовані листи.

Зокрема, кожна недеформована частина, хоча вона і не піддавалася деформації, піддавалася тому самому термічному циклу, що й деформована частина(и) при гарячому штампуванні, під час нагріву, перенесення в штамп і витримування в штампі.

Таким чином, у гарячештампованій сталевій деталі з покриттям одна або кожна деформована частина(и) була деформована під час гарячого штампування, і одна або кожна недеформована частина(и), хоча і не деформувалася, була піддана тому ж термічному циклу, що й деформована частина(и) під час гарячого штампування.

Гарячештампована сталева деталь з покриттям згідно з винаходом, отримана за допомогою процесу гарячого штампування в штампі, також відрізняється від зразка, який був би виготовлений шляхом нагріву в експериментальній печі або будь-яким способом, що не має контакту з поверхнею, наприклад в машині Gleeble, і одноосно деформований у цій печі. Дійсно, такий зразок не має недеформованої частини і піддається одноосній деформації (деформації розтягування), тоді як при гарячому штампуванні деформація не рівномірна по деталі, а тривимірна. Крім того, термічний цикл, якому піддається гарячештампована сталева деталь з покриттям, відрізняється від термічного циклу, що випробовується в експериментальній печі, яка не передбачає ні перенесення, ні штампування в штампі.

Одна або кожна пласка недеформована частина(и) деталі є частиною, що має однорідну товщину e_{pflat} від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм.

Наприклад, якщо фланець складається з двох ділянок різної товщини $e_{pflat(1)}$ і $e_{pflat(2)}$, кожна з цих ділянок є відмінною недеформованою частиною.

Якщо гарячештампована сталева деталь з покриттям має однорідну товщину, товщина пласкої недеформованої частини (або кожної недеформованої частини) дорівнює товщині e_p гарячештапкованої сталевий деталі з покриттям.

Якщо гарячештампована сталева деталь з покриттям має змінну товщину і містить дві або більше недеформованих частин, товщини недеформованих частин, що позначаються $e_{pflat(i)}$, де $i=1...n$ є індексом, пов'язаним з відповідними недеформованими частинами, n є числом недеформованих частин, можуть відрізнятися одне від одного або можуть бути однаковими.

Товщину e_{pflat} можна виміряти, наприклад, за допомогою мікрометра.

Гарячештампована сталева деталь з покриттям містить покриття на меншій стороні сталевий основи.

Покриття є покриттям з алюмінієвого сплаву.

Це покриття містить алюміній і залізо і переважно додатково включає кремній.

Покриття переважно містить більше 50 % алюмінію.

Наприклад, покриття містить 8-12 мас. % Si і 3-5 мас. % Fe, залишок складають Al і неминучі домішки.

Покриття утворюється в результаті взаємної дифузії між попереднім покриттям з алюмінієвого сплаву і сталлю під час гарячого штампування.

Покриття містить шар взаємної дифузії, який розташований на найглибшій стороні покриття, тобто контактує із сталевий основою.

Шар взаємної дифузії зазвичай має вміст Fe від щонайменше 80 % до 95 % і вміст Al від 4 % до 20 % і до 2 % Si.

В одному варіанті реалізації склад шару взаємної дифузії складається з 86-95 % Fe, 4-12 % Al і 0-2 % Si.

Покриття додатково містить зовнішній шар, що тягнеться від дифузійного шару до поверхні покриття.

Зовнішній шар зазвичай містить або складається з інтерметалічних сполук Fe, Al і, можливо, Si.

Зовнішній шар може складатися з одного шару або сам може складатися з підшарів різних інтерметалічних сполук.

Наприклад, зовнішній шар складається з одного-чотирьох підшарів.

Проте в даному винаході автори винаходу виявили, що незалежно від шарів у покритті, зокрема, незалежно від їх складу й кількості, мета винаходу досягається, якщо лінійна щільність тріщин відповідає умові, визначеній нижче.

У гарячештапкованій сталевий деталі з покриттям згідно з винаходом, загальна товщина покриття $e_{coating}$ і товщина шару взаємної дифузії e_{IDL} відповідають наступній умові:

$$16 \leq E_{pc} < 40$$

$$z E_{pc} = \sqrt{\left(\frac{33.3 - e_{IDL}}{0.9} + e_{IDL} - e_{coating} \right)^2 - 148(e_{IDL} - e_{coating})} - \left(\frac{33.3 - e_{IDL}}{0.9} + e_{IDL} - e_{coating} \right)$$

Якщо значення E_{pc} нижче 16, покриття може не захищати деталь достатньою мірою для використання за призначенням, та якщо значення E_{pc} складає 40 або більше, то відмінна адгезія до фарби і здатність до точкового зварювання не можуть бути гарантовані, як деталізовано нижче.

У гарячештапкованій сталевий деталі з покриттям згідно з винаходом покриття таке, що у щонайменше одній недеформованій частині гарячештапкованої сталевий деталі з покриттям і за умови, що $16 \leq E_{pc} < 40$, покриття має лінійну щільність тріщин dC , вищу або що дорівнює мінімальній лінійній щільності тріщин $dC_{min}(e_{pflat})$ залежно від товщини e_{pflat} недеформованої частини і визначається як:

$$dC_{min}(e_{pflat}) = 8 + 630 * e^{-3.772 - 1.15 * \arctan(4.16 * (e_{pflat} - 1.71))} - 638 * e^{-4.1 - 1.25 * \arctan(4.16 * (e_{pflat} - 1.71))}$$

В цьому виразі $dC_{min}(e_{pflat})$ – мінімальна лінійна щільність тріщин, виражена в кількості тріщин на мм, а e_{pflat} означає товщину недеформованої частини в мм. Лінійна щільність тріщин dC також дорівнює числу тріщин на мм. "e" означає експоненціальну функцію.

Тут "лінійна щільність тріщин", що означає кількість тріщин на міліметр, - це, звичайно, не об'ємна щільність, а лінійна щільність, оскільки вона вимірює, скільки тріщин є в поперечному перерізі покриття на заданій довжині в напрямку, паралельному поверхні сталевий основи.

Дійсно, винахідники провели інтенсивні дослідження для вирішення проблем підвищення здатності до точкового зварювання і адгезії до фарби й несподівано виявили, що, всупереч усталеній думці, тріщини будуть шкідливі для властивостей гарячештапкованої сталевий деталі з покриттям, якщо

лінійна щільність тріщин перевищує порогове значення, різко підвищуються здатність до точкового зварювання і адгезія до фарби.

Винахідники також виявили, що релевантна частина(и) деталі з погляду лінійної щільності тріщин є недеформованою частиною(частинами), яка, хоча і піддавалася тому самому термічному циклу, що й деформована частина, - але не піддавалася деформації, або тому, що вона розташована на фланці гарячештампованої деталі, або тому, що вона розташована у плоскій зоні між двома деформованими частинами деталі (наприклад, пласка верхня частина капелюхоподібної деталі, як показано на Фіг. 1).

Дійсно, на деформованих ділянках покриття піддається деформаціям при штампуванні, що, через різницю в ділятці основи й покриття, а також залежно від температури деформації та прикладеної швидкості деформації в кожному місці, приводить до тріщин на покритті. Проте винахідники виявили, що наявність великої кількості тріщин на деяких деформованих частинах недостатня для забезпечення чудової здатності до точкового зварювання і чудової адгезії до фарби, принаймні, в тому сенсі, що вона не гарантує таких самих властивостей на інших частинах гарячештампованої сталевий деталі з покриттям.

Переважно, щоб недеформована частина розташовувалася на фланці деталі, яка є ділянкою, що з найбільшою вірогідністю піддаватиметься точковому зварюванню, так що наявність чудової здатності до точкового зварювання (а також чудовій адгезії до фарби) на цій частині особливо бажана.

Винахідники далі виявили, що поріг лінійної щільності тріщин не є абсолютною величиною, а залежить від товщини недеформованої частини, і що для досягнення бажаної здатності до точкового зварювання та адгезії до фарби потрібна вища лінійна щільність тріщин, оскільки товщина недеформованої частини зменшується.

В результаті цих досліджень автори винаходу виявили, що за умови, що покриття деталі таке, що $16 \leq E_{pc} < 40$, відмінна здатність до точкового зварювання і адгезія до фарби досягаються, коли в недеформованій частині лінійна щільність тріщин у покритті вища або рівна dC_{min} .

Переважно, аби лінійна щільність тріщин у покритті залишалася не більше за $4 \cdot dC_{min}$, переважно не більше за $3 \cdot dC_{min}$.

Переважно, оскільки гарячештампована сталева деталь з покриттям містить дві або більше недеформованих частин, лінійна щільність тріщин $dC(i)$ у кожній недеформованій частині вище або дорівнює мінімальній лінійній щільності тріщин, визначеної $dC_{min}(e_{pflat}(i))$, пов'язаної з товщиною $e_{pflat}(i)$ цієї недеформованої частини.

Отже, оскільки кожна недеформована частина має товщину $e_{pflat}(i)$ від 0,6 мм до 3,5мм, $i=1 \dots n$ є індексом, пов'язаним з однією з недеформованих частин, $n \geq 2$ є кількістю недеформованих частин, лінійна щільність тріщин $dC(i)$ в покритті на кожній недеформованій частині товщини $e_{pflat}(i)$ більша або рівна $dC_{min}(e_{pflat}(i))$ з:

$$dC_{min}(e_{pflat}(i)) = 8 + 630 * e^{-3.772 - 1.15 * \arctan(4.16 * (e_{pflat}(i) - 1.71))} - 638 * e^{-4.1 - 1.25 * \arctan(4.16 * (e_{pflat}(i) - 1.71))}$$

де $dC(i)$ і $dC_{min}(e_{pflat}(i))$ виражаються в кількості тріщин на мм, а $e_{pflat}(i)$ означає товщину даної недеформованої частини, виражену в мм.

Ця формула дійсна незалежно від того, чи мають всі недеформовані частини однакову або різну товщину.

Тріщини в покритті тягнуться від поверхні покриття в напрямку, по суті ортогональному поверхні сталевий основи (тобто інтерфейсу між сталевий основою і покриттям), на глибину не менше 5 мкм. Тріщини мають ширину (у напрямку, паралельному поверхні сталевий основи) менше 2 мкм.

Таким чином, тріщини відрізняються від можливих розривів у покритті, що мають ширину більше 2 мкм, від тріщин на деформованих ділянках, які також можуть мати ширину більшу за 2 мкм, а також від пористостей або дефектів покриття, що вражають покриття на глибину меншу за 5 мкм.

Додатково, як згадувалося вище, в недеформованій частині тріщини зазвичай мають ширину, не більшу 1 мкм. Зокрема, середня ширина найбільших тріщин, причому найбільшими тріщинами є тріщини, ширина яких перевищує ширину 90 % тріщин у покритті, складає менше за 1 мкм. Іншими словами, серед спостережуваних тріщин 10 % тріщин з найбільшою шириною мають середню ширину меншу за 1 мкм. Середнє значення тут означає середнє значення, розраховане на основі ширини всіх найбільших тріщин.

Навпаки, в деформованій частині покриття містить більше тріщин шириною більше 1 мкм, так що середня ширина тріщин зазвичай перевищує 1 мкм. В будь-якому разі деформована частина або кожна деформована частина така, що середня ширина тріщин, ширина яких перевищує ширину 90 % тріщин, перевищує 1 мкм.

Переважно, щоб покриття на недеформованій частині не містило будь-яких зазорів або тріщин шириною 2 мкм або більше.

Лінійну щільність тріщин визначають як співвідношення числа тріщин, спостережуваних у поперечних перерізах недеформованої частини за допомогою світлопольного оптичного мікроскопа на всій довжині спостереження (у напрямку, паралельному поверхні сталевий основи) не менше 5 мм, та цією загальною довжиною (тобто кількістю тріщин, що ділиться на загальну довжину).

Зокрема, лінійну щільність тріщин у покритті визначають шляхом спостереження поперечних перерізів покриття двох зразків, узятих з недеформованої частини гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, за допомогою світлопольного мікроскопа з 500-кратним збільшенням, з декількох кутів огляду, так, щоб загальна довжина поля огляду (в напрямку, паралельному поверхні сталеві основи) складала не менше 5 мм. Потім визначають лінійну щільність тріщин як співвідношення числа спостережуваних тріщин та загальної довжини поля огляду.

Дійсно, винахідники виявили, що для забезпечення необхідної чудової здатності до точкового зварювання і чудової адгезії до фарби недостатньо мати лінійну щільність тріщин, щонайменше, dC_{min} лише на невеликій частині покриття. Вони також виявили, що для досягнення цих властивостей необхідна лінійна щільність тріщин не менша за dC_{min} , виміряна на довжині щонайменше 5 мм.

Середню ширину найбільших тріщин визначає шляхом вимірювання ширини всіх тріщин, спостережуваних на всьому протязі спостереження, виявлення на основі цих вимірювань найбільших тріщин і обчислення середнього значення ширини цих найбільших тріщин.

Детально характеристики описаного вище покриття визначаються таким чином.

Спочатку з деталі беруться і готуються зразки.

Для цього деталь розрізають посередині її довжини для здобуття зразків відповідного розміру 20 × 30 мм у недеформованій частині гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

Етап різання виконується обережно за допомогою відрізних кругів Hard Iron (наприклад, Struers 60A25) або, переважно, мікроріжучого пристрою, щоб уникнути надмірної напруги, яка може пошкодити зразки.

Потім зразки очищають (переважно за допомогою ультразвукової ванни) і сушать етанолом і стислим повітрям.

Потім зразки вмонтовуються в холодному стані за допомогою смоли. Холодному монтажу надають перевагу над гарячим, оскільки зазор між смолою і зразком дуже малий або відсутній. Це важливо, оскільки зазори можуть стати причиною низки проблем з підготуванням, як-от проблеми травлення, подряпини або пошкодження покриття. Смола переважно є рідкою смолою EpiFix®, змішаною з EpiFix Hardener®. Полімеризація триває 10 годин. На протилежних сторонах зразків передбачено два захисні металеві листи (захисні пластини) для оберігання покриття від пошкодження поверхні під час полірування. Кожного разу два зразки змонтовуються разом, аби гарантувати, що ці два зразки потім піддаватимуться тому самому поліруванню.

Потім зразки обережно полірують. Етап полірування є важливим етапом оцінки особливостей покриття, оскільки неправильно проведене полірування приведе до появи дефектів у покритті. Ці дефекти включають вкrapлення алмазних часток, пошкодження покриття, як-от відшарування покриття, і, що важливіше, тріщини в покритті, зокрема подовжні тріщини. Подовжні тріщини, що йдуть у напрямку, по суті паралельному поверхні сталеві основи, можуть відбивати проблеми підготовки, та їх слід уникати під час полірування, аби забезпечити надійні результати при підрахунку кількості тріщин.

Полірування поділяється на три основні етапи: дискове полірування, алмазне полірування й оксидне полірування. Зразки необхідно очищати й сушити після кожного етапу полірування для видалення абразивних домішок і перевіряти під оптичним мікроскопом.

Спочатку зразки поліруються абразивним диском на папері SiC P320 протягом 120 сек, використовуючи швидкість обертання 150 об/хвил (обертів на хвилину) для тримача зразка і 100 об/хвил для диска, що обертаються в тому самому напрямку. Зусилля прикладають 15 Н. Зразки очищають водою.

Потім використовується алмазне полірування товщиною 9 мкм для видалення матеріалу з поверхні без появи подряпин або деформації. Цей крок важливий, оскільки він забезпечує рівність полірованої поверхні. Швидкість обертання така сама, як і на попередньому кроці, але обертання зразка протилежне до обертання диска. На цьому етапі встановлено значення 300 сек і використовується сила 20Н. Полірувальний диск зволожується мастилом в оптимальній кількості (0,5 мл/30 сек), щоб гарантувати краще видалення матеріалу. Зразки очищаються водою.

Завершальний етап – оксидне полірування з використанням розчину колоїдного кремнезему (1 мл/5 сек). Цей етап триває 90 сек, зі швидкістю обертання тримача зразка 150 об/хвил і диска 60 об/хвил, що обертаються в тому самому напрямку. Сила, що прикладається, складає 20 Н. Зразки очищають спочатку водою, потім етанолом.

Потім зразки протравлюють ніталом (2 % протягом 5-10 сек), щоб виявити мікроструктуру сталі та кордон розділу сталь/покриття.

Для визначення загальної товщини покриття $e_{coating}$ і товщини шару взаємної дифузії e_{IDL} зразок візуалізують за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ) (спосіб зворотнорозсіяних електронів, збільшення 500х, WD (робочі відстані) переважно 10 мм, ЕНТ (електронний об'єм високої напруги) = 15,00 кВ, масштаб 10 мікрометрів), щоб показати поперечний переріз покриття, а також принаймні частину основної сталі.

На зображеннях шар взаємної дифузії можна визначити як світловий шар, найбільш близький до сталевій основи.

Загальну товщину покриття (включаючи шар взаємної дифузії) і товщину шару взаємної дифузії вимірюють у п'яти точках, розташованих по горизонталі на відстані 15 мкм.

Потім загальну товщину покриття й товщину шару взаємної дифузії розраховують як середні значення отриманих показників. Таким чином, загальна товщина покриття e_{coating} і товщина шару взаємної дифузії e_{IDL} є середніми товщинами.

Крім того, склад шару взаємної дифузії можна визначити таким чином.

Зразок оглядають за допомогою скануючого електронного мікроскопа (СЕМ), аби побачити поперечний переріз покриття, а також принаймні частину основної сталі.

За допомогою енергодисперсійної спектроскопії (ЕДС) у п'яти різних горизонтальних точках розглядають дві плями, розташовані вертикально в шарі взаємної дифузії, і склад визначають у десяти точках.

Потім склад шару взаємної дифузії розраховується як середнє значення з отриманих показників.

При необхідності склад цілого покриття можна виміряти за допомогою ЕДС.

Визначення лінійної щільності тріщин у покритті недеформованої частини проводять таким чином.

Два зразки, залиті тією самою смолою, візуалізуються за допомогою світлопольного оптичного мікроскопа (збільшення 500х), аби показати поперечний переріз покриття, а також принаймні частину сталевій основи в декількох місцях розташування зразків.

Потім для кожного зразка випадковим чином вибираються й оглядаються десять різних полів зору, що не перекриваються. Кожне поле зору має довжину (в напрямку, паралельному поверхні сталевій основи) щонайменше 250 мкм.

Таким чином, загальна довжина огляду, що є загальною довжиною полів зору (в напрямку, паралельному поверхні сталевій основи) для двох зразків, складає 5 мм або більше ($>250 \text{ мкм} * 2 * 10$).

У кожному полі зору спочатку перевіряють відсутність подовжніх тріщин, які тягнулися б в напрямку, по суті паралельному поверхні сталевій основи. За наявності подовжніх тріщин поле зору не враховують і замінюють, оскільки наявність таких тріщин означає, що підготовка зразка (різання, полірування) в цьому місці була вироблена неправильно.

Потім у кожному полі зору ідентифікуються тріщини, що йдуть від самої верхньої поверхні покриття, по суті перпендикулярно поверхні сталевій основи, у напрямку сталевій основи.

Щоб відрізнити тріщини від можливих зазорів (розривів) покриття, як тріщини ідентифікують лише тріщини шириною менше за 2 мкм. Тріщини у 2 мкм завширшки можна без зусиль ідентифікувати при 500-кратному збільшенні, але при необхідності ширину тріщин можна виміряти, як детально описано нижче. Крім того, щоб відрізнити тріщини від пористості або дефектів покриття, вимірюють довжину тріщин і тріщинами вважають лише тріщини завглибшки не менше 5 мкм (у напрямку, по суті ортогональному поверхні сталевій основи).

Кількість тріщин підраховується в кожному полі зору й обчислюється загальна кількість тріщин в оглядуваних двадцяти полях зору.

Потім визначають лінійну щільність тріщин у покритті як відношення загального числа тріщин до загальної довжини полів зору для двох зразків.

Визначення середньої ширини найбільших тріщин або, в загальнішому плані, ширини будь-якої тріщини можна виконати таким чином.

Перерізи, використовувані для оцінки лінійної щільності тріщин, оглядають за допомогою світлопольного мікроскопа з 500-кратним збільшенням, використовуючи камеру з дозволом 3072*2048 пікселів, причому зображення відображаються таким чином, що один піксель камери відображується як один піксель на зображенні. Збільшення зображення складає 3020х.

Визначають ширину кожної з тріщин у всіх полях зору.

З цією метою, для кожної тріщини, вимірюють ширину в трьох місцях, розташованих у центрі тріщини і на відстані 2 мкм на кожному боці від центру. Середнє значення трьох вимірювань визначають як ширину тріщини.

Потім ідентифікують тріщини з найбільшою шириною, тобто що перевищує ширину 90 % тріщин у покритті. Таким чином, ці тріщини складають 10 % тріщин, що мають найбільшу ширину. Потім розраховується середня ширина цих тріщин як сума їх індивідуальних ширин, що ділиться на їх кількість.

Якщо кількість тріщин така, що 90 % кількості тріщин не є цілим числом, результат 90 % по кількості тріщин округляється до найближчого цілого числа (наприклад, 90 % з 108 тріщин - це 97 тріщин і 90 % від 135 тріщин вважається 122 тріщинами).

Гарячештампована сталева деталь з покриттям згідно з винаходом має діапазон зварювання, вимірний відповідно до стандарту SEP 1220-2 (2011 р.), більше 1 кА, щонайменше, в недеформованій частині.

Гарячештампована сталева деталь з покриттям, крім того, має чудову адгезію до фарби, причому, щонайменше, в недеформованій частині, при проведенні випробування на адгезію при сухому забарвленні, адгезія при сухому забарвленні суворо нижче 1.

Тепер буде розкритий спосіб виготовлення гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, згідно з винаходом.

Спосіб включає забезпечення сталеві заготовки, що має середню товщину зазвичай від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм. Ця товщина зазвичай дорівнює середній товщині e_p гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, призначеної для виготовлення із заготовки.

Заготовка містить, щонайменше, на одній стороні попереднє покриття з алюмінію або алюмінієвого сплаву, при цьому попереднє покриття має середню товщину від 8,0 мкм до 19,90 мкм.

Переважно заготовка містить попереднє покриття з алюмінію або алюмінієвого сплаву, що має середню товщину від 8,0 мкм до 19,90 мкм на кожній з двох її основних сторін.

Це попереднє покриття може бути алюмінієм або алюмінієвим сплавом (що містить більше 50 % алюмінію).

Вигідним чином, попереднє покриття є алюмінієво-кремнієвим сплавом, що містить від 7 до 15 мас. % кремнію, від 2 до 4 % заліза і за необхідністю від 0,0015 % до 0,0030 % кальцію, причому залишок складає алюміній і неминучі домішки, що утворюються в результаті переробки.

Переважно попереднє покриття містить по масі від 8 % до 11 % Si, від 2 % до 4 % Fe, за необхідністю від 0,0015 % до 0,0030 % Ca, причому залишок складає Al і домішки, що утворюються в результаті плавлення.

Попереднє покриття зазвичай наносять методом гарячого занурення у ванну з алюмінію або алюмінієвого сплаву.

В одному варіанті здійснення винаходу заготовка є монолітною заготовкою, тобто заготовкою, що складається з однієї окремої підзаготовки, отриманої шляхом розрізання сталеві листа із нанесеним попереднім покриттям.

Монолітна заготовка є, наприклад, прокатоною заготовкою "по викрійці", тобто заготовкою змінної товщини, отриманою диференціальною прокаткою у процесі виробництва сталеві листа.

В іншому варіанті здійснення винаходу заготовка є зварною "по викрійці" заготовкою, отриманою шляхом збірки, зокрема зварювання разом, наприклад, лазерним зварюванням, декількох заготовок, вирізаних з різних сталеві листів із попереднім покриттям, відомих як підзаготовки.

В одному варіанті здійснення винаходу заготовка має однорідну товщину від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм.

У іншому варіанті здійснення винаходу, коли заготовка є катаною заготовкою "по викрійці" або зварною заготовкою "по викрійці", заготовка має змінну товщину.

В цьому випадку заготовка складається з двох або більше ділянок, що мають різну товщину e_{Bi} , кожна від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм. Кожна ділянка заготовки із заданою товщиною e_{Bi} відповідає ділянці товщини e_{pi} готові гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

В будь-якому разі заготовка містить пласку частину з однорідною товщиною e_{Bflat} , яка після процесу гарячого штампування повинна стати недеформованою частиною гарячештампованої сталеві деталі з покриттям. Товщина e_{Bflat} також складає від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм.

Іншими словами, товщина e_{Bflat} є товщиною частини заготовки, перетвореної при гарячому штампуванні на відповідну недеформовану частину гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

Товщина e_{Bflat} частини заготовки дорівнює товщині e_{pflat} відповідної недеформованої частини деталі.

В одному варіанті здійснення винаходу заготовка містить дві або більше частин, кожна з яких має однорідну товщину $e_{Bflat(i)}$ (при цьому $i=1\dots n$, причому n - кількість таких частин), які після процесу гарячого штампування повинні стати двома або більше недеформованими частинами гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

Кожна товщина $e_{Bflat(i)}$ складає від 0,6 мм до 3,5 мм, переважно від 0,7 мм до 3,0 мм. Крім того, кожна товщина $e_{Bflat(i)}$ дорівнює товщині $e_{pflat(i)}$ відповідної недеформованої частини деталі.

Якщо товщина заготовки однакова, товщина e_{Bflat} або, якщо застосовно, кожна товщина $e_{Bflat(i)}$ дорівнює товщині e_B заготовки.

Заготовка або, якщо заготовка є зварною заготовкою "по викрійці", кожна підзаготовка переважно виготовлена зі сталі, що має склад, як розкрито вище, зокрема, відповідно до першого, другого або третього переважного складу. Підзаготовки можуть мати однаковий склад сталі або різні склади сталі.

Заготовку або кожен підзаготовку виготовляють, наприклад, таким чином.

Отримують напівфабрикат у вигляді сляба, тонкого сляба або злитка, придатний для подальшої гарячої прокатки, переважно із складом сталі, описаним вище. Товщина цього напівфабрикату зазвичай складає від 50 до 250 мм.

При необхідності цей напівфабрикат нагрівають до температури, що зазвичай становить від 1100 до 1300 °C, потім піддають гарячому катанню з температурою остаточної прокатки, що переважно становить від 880 до 950 °C, із отриманням гарячекатаного сталевих листа. Гарячекатаний сталевий лист згортають у катушку при температурі T_c нижче або рівній 750 °C і зазвичай вище або рівній температурі M_s сталі.

На цьому етапі товщина гарячекатаного сталевих листа може бути в типовому діапазоні 1,5-4 мм. Залежно від товщини гарячекатаного сталевих листа і бажаної товщини листа сталевий лист може бути травлений у звичайних умовах і потім підданий холодному катанню або безпосередньому відпаленню за допомогою процесу, описаного нижче.

Якщо заготовка, що виготовляється, є прокатою заготовкою "по викрійці", сталевий лист можна виготовити диференціальною прокаткою (або безперервною гнучкою прокаткою), тобто способом, при якому товщина листа, отримана після прокатки, є змінною у напрямку прокатки залежно від навантаження, прикладеного через валки до листа в процесі прокатки.

Після гарячої або холодної прокатки сталевий лист піддається відпаленню при температурі, що зазвичай становить від A_{c1} до A_{c3} , зазвичай від 700 до 850 °C, при підготовці до покриття, та, якщо здійснюють холодну прокатку, - рекристалізації зерен. Потім лист піддають гарячому зануренню у ванну з алюмінію або алюмінієвого сплаву при температурі зазвичай близько 670-680 °C, причому точна температура залежить від складу ванни.

Переважне попереднє покриття є Al-Si, яке отримують шляхом гарячого занурення листа у ванну, що містить по масі від 7 % до 15 % Si, від 2 % до 4 % Fe, за необхідністю від 0,0015 % до 0,0030 % Ca, причому залишок складає Al і домішки, що утворюються в результаті плавлення.

Переважно, щоб ванна містила за вагою від 8 до 11 % Si, від 2 до 4 % Fe, -за необхідністю від 0,0015 % до 0,0030 % Ca, причому залишок складається з Al і домішок, що утворюються в результаті плавлення.

Після цього сталевий лист із попереднім покриттям охолоджують до кімнатної температури.

Сталевий лист з попереднім покриттям розрізають для одержання заготовки (або підзаготовки), геометрія якої пов'язана з кінцевою геометрією гарячештамованої сталевих деталі з покриттям.

Якщо заготовка, з якої має бути виготовлена деталь, є зварною "по викрійці" заготовкою, то отримано таким чином підзаготовки, як описано вище, зварюються разом.

У одному варіанті здійснення винаходу підзаготовки мають однаковий склад. У іншому варіанті здійснення винаходу склад підзаготовок відрізняється. Це особливо актуально, якщо в різних місцях кінцевої деталі потрібні різні механічні властивості. Наприклад, склад сталі першої підзаготовки вибирається з трьох переважних складів, вказаних вище, а склад другої підзаготовки вибирається серед двох інших переважних складів або в межах того самого переважного складу, що і першої підзаготовки, але з іншим конкретним складом.

У одному варіанті реалізації винаходу підзаготовки мають однорідну рівномірну товщину. В іншому варіанті реалізації винаходу підзаготовки мають різну товщину.

Як варіант, перед етапами нагріву і гарячого штампування в штампі заготовка може бути піддана холодному штампуванню для отримання попередньо деформованої заготовки. Ця холодна попередня деформація дозволяє зменшити міру деформації на наступному етапі гарячого штампування. В будь-якому разі частина(и) заготовки, призначена для того, щоб після процесу гарячого штампування стати недеформованою частиною гарячештамованої сталевих деталі з покриттям, не деформується під час такої холодної попередньої деформації. Отже, ця частина заготовки залишається плоскою частиною. З іншого боку, частини заготовки, які потім піддаються деформації при гарячому штампуванні, деформуються лише частково під час холодної попередньої деформації. Отже, гарантується, що холодна попередня деформація не впливає на задані властивості покриття.

Потім заготовку (або пласку, або піддану холодній попередній деформації) нагрівають у печі до температури T_{heat} , що складає від 850 до 970 °C.

Нагрів включає першу стадію нагріву, на якій температура заготовки залишається нижчою за температуру плавлення T_{melt} попереднього покриття, і другу стадію нагріву, на якій температура заготовки вище або дорівнює температурі плавлення T_{melt} попереднього покриття, аж до температури нагріву T_{heat} .

Засоби нагріву не обмежені й можуть базуватися на опроміненні, провідності, індукції або опорі.

Час, витрачений на заготовку на кожному з цих двох етапів, можна регулювати, управляючи пачкою, зокрема, використовуючи піч з різними секціями, кожна з яких має незалежні налаштування, наприклад, по потужності і температурі, так що швидкість нагріву можна регулювати в кожній з цих секцій незалежно один від одного. Наприклад, якщо на першій стадії нагріву бажана висока швидкість нагріву, в першій секції печі можна встановити високу температуру і високу потужність, щоб забезпечити такий швидкий нагрів. Якщо потім потрібна низька швидкість нагріву, аж до кінцевої температури нагріву T_{heat} , можна використовувати декілька секцій з невеликим підвищенням температури печі від однієї секції до іншої, щоб забезпечити триваліший час вище за температуру плавлення T_{melt} попереднього покриття. І навпаки, якщо потрібний короткий час нагріву, виходячи з

температури плавлення T_{melt} попереднього покриття і температури нагріву T_{heat} , в секції печі можна встановити високу температуру, і заготовку можна перенести в секцію при заданій температурі нагріву T_{heat} до досягнення цієї температури.

Крім того, фахівець знає, як визначити температуру плавлення попереднього покриття, знаючи його склад, наприклад, використовуючи потрібну фазову діаграму.

Потім нагріту заготовку витримують при температурі нагріву T_{heat} , щоб отримати повністю аустенітну структуру сталі.

Переважаю загальний час перебування в печі, включаючи нагрів і витримку, складає від 1,5 до 15 хвилин.

Нагріта заготовка потім переноситься на штамп (або прес для гарячого штампування). Час перенесення переважно складає не більше 15 сек, ще переважніше складає не більше 10 сек або не більше 8 сек.

Потім штамп закривається, аби штампувати заготовку в деталь, при цьому температура заготовки при закритті штампу позначається T_{close} .

Переважаю, щоб час між перенесенням нагрітої заготовки в штамп і закриттям штампу складав менше за 8 сек.

Нагрівання і витримка викликають взаємну дифузію попереднього покриття із сталеву основою. Зокрема, під час нагріву й витримки залізо дифундує зі сталеві основи в бік покриття, а алюміній дифундує з покриття в сталеву основу, причому ця взаємна дифузія приводить до утворення шару взаємної дифузії покриття.

Додатково, залежно від складу попереднього покриття, одна або декілька інтерметалічних фаз можуть бути створені шляхом взаємної дифузії над шаром взаємної дифузії (тобто в зовнішньому шарі деталі) у формі твердого розчину.

Згідно з винаходом нагрів, утримання, перенесення, закриття штампу й охолодження в штампі контролюються залежно від товщини e_{Bflat} плоскої частини заготовки, перетвореної на недеформовану частину при гарячому штампуванні, щоб домогтися лінійної щільності тріщин dC у покритті недеформованої частини гарячештампованої сталеві деталі, вищої або рівної dC_{min} .

Зокрема, автори винаходу виявили, що важливим чинником для досягнення бажаної лінійної щільності тріщин у покритті недеформованої частини, тобто лінійної щільності тріщин dC вище або рівної dC_{min} , є не час, проведений у печі, але час t_M , проведений заготовкою при температурі вище температури плавлення попереднього покриття T_{melt} у процесі гарячого штампування у поєднанні з температурою T_{close} заготовки при закритті штампу.

Цей час t_M включає в себе нагрів на другому етапі, згаданому вище (вище T_{melt}), час витримки t_{heat} при температурі нагріву T_{heat} , час перенесення і час перебування заготовки всередині штампу (до і після штампування) до тих пір, поки сформована заготовка не досягне температури T_{melt} після охолодження.

Цей час t_M можна визначити й контролювати під час процесу гарячого штампування, відстежуючи температуру заготовки під час нагріву й регулюючи час, що витрачається вище T_{melt} , як детально описано вище, контролюючи час витримки T_{heat} при температурі нагріву T_{heat} , і контролюючи час, витрачений заготовкою при перенесенні в штамп і охолодженні всередині штампу до T_{melt} .

Автори винаходу виявили, що для отримання лінійної щільності тріщин, щонайменше, dC_{min} , температура T_{close} має знаходитися в діапазоні від 720 до 820 °C, а час t_M , проведений вище за температуру плавлення T_{melt} попереднього покриття, повинен знаходитися між мінімальним час t_{Mmin} і максимальним часом t_{Mmax} , що залежать від товщини e_{Bflat} плоскої частини заготовки, призначеної стати недеформованою частиною, від температури нагріву T_{heat} і від температури плавлення T_{melt} попереднього покриття.

Мінімальний час t_{Mmin} і максимальний час t_{Mmax} визначаються таким чином:

$$t_{\text{Mmin}}(e_{\text{Bflat}}) = \frac{5.9 * e_{\text{Bflat}} + 2.6}{\left(\frac{T_{\text{heat}} - T_{\text{melt}}}{1000} \right)^2}$$

$$\text{та } t_{\text{Mmax}}(e_{\text{Bflat}}) = \frac{4.96 + 0.444 * e_{\text{Bflat}} + 2.71 * \arctan(9.52 * (e_{\text{Bflat}} - 1.71))}{\left(\frac{T_{\text{heat}} - T_{\text{melt}}}{1000} \right)^5}$$

В цих виразах t_{Mmin} та t_{Mmax} виражені в секундах, T_{heat} означає температуру нагріву заготовки в °C, T_{melt} означає температуру плавлення попереднього покриття в °C і e_{Bflat} означає товщину плоскої частини заготовки, яка не деформується при гарячому штампуванні й, таким чином, повинна стати недеформованою частиною деталі, в мм.

Дійсно, винахідники виявили, що виконання цих умов уможливило одержання, після гарячого штампування й охолодження, гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, такої, що лінійна щільність тріщин у покритті недеформованої частини вища або рівна dC_{min} .

Навпаки, коли час t_m не задовольняє вищезгаданому співвідношенню та/або температура T_{close} вище $820\text{ }^{\circ}\text{C}$ або нижче $720\text{ }^{\circ}\text{C}$, лінійна щільність тріщин недостатня, так що неможливо одночасно досягти чудової здатності до точкового зварювання і відмінної адгезії до фарби.

Зокрема, при часі, нижчому за мінімальний час t_{Mmin} , лінійна щільність тріщин недостатня, і ані адгезія до фарби, ані здатність до точкового зварювання не є задовільними.

З іншого боку, при часі, вищому за максимальний час t_{Mmax} , лінійна щільність тріщин недостатня, і навіть якщо адгезія до фарби може бути підвищена за рахунок довшого часу перебування вище температури плавлення, здатність до точкового зварювання стає дуже низькою.

Звичайно, враховуючи, що і t_{Mmin} , і t_{Mmax} залежать від температури нагріву T_{heat} , не лише час t_m , але також і температура нагріву T_{heat} може регулюватися так, щоб час t_m знаходився між t_{Mmin} і t_{Mmax} .

В одному варіанті здійснення винаходу заготовка має однорідну товщину e_B , яка тоді дорівнює товщині e_{Bflat} частини заготовки, призначеної стати недеформованою частиною деталі, t_{Mmin} і t_{Mmax} , таким чином, стають:

$$t_{Mmin} = \frac{5.9 * e_B + 2.6}{\left(\frac{T_{heat} - T_{melt}}{1000} \right)^2}$$

$$\text{та } t_{Mmax} = \frac{4.96 + 0.444 * e_B + 2.71 * \arctan(9.52 * (e_B - 1.71))}{\left(\frac{T_{heat} - T_{melt}}{1000} \right)^5}$$

Якщо заготовка має змінну товщину, переважно, і залежно від необхідних властивостей, час t_m може бути скоригований так, щоб він становив між часом $t_{Mmin}(e_{Bi})$ і $t_{Mmax}(e_{Bi})$ для додаткових частин/ділянок заготовки товщиною e_{Bi} .

В цьому випадку значення t_{Mmin} і t_{Mmax} можуть бути розраховані для кожної розглядуваної ділянки як функція товщини цієї ділянки заготовки e_{Bi} . Потім час t_m вибирається між максимальним значенням обчисленого мінімального часу t_{Mmin} і мінімальним значенням обчисленого максимального часу t_{Mmax} :

$$\text{Max}[t_{Mmin}(e_{Bflat}), t_{Mmin}(e_{Bi})...] \leq t_m \leq \text{Min}[t_{Mmax}(e_{Bflat}), t_{Mmax}(e_{Bi})...]$$

Значення t_{Mmin} і t_{Mmax} є зростаючими функціями товщини, це можна спростити таким чином:

$$t_{Mmin}(\text{Max}(e_{Bflat}, e_{Bi}...)) \leq t_m \leq t_{Mmax}(\text{Min}(e_{Bflat}, e_{Bi}...))$$

Іншими словами, якщо бажано забезпечити лінійну щільність тріщин вище за мінімальну лінійну щільність тріщин dC_{min} у двох або більше частинах деталі, виготовленої з двох або більше частин заготовки різної товщини, час t_m тоді складає між мінімальним часом t_{Mmin} , визначеним для найтовщої частини й максимальним часом t_{Mmax} , визначеним для найтоншої частини.

Переважно, якщо гаряче штампування виконують для створення гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, що містить дві або більше недеформованих частин, шляхом гарячого штампування заготовки так, що дві або більше частин з товщиною $e_{Bflat}(i)$ з $i=1...n$ не деформуються, час t_m знаходиться між мінімальним часом t_{Mmin} , потрібним для найтовщої частини, і максимальним часом t_{Mmax} , потрібним для найтоншої частини.

$$t_{Mmin}(\text{Max}(e_{Bflat}(i) \text{ with } i = 1...n)) \leq t_m \leq t_{Mmax}(\text{Min}(e_{Bflat}(i) \text{ with } i = 1...n))$$

В цьому випадку забезпечується, що всі дані плоскі частини заготовки, відповідні недеформованим частинам деталі, виробляються за час t_m , що лежить між мінімальним і максимальним часом t_{Mmin} і t_{Mmax} , що відповідають їх фактичній товщині $e_{Bflat}(i)$.

Все це переважно, щоб заготовка мала мінімальну товщину e_{Bmin} і максимальну товщину e_{Bmax} , час t_m складає між мінімальним часом t_{Mmin} , потрібним для максимальної товщини e_{Bmax} , і максимальним часом t_{Mmax} , необхідним для мінімальної товщини e_{Bmin} :

$$t_{Mmin}(e_{Bmax}) \leq t_m \leq t_{Mmax}(e_{Bmin})$$

В цьому випадку гарантується, що всі ділянки заготовки гарячештамповані, а час t_m , що знаходиться між мінімальним і максимальним часом t_{Mmin} і t_{Mmax} , відповідає їх фактичній товщині.

Переважно температура T_{close} заготовки при закритому штампі складає щонайменше $740\text{ }^{\circ}\text{C}$.

У варіанті здійснення винаходу температура T_{close} складає максимум $800\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Зокрема, температура T_{close} не більше $800\text{ }^{\circ}\text{C}$ дозволяє досягти лінійної щільності тріщин при щонайбільше $4 * dC_{min}$, знижуючи ризик порошкоутворення.

Нагріта заготовка піддається гарячому штампуванню й гартуванню в штампі.

При гарячому штампуванні, як детально описано вище, одна або декілька частин заготовки не піддаються деформації, і щонайменше одна частина деформується за допомогою гарячого штампування.

Частина заготовки, не піддана деформації, стає недеформованою частиною гарячештампованої сталеві деталі з покриттям, отриманої відповідно до способу.

Частина(и) заготовки, піддана деформації, утворює деформовану(и) частину(и) гарячештампованої сталеві деталі з покриттям.

Режими й об'єми деформації в деформованих частинах розрізняються в різних місцях через геометрію кінцевої деталі й формотворних інструментів. Наприклад, деякі зони можуть розширюватися, а інші обмежено деформуватися. Хоч би яким був би режим деформації, як указано вище, еквівалентна деформація ε_b може визначатися в кожному місці загартованої пресом деталі як $\varepsilon_b = \frac{2}{\sqrt{3}} \sqrt{\varepsilon_1^2 + \varepsilon_2^2 + \varepsilon_3^2}$, де ε_1 та ε_2 є основними деформаціями. Таким чином, ε_b виражає величину деформації, що виникає в результаті процесу гарячого штампування в кожній зоні деформованих частин.

У недеформованій частині(ях) еквівалентна деформація складає не більше 0,01.

Потім гарячештамовану заготовку витримують усередині штампів, щоб забезпечити необхідну швидкість охолодження й уникнути деформації деталі через усадку й фазові перетворення.

Гарячештамована заготовка охолоджується за допомогою провідності в основному за рахунок теплопередачі через штамп. Штамп може включати циркуляцію охолодника для збільшення швидкості охолодження, або нагрівальні картриджи для зниження швидкості охолодження. Таким чином, швидкості охолодження можна регулювати за допомогою застосування таких засобів.

Гарячештамовану заготовку охолоджують до температури нижче 400 °C.

Прикладена швидкість охолодження залежить від складу сталі, а також від бажаної структури й механічних властивостей.

Середня швидкість охолодження від температури T_{heat} до 400 °C (включаючи охолодження під час перенесення й охолодження в штампі) зазвичай складає щонайменше 27 °C/сек, переважно щонайменше 50 °C/сек і зазвичай нижче, ніж 200 °C/сек.

Переважно заготовка охолоджується всередині штампа від температури заготовки, коли штамп закритий, до 400 °C, з середньою швидкістю охолодження щонайменше 30 °C/сек, ще переважніше щонайменше 50 °C/сек.

Наприклад, якщо сталь має склад відповідно до першого переважного складу, вказаного вище, гарячештамовану заготовку переважно спочатку охолоджують при діапазоні температур від 750 до 450 °C, при першій середній швидкості охолодження, що складає від 40 до 360 °C/сек. У цьому діапазоні відбувається перетворення аустеніту на мартенсит і, можливо, на бейніт. На наступному етапі гарячештамовану заготовку охолоджують при діапазоні температур від 450 °C до 250 °C, з середньою швидкістю охолодження від 15 до 150 °C/сек, що нижче за першу швидкість охолодження.

Якщо сталь має склад відповідно до другого переважного складу, гарячештамовану заготовку переважно охолоджують усередині штампу з середньою швидкістю охолодження не менше 30 °C/сек від виходу з печі до температури нижче 400 °C, щоб отримати структуру, що складається по суті з мартенситу.

Якщо сталь має склад відповідно до третього переважного складу, гарячештамовану заготовку переважно охолоджують усередині штампу для отримання структури, що складається з мартенситу або складається з мартенситу і бейніту.

В будь-якому разі, гарячештамовану заготовку охолоджують всередині штампу до температури нижче 400 °C, а потім охолоджують до кімнатної температури, для отримання гарячештамованої сталевий деталі з покриттям.

Приклади

Сталі складів А, В, С і D згідно з Таблицею 1, виражені у масових відсотках, були надані у вигляді заготовок, вирізаних із сталевих листів з попереднім покриттям з однорідною товщиною e_v .

Заготовки були заздалегідь покриті з обох боків попереднім покриттям Al-Si, склад якого містив від 8 % до 11 % Si, від 2 % до 4 % Fe, причому залишок складав Al і домішки, отримані в результаті плавлення. Всі попередні покриття мали температуру плавлення T_{melt} 577 °C.

Товщину попереднього покриття доводили до діапазону від 8,0 до 19,90 мкм в разі Сталі А, та до діапазону від 19,91 до 40 мкм у разі Сталі В.

Таблиця 1

Сталь	C (%)	Mn (%)	Si (%)	Al (%)	Mo (%)	Ti (%)	Nb (%)	Cr (%)	Ni (%)	N (%)	B (%)	S (%)	P (%)	Cu (%)
A	0.225	1.13	0.23	0.04	0.002	0.036	0.001	0.18	0.01	0.006	0.0028	0.0018	0.013	0.010
B	0.223	1.18	0.26	0.03	0.002	0.038	0.001	0.19	0.01	0.006	0.0029	0.0011	0.013	0.009

Залишок складів є залізом і неминучими домішками (неминучі домішки, включаючи Cu, вміст якої вказаний вище).

Ці сталеві листи з попереднім покриттям розрізали на заготовки.

Потім заготовки нагрівалися в печі при температурі T_{heat} , утримуваній при T_{heat} , а потім переносилися в штамп протягом 8 сек.

Потім заготовки піддавали гарячому штампуванню всередині штамп, щоб створити деталь, що має деформовані частини і пласку недеформовану частину. В кожному випадку штамп закривався, коли температура T_{close} заготовки складала 750 °C.

Потім гарячештамповані заготовки охолоджувалися в штампі до температури нижче 400 °C, потім витягувалися зі штамп і охолоджувалися до кімнатної температури для отримання гарячештампованих сталевих деталей з покриттям.

Нагрівання, витримку, перенесення й охолодження в штампі регулювали так, щоб змінні часи t_m перевищували температуру плавлення попереднього покриття T_{melt} .

Для кожного прикладу час t_m , проведений заготовкою вище температури плавлення T_{melt} попереднього покриття, вказаний в Таблиці 2 і порівнюється з мінімальним і максимальним часом t_{Mmin} і t_{Mmax} .

Мінімальний і максимальний час t_{Mmin} і t_{Mmax} були розраховані за допомогою наведених вище рівнянь на основі товщини e_b заготовки, яка дорівнює товщині частини заготовки, з якої виходить недеформована частина.

Таблиця 2

Приклад	Сталь	Товщина попер. покриття (мкм)	e_b (мм)	T_{heat} (°C)	t_{Mmin} (сек)	t_m (сек)	t_{Mmax} (сек)
1	A	12.2	1.8	880	144	157	3007
2				900	127	337	2184
3				950	95	1717	1064
4	B	30.2	1.2	880	105	184	699

Гарячештамповані заготовки потім охолоджувалися всередині матриці до температури нижче 400 °C для отримання гарячештампованих сталевих деталей з покриттям, що мають мартенситну структуру.

Гарячештамповані сталеві деталі мають однорідну товщину e_p , рівну товщині e_b заготовки, з якої ці деталі були виготовлені (і таку, що $e_p = e_{\text{flat}}$).

Зразки були взяті з недеформованої частини кожної деталі й підготовлені, як описано вище.

Загальну товщину покриття e_{coating} і товщину шару взаємної дифузії e_{IDL} визначали з використанням протоколу, розкритого вище, так само, як лінійну щільність тріщин у покритті.

Лінійну щільність тріщин у покритті недеформованої частини в кожному випадку визначали шляхом спостереження, для кожного з двох зразків, у десяти полях зору при загальній довжині спостереження для двох зразків 5,29 мм.

Значення E_{ps} , визначене відповідно до наведеної вище формули, виходячи з вимірної загальної товщини покриття e_{coating} і товщина шару взаємної дифузії e_{IDL} , вказані в Таблиці 3 нижче.

Лінійна щільність тріщин dC також вказана в таблиці 3 разом з мінімальною лінійною щільністю тріщин dC_{min} .

Адгезію до фарби оцінювали таким чином для кожної деталі.

Зразок відбирали з недеформованої частини кожної деталі.

Зразки спочатку знежирювали, потім очищали за допомогою Gardoclean®5176 і поверхнево-активного агента при температурі 55 °C протягом 6 хвилин. Очищення проводили за допомогою Gardolene® ZL6.

Стадію фосфатування здійснювали шляхом занурення зразків у ванну, що містить розчин Gardobond® R24 TA і добавки, протягом 3 хвилин при 50 °C.

Потім наносили шар електронного покриття товщиною 20 мкм шляхом занурення зразків у ванну, що містить водний розчин, що містить Pigment Paste® W9712-N6 і Resin Blend® W7911-N6 від PPG Industries, і подають номінальну напругу з тривалістю наростання напруги 30 сек, протягом загальної тривалості 180 сек, при 30 °C. Потім зразки протирали й отверджували в печі при температурі 175 °C протягом 30 хвил.

Потім було проведено випробування на адгезію до сухої фарби на першому наборі зразків шляхом штрихування шару електронного покриття різакон (подряпини з інтервалом 1 мм), відривання шару електронного покриття клейкою стрічкою (із зусиллям 460 Н/м), і оцінку кількості видаленого електронного покриття неозброєним оком відповідно до ISO 2409:2013: 0 означає "відмінно", іншими словами, фарба видалена трохи або не видалена взагалі, а 5 означає "дуже погано", іншими словами, велика кількість фарби (>65 %) була видалена.

Додатково оцінювалася здатність точкового зварювання шляхом визначення діапазону зварювання для кожного із зразків за стандартом SEP 1220-2 (2011 р.).

Для прикладу 4, що має товщину 1,2 мм, використовувалися наступні параметри:

- Електрод: F1-16-20-5,5
- Сила зварювання: 4 кН
- Зварювальний струм: постійний струм середньої частоти
- Час зварювання: 1 імпульс 320 мсек
- Час витримки: 200 мсек.

Для прикладів з 1 до 3, що мають товщину 1,8 мм, використовувалися наступні параметри:

- Електрод: F1-20-20-8
- Зварювальне зусилля: 5 кН
- Зварювальний струм: постійний струм середньої частоти
- Час зварювання: 3 імпульси по 200 мсек (час паузи 40 мсек)
- Час витримки: 300 мсек

Оцінена таким чином адгезія до сухої фарби й діапазони зварювання вказані в Таблиці 3.

Таблиця 3

Приклад	E_{pc}	e_p (мм)	dC_{min} (/мм)	dC (/мм)	Адгезія до сухої фарби	Діапазон зварки
1	23.7	1.8	10.8	17.8	0	>1kA
2	25.0	1.8	10.8	25.5	0.5	>1kA
3	18.7	1.8	10.8	<u>0</u>	0	<u>>1kA</u>
4	<u>58.5</u>	1.2	17.7	<u>14.2</u>	<u>1</u>	>1kA

Посилаючись на Таблиці 2 і 3, приклади 1 та 2 були виготовлені способом згідно з винаходом і мають значення E_{pc} від 16 до менше за 40, та лінійну щільність тріщин, що перевищує або дорівнює мінімальній лінійній щільності тріщин dC_{min} .

Фіг. 2 ілюструє покриття прикладу 2 в поперечному перерізі, як видно в одному з полів зору, спостережуваних для оцінки лінійної щільності тріщин. На цьому зображенні, яке було контрастовано лише для ілюстрації, видно декілька тріщин, що йдуть від поверхні покриття до сталевій основі.

Звичайно, як наголошувалося вище, лінійна щільність тріщин у прикладі 2 визначалася не на основі цього єдиного поля зору, а шляхом спостереження 20 полів зору, аби переконатися, що лінійна щільність тріщин на достатній довжині спостереження рівна dC_{min} (тобто 10,8 тріщин/мм) або більше.

У прикладах винаходу було відмічено, що тріщини, як правило, рівномірно розподілені в покритті плоскої недеформованої частини, чого не було в порівняльному прикладі 4, що розглядається нижче.

Крім того, було підтверджено, що в недеформованій ділянці середнє значення ширин товщин найширших тріщин (тобто тріщин, що мають ширину вищу, ніж 90 % всієї кількості тріщин) було меншим за 1 мкм. Додатково у прикладах 1 та 2 не спостерігали жодної тріщини або зазору з шириною 2 мкм або більше.

Навпаки, на Фіг. 3 проілюстроване покриття у недеформованій частині деталі не відповідає до винаходу, що має тільки невелику кількість тріщин.

Відповідно, ці приклади 1 та 2 мають чудову адгезію до сухої фарби, в кожному випадку нижче 1, а фактично 0, що означає, що під час випробувань фарба не була видалена або було видалено мало, а також чудову здатність до точкового зварювання, де діапазон зварки ширший за 1 кА.

Таким чином, приклади 1 та 2 демонструють, що гарячештамповані сталеві деталі з покриттям за винаходом, що мають лінійну щільність тріщин вище або рівну dC_{min} , досягають чудової адгезії до фарби і здатності до точкового зварювання.

Навпаки, порівняльний приклад 3 був виготовлений з надто довгим часом t_m вище за температуру плавлення попереднього покриття. Цей приклад, відповідно, має лінійну щільність тріщин нижчу за dC_{min} . Як наслідок, приклад 3 не має задовільної здатності до точкового зварювання, причому діапазон зварки надто нижче за 1 кА.

Приклад 4 виготовляли зі сталевго листа з попереднім покриттям, де товщина попереднього покриття становить більше за 19.90 мкм. Так, хоча час t_m становив між T_{Mmin} та T_{Mmax} при гарячому штампуванні, приклад 4 має значення E_{pc} вище 40, та має лінійну щільність тріщин нижчу за dC_{min} . Звичайно, значення T_{Mmin} та T_{Mmax} тісно пов'язані з товщиною попереднього покриття, тобто час t_m , що становить між T_{Mmin} та T_{Mmax} , недостатній для одержання цільової лінійної щільності тріщин, якщо товщина попереднього покриття не становить між 8.0 та 19.90 мкм.

У результаті приклад 4 не має достатньої адгезії до фарби.

Приклади, відтак, підтверджують, що за умови, що E_{pc} становить від 16 до менше за 40, та недеформована частина деталі є такою, що її покриття має лінійну щільність тріщин, вищу або рівну dC_{min} , - прекрасної здатності до точкового зварювання та прекрасної адгезії до фарби досягають щонайменше в цій частині.

Додатково приклади демонструють, що шляхом регулювання процесу так, щоб температура T_{close} і час, протягом якого заготовка знаходилася при температурі, вище за температуру плавлення покриття, належним чином контролювалися, можна досягти бажаної достатньої лінійної щільності тріщин і, отже, бажаних властивостей.

Таким чином, сталеві деталі, виготовлені згідно з винаходом, можна з вигодою використовувати для виготовлення деталей шасі або кузова або важелів підвіски для легкових автомобілів.

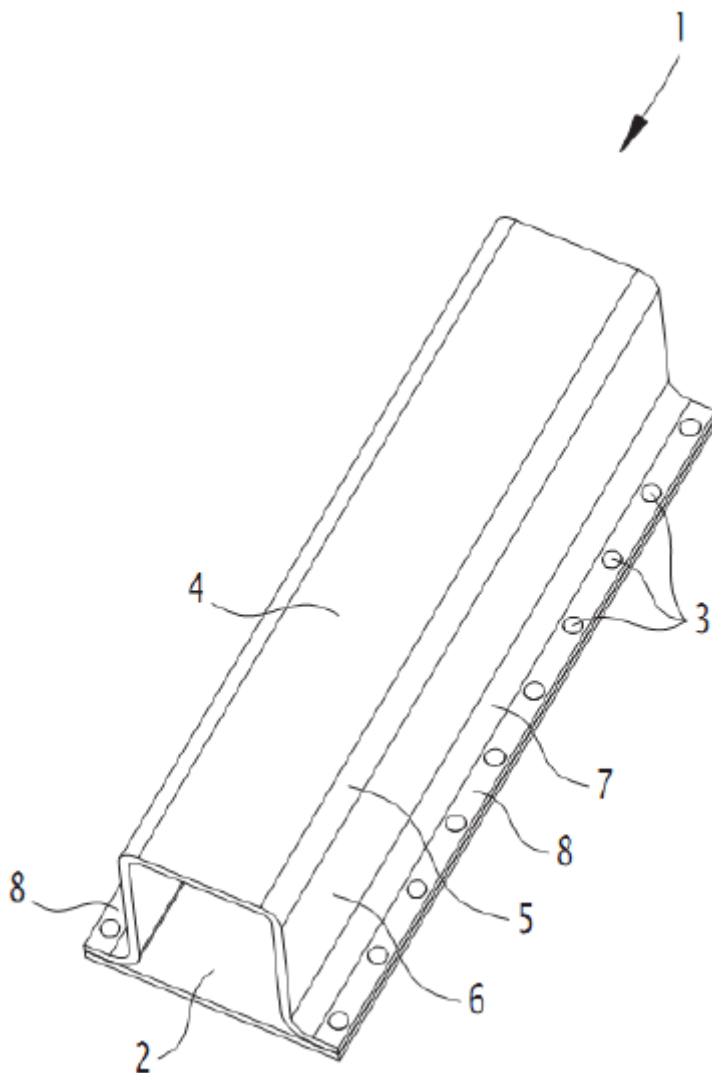


Fig. 1

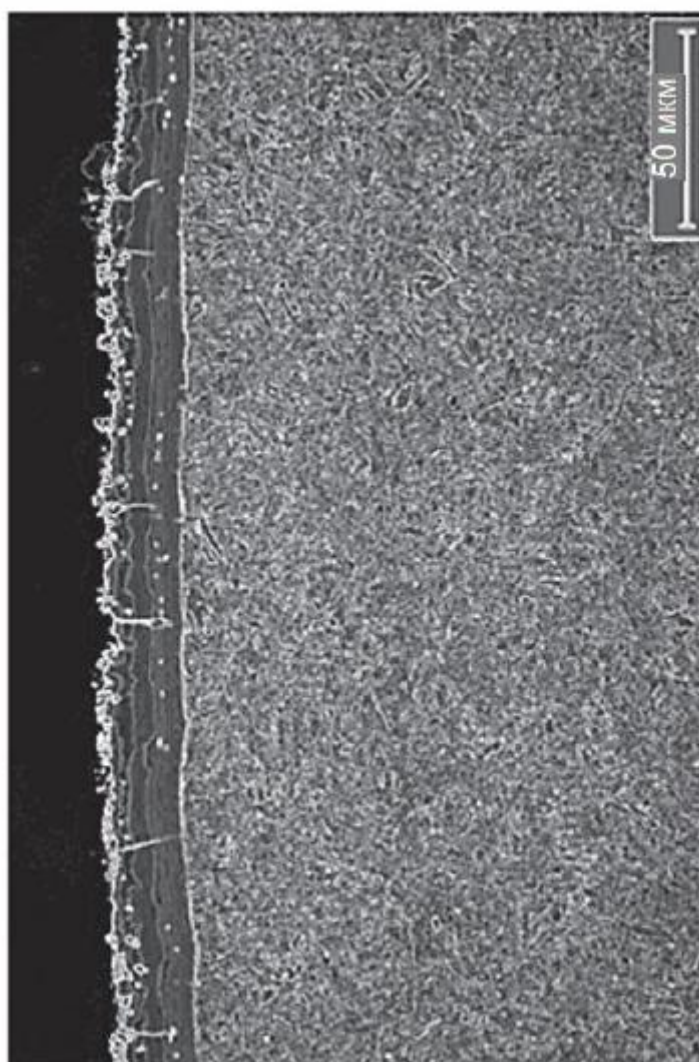


Fig. 2

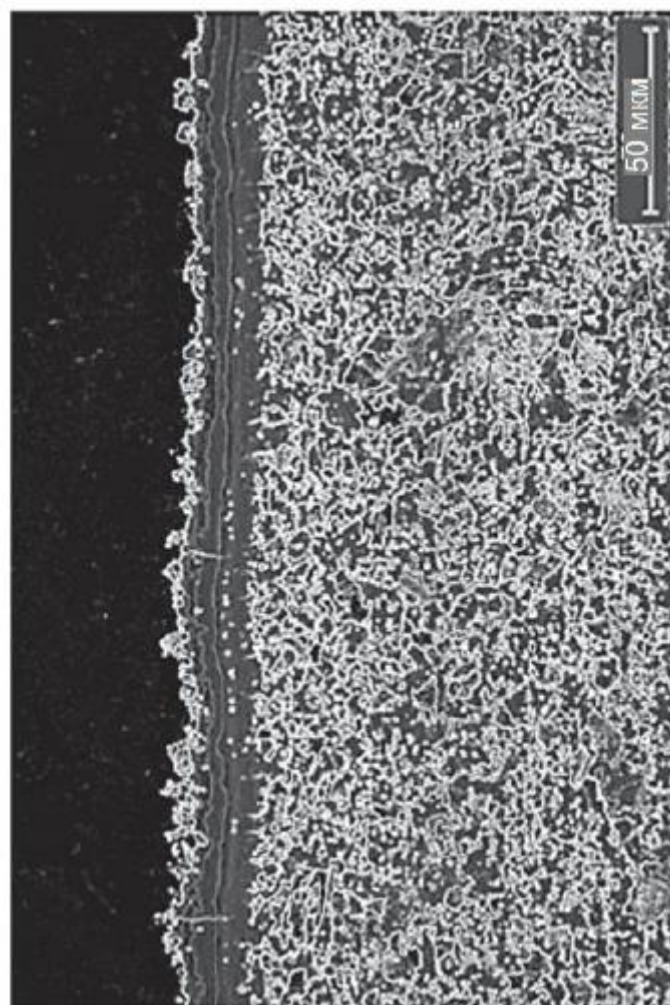


Fig. 3