



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **131126** (13) **C2**
(51) МПК (2026.01)

C21D 8/02 (2026.01)
C22C 38/00
C22C 38/02 (2006.01)
C22C 38/04 (2006.01)
C22C 38/06 (2006.01)
C22C 38/18 (2006.01)
C22C 38/22 (2006.01)
C22C 38/24 (2006.01)
C22C 38/26 (2006.01)
C22C 38/28 (2006.01)
C22C 38/32 (2006.01)
C22C 38/40 (2006.01)
C22C 38/44 (2006.01)
C22C 38/46 (2006.01)
C22C 38/48 (2006.01)
C22C 38/54 (2006.01)
C21D 1/18 (2006.01)
C21D 8/06 (2006.01)
C21D 9/52 (2006.01)

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

(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВИНАХІД

(21) Номер заявки: а 2024 00235	(72) Винахідник(и): Фроті Меріон (FR), Ресяк Бернар (FR)
(22) Дата подання заявки: 16.06.2021	(73) Володілець (володільці): АРСЕЛОРМІТТАЛ, 24-26, Boulevard d'Avranches, L-1160 Luxembourg, Luxembourg (LU)
(24) Дата, з якої є чинними права інтелектуальної власності: 13.08.2026	(74) Представник: Слободянюк Оксана Олександрівна, реєстр. №216
(41) Публікація відомостей про заявку: 29.05.2024, Бюл.№ 22	(56) Перелік документів, взятих до уваги експертизою: UA а202102271, 09.06.2021 UA 40309 А, 16.07.2001 WO 2020/229877 А1, 19.11.2020 EP 3640357 А1, 22.04.2020 WO 2021/009543 А1, 21.01.2021 EP 3631021 А1, 08.04.2020 EP 2995698 А1, 16.03.2016 WO 2020/058829 А1, 26.03.2020 WO 2021/089851 А1, 14.05.2021
(46) Публікація відомостей про державну реєстрацію: 12.08.2026, Бюл.№ 32	
(86) Номер та дата подання міжнародної заявки, поданої відповідно до Договору РСТ: РСТ/ІВ2021/055331, 16.06.2021	

(54) СПОСІБ ВИГОТОВЛЕННЯ СТАЛЕВОЇ ДЕТАЛІ ТА СТАЛЕВА ДЕТАЛЬ

(57) Реферат:

UA 131126 C2

Спосіб виготовлення сталевих деталей, який включає, мас. %: $0,05 \leq C \leq 0,15$, $0,01 \leq Si \leq 1$, $1,2 \leq Mn \leq 2$, $0,1 \leq Cr \leq 2$, $0,001 \leq Al \leq 0,1$, $0,003 \leq N \leq 0,01$, $0 \leq S \leq 0,015$, $0 \leq P \leq 0,015$, $0 \leq Ni \leq 1$, $0 \leq B \leq 0,01$, $0 \leq Mo \leq 1$, $0 \leq Ti \leq 0,04$, $0 \leq Nb \leq 0,1$, $0 \leq V \leq 0,5$, решту складають залізо і немінучі домішки, відпал такого напівфабрикату при температурі відпалу строго нижче температури A_{c1} сталі; охолодження до кімнатної температури; холодне формування напівфабрикату на виріб холодної форми; піддавання холодноформованого виробу термічній обробці, яка включає нагрівання холодноформованого виробу до температури термообробки, яка не менше температури повної аустенізації A_{c3} сталі; і загартування до кімнатної температури; необов'язково повторне нагрівання виробу при температурі витримання від 180 до 400 °C протягом часу від 15 хв до 2 год.

Цей винахід відноситься до способу виготовлення шляхом холодного штампування, зокрема, шляхом холодної висадки, складальних деталей, таких як-от гвинти, болти тощо, які автомобільна промисловість зазвичай використовує як компоненти для шасі або маточин коліс транспортних засобів.

5 Як відомо, автомобільна промисловість постійно прагне знизити вагу транспортних засобів, чого можна досягти шляхом модифікації їхніх вузлів безпеки. Зниження ваги потребує ще більшого зменшення розмірів деталей. Однак такі деталі, як і раніше, піддаються тим самим механічним навантаженням і тому повинні володіти все більш високими механічними властивостями, зокрема міцністю на розтяг.

10 В WO 2016/158470 описується сталь, яка зміцнюється старінням, чудова при оброблюванні до обробки старінням і чудова за втомними характеристиками, ударної в'язкості і характеристикам малоциклової втоми після обробки старінням, тобто, сталь, яка зміцнюється старінням, і містить задані кількості C, Si, Mn, S, Cr, Al, V, Nb, Ca і P3M, з обмеженням вмісту P, Ti і N до заданих кількостей або менше, решта є Fe і домішками, яка має відношення площ бейнітних структур не менше 70 %. Але для сталі за WO 2016/158470 не згадується водневе окрихчення.

В WO 2011/124851 описується механічна сталева деталь із сталі з високими характеристиками, яка відрізняється тим, що до її складу, у масових відсотках, входять $0,05 \% \leq C \leq 0,25 \%$; $1,2 \% \leq Mn \leq 2 \%$; $1 \% \leq Cr \leq 2,5 \%$; причому вміст, Mn і Cr такий, що $(830-270C \text{ \%}-90 Mn \text{ \%}-70Cr \text{ \%}) \leq 560$; $0 < Si \leq 1,55$; $0 < Ni \leq 1 \%$; $0 < Mo \leq 0,5 \%$; $0 < Cu \leq 1 \%$; $0 < V \leq 0,3 \%$; $0 < Al \leq 0,1 \%$; $0 < B \leq 0,005 \%$; $0 < Ti \leq 0,03 \%$; $0 < Nb \leq 0,06 \%$; $0 < S \leq 0,1 \%$; $0 < Ca \leq 0,006 \%$; $0 < Te \leq 0,03 \%$; $0 < Se \leq 0,05 \%$; $0 < Bi \leq 0,05 \%$; $0 < Pb \leq 0,1 \%$; решту складають залізо і домішки, що утворюються при обробці, і відрізняється тим, що структура сталі є бейнітною і містить в цілому не більше 20 % мартенситу і/або проевтектоїдного фериту і/або перліту. Але сталі за WO 2011/124851 не показують необхідного водневого окрихчення, так само як обтискання по площі не менше 58 %.

Однак бажано також покращити стійкість деталей до водневого окрихчення.

Отже, метою цього винаходу є сталева деталь, яку можна використовувати як складальну одиницю для автомобіля і яка має покращену стійкість до водневого окрихчення, і одночасно володіє:

- границею міцності на розтяг, не менше 1100 МПа, а переважно більше 1150 МПа або навіть 1180 МПа,
- границею плинності, не менше 880 МПа, а переважно більше 900 МПа,
- загальним подовженням не менше 12 %, а переважно не менше 13 %, 35
- показником водневого окрихчення менше 0,09, а переважно не більше 0,08,
- обтисненням за площею не менше 58 %, а переважно не менше 60 %, а більш переважно не менше 62 %.

У переважному втіленні, сталева деталь має твердість від 360 HV до 405 HV.

Винахід буде краще зрозумілим після прочитання подальшого опису, наведеного виключно як приклад.

У всій заявці на патент вміст наведений у масових % (мас. %).

Сталева деталь, цього винаходу, має склад, що містить у мас. %:

- $0,05 \% \leq C \leq 0,15 \%$,
- $0,01 \% \leq Si \leq 1 \%$,
- 45 $1,2 \% \leq Mn \leq 2 \%$,
- $0,1 \% \leq Cr \leq 2 \%$,
- $0,001 \leq Al \leq 0,1 \%$,
- $0,003 \% \leq N \leq 0,01 \%$,
- $0 \leq S \leq 0,015 \%$,
- 50 $0 \leq P \leq 0,015 \%$,
- не обов'язково
- $0 \% \leq Ni \leq 1 \%$,
- $0 \% \leq Mo \leq 1,0 \%$,
- $0 \% \leq Nb \leq 0,1 \%$,
- 55 $0 \% \leq Ti \leq 0,04 \%$,
- $0 \leq V \leq 0,5 \%$,
- $0 \% \leq B \leq 0,01 \%$,

причому решту становить залізо і немінучі домішки.

В сталі цього винаходу міститься від 0,05 % до 0,15 % вуглецю. Вуглець надає сталі міцність 60 за рахунок зміцнення твердого розчину, і вуглець є гаммагенним (gamma-genous), тобто,

затримує утворення фериту. Вуглець є елементом, який впливає на утворення рейкового бейніту, який не містить цементиту. Для досягнення границі міцності на розтяг 1100 МПа потрібно мінімум 0,05 % вуглецю, але якщо сталь має більше 0,15 % вуглецю, то вуглець погіршує пластичність, а також оброблюваність кінцевого продукту через утворення цементиту.

5 Вміст вуглецю переважно знаходиться в діапазоні 0,08 %-0,14 % для одержання одночасно високої міцності і високої пластичності, і переважно, становить від 0,09 до 0,14 %.

Кремній в сталі цього винаходу міститься у кількості від 0,01 % до 1 %. Кремній надає сталі цього винаходу міцності за рахунок зміцнення твердого розчину. Зокрема, при зазначеному вмісті кремній має ефект зміцнення мікроструктури бейніту за рахунок зміцнення твердого розчину. Кремній зменшує утворення зародків цементиту, оскільки кремній перешкоджає осадженню і контрольованому дифузії росту карбідів, утворюючи збагачений на Si шар навколо зародків виділення. Таким чином, у результаті одержують рейковий бейніт без цементиту. Кремній діє також як розкиснювач. Для надання міцності сталі цього винаходу необхідно мінімум 0,01 % кремнію. Кількість більше 1 % підвищує активність вуглецю в аустеніті, сприяючи його перетворенню на проевтектоїдний ферит, що може погіршити міцність, а також призводить до уповільнення утворення бейніту при безперервному охолодженні, в результаті чого після охолодження залишається надто багато аустеніту. Переважна границя для кремнію становить від 0,01 до 0,9 %, а переважно від 0,01 % до 0,5 %.

В сталь цього винаходу додають від 1,2 % до 2 % марганцю. Марганець забезпечує загартуваність сталі. Це дозволяє знизити критичну швидкість охолодження, при якій можна одержати бейнітне перетворення при безперервному охолодженні без будь-якого попереднього перетворення, а марганець знижує температуру початку бейнітного перетворення в сталі і, отже, призводить до покращення бейнітної структури з утворенням рейкового бейніту, і в такий спосіб покращує механічні властивості деталі. Для одержання бажаної бейнітної мікроструктури необхідний мінімальний вміст 1,2 мас. %. Але вміст марганцю вище 2 % негативно впливає на сталь цього винаходу, оскільки залишковий аустеніт може трансформуватися в острівці MA або свіжий мартенсит, а такі фази є шкідливими для властивостей. Крім того, марганець утворює сульфід, такі як-от MnS. Ці сульфідні частинки можуть підвищити оброблюваність, якщо регулювати їх форму і розподіл. В іншому випадку вони можуть вплинути на подовження. Переважна границя для марганцю становить від 1,3 % до 1,9 %, а переважно від 1,4 % до 1,9 %.

Вміст хрому в сталі цього винаходу становить від 0,1 % до 2 %. Хром є незамінним елементом для одержання бейнітної структури, особливо рейкового бейніту, і надання сталі цього винаходу подовження і пластичності. Додавання хрому сприяє утворенню однорідної і більш тонкої бейнітної мікроструктури в діапазоні температур від температури Bs до кімнатної. Для одержання бажаної бейнітної мікроструктури потрібен мінімальний вміст хрому 0,1 %, і хром також уповільнює розм'якшення під час відпускання термообробкою, забезпечуючи вищі температури витримання, що сприяє дегазації, а також утворенню карбідів, які уловлюють водень. Але вміст хрому становить 2 % і більше %, він надмірно підвищує твердість сталі, ускладнює її формування методом холодного штампування і, зокрема, холодної висадки.

40 Переважно мати вміст хрому від 0,2 до 1,6 %, а більш переважно від 0,3 до 1,4 %.

Вміст алюмінію в сталі становить від 0,001 % до 0,1 мас. %. Алюміній є розкиснювачем сталі в рідкому стані. Потім він у вигляді нітридів дає внесок в регулювання укрупнення аустенітних зерен при гарячій прокатці. З іншого боку, присутній у занадто великій кількості, він може призвести до укрупнення включень алюмінатного типу в сталі, що може негативно позначитися на властивостях сталі, особливо її ударній в'язкості. Зокрема вміст алюмінію може становити від 0,001 % до 0,09 мас. %.

В сталі цього винаходу вміст азоту становить від 0 до 0,01 мас. %. Азот затримує бор через утворення нітридів бору, тому роль цього елемента в прожарюваності сталі є неефективною. Тому в сталі, цього винаходу, вміст азоту обмежений 0,01 мас. %. Тим не менш, доданий у невеликих кількостях, він дозволяє, зокрема, за рахунок утворення нітридів титану (TiN) і алюмінію (AlN), уникнути надмірного укрупнення аустенітних зерен під час термообробки сталі. Аналогічним чином, в цьому випадку він також дозволяє утворювати осади карбонітриду, які сприятимуть уловлюванню водню. Тому в сталі, цього винаходу, вміст азоту становить не менше 0,003 мас. %.

55 Сталь, цього винаходу, містить щонайбільше 0,015 мас. % фосфору і щонайбільше 0,015 мас. % сірки. Вплив фосфору і сірки особливо шкідливий для сталей цього винаходу з кількох причин. Дійсно, оскільки ці елементи є отрутами для рекомбінації водню, вони сприяють вищій концентрації атомарного водню, здатного проникати в матеріал, отже, підвищеному ризику уповільненого руйнування використовуваної деталі. Більш того, фосфор і сірка шляхом сегрегації на границях зерен знижують їхню когезію. Тому їх вміст має підтримуватись на дуже

низькому рівні. З цією метою необхідно вжити заходів для забезпечення дефосфорації і десульфурзації сталі в рідкому стані під час її плавлення.

Сталь може необов'язково містити від 0,01 % до 1 мас. % нікелю. Цей елемент забезпечує підвищення міцності сталі і сприятливо впливає на стійкість до крихкого руйнування. Він також певним чином покращує корозійну стійкість сталі.

Бор є необов'язковим елементом і може бути присутнім в сплаві при вмісті від 0,0003 % до 0,01 мас. %. При сегрегації на границях перших аустенітних зерен бор, навіть за дуже низького вмісту, зміцнює границі зерен і дозволяє підвищити стійкість до уповільненого руйнування, спричиненого воднем. Бор збільшує когезію границь зерен за рахунок своєї внутрішньої дії, а також за рахунок того, що він ускладнює сегрегацію фосфору на границях цих зерен. Крім того, бор значно підвищує прожарюваність сталі і, таким чином, дозволяє обмежити вміст вуглецю, необхідний для одержання бажаної бейнітної мікроструктури. Нарешті, бор діє у синергії з молібденом і ніобієм, тим самим підвищуючи ефективність цих елементів і власну дію, тому допускає їх відповідний вміст. Однак надлишок бору (понад 0,01 мас. %) веде до утворення крихких борокарбідів заліза.

Молібден є необов'язковим елементом і його вміст становить від 0,003 % до 1 мас. %. Молібден сильно взаємодіє з фосфором і обмежує руйнівну дію фосфору, обмежуючи його сегрегацію на границі перших зерен аустеніту. Крім того, він виявляє виражену карбідоутворювальну властивість. При заданих механічних властивостях він забезпечує більш високу температуру витримування при відпусканні, що, в результаті, сприяє утворенню карбідів, які будуть уловлювати водень. Отже, він є елементом, що підвищує стійкість до уповільненого руйнування.

Титан є необов'язковим елементом і присутній в сплаві сталі у кількості від 0,01 до 0,04 мас. %. Титан додають в сталь для підвищення твердості матеріалу. В цьому випадку в зазначених межах він також підвищує стійкість до уповільненого руйнування декількома способами. Він сприяє рафінуванню аустенітних зерен і утворює осади, які затримують водень. Нарешті, зміцнювальний ефект титану дозволяє проводити операції відпускання при більш високих температурах витримування. Максимальний вміст титану в цьому випадку встановлений для того, щоб уникнути утворення осадів надто великого розміру, які потім знизили б стійкість до сповільненого руйнування.

Сталь цього винаходу необов'язково може містити ніобій у кількості від 0,01 до 0,1 мас. %. Ніобій покращує стійкість до водню, оскільки він може, з одного боку, обмежувати утворення борокарбідів $\text{Fe}_3(\text{C}, \text{B})$; $\text{Fe}_{23}(\text{C}, \text{B})_{26}$, які містять бор і, отже, знижують вміст "вільного" бору, доступного для сегрегації на границях зерен, а з іншого боку, обмежує зростання аустенітних зерен за рахунок утворення карбонітридів. Витончення зерен призводить до збільшення загальної довжини границь зерен і, отже, кращого розподілу шкідливих елементів, таких як-от фосфор і сірка, за нижчої концентрації. Крім того, зменшення розміру аустенітних зерен призводить до прискорення кінетики бейнітного перетворення. Максимальний вміст ніобію встановлений для того, щоб уникнути утворення осадів надто великого розміру, які потім знизили б стійкість до сповільненого руйнування. Крім того, при додаванні ніобію у надто великій кількості підвищується ризик утворення дефектів "тріщин" на поверхні заготовок і здуттів при безперервному литті. Такі дефекти, якщо їх не вдасться повністю усунути, можуть завдати серйозної шкоди цілісності властивостей готової деталі, особливо стосовно міцності, втоми і водневої стійкості. Саме тому вміст ніобію підтримується лише на рівні менше 0,1 мас. %.

Також, необов'язково, сталь може містити ванадій у кількості, не більше 0,5 мас. %. Коли ванадій присутній, завдяки своєму зміцнювальному ефекту він дозволяє проводити операції відпускання за більш високих температур. Максимальний вміст ванадію встановлюється, щоб уникнути утворення виділень занадто великого розміру, які можуть знизити стійкість сталі до уповільненого руйнування воднем. Зокрема вміст ванадію може становити від 0,05 до 0,5 мас. %.

Решта складу є залізом і немінучими домішками, що утворюються в результаті обробки.

Більш конкретно, до складу сталевих деталей входять вищезазначені елементи.

Сталева деталь, цього винаходу, є, зокрема, сталеву деталлю холодного штампування і, зокрема, сталеву деталлю з головкою холодної висадки.

Сталева деталь має мікроструктуру, що включає, у частках поверхні або в % від площі, щонайменше 80 % бейніту і від 1 % до 25 % залишкового аустеніту і мартенситу в сукупності.

Бейніт присутній в сталі згідно винаходу як матрична фаза і надає цій сталі міцності. Бейніт присутній в сталі щонайменше на 80 % площі і переважно від 80 % до 95 % площі і переважно на від 85 % до 95 %. Бейніт утворюється під час загартування. Такий бейніт може включати рейковий бейніт, що не містить цементиту, і нижній бейніт. Рейковий бейніт, що не містить

цементиту, складається з бейніту у формі рейок і включає в себе карбіди між цими рейками таким чином, що число N карбідів між рейками розміром більше $0,1 \text{ мкм}$ на одиницю площі поверхні менше або дорівнює $50000/\text{мм}^2$. Така рейкова бейнітна структура не містить цементиту і надає сталі цього винаходу хорошу стійкість до впливу водню. Нижній бейніт складається з бейніту у формі рейок і містить дрібні прошарки карбідів заліза, які осаджуються всередині рейок. Структура нижнього бейніту забезпечує сталі цього винаходу відносно подовження і міцність на розтяг. Рейкова структура як нижнього бейніту, так і бейніту без цементиту забезпечує кращий розподіл водню, який має тенденцію до сегрегації, отже, такий покращений розподіл водню, який може бути присутнім в бейнітних областях мікроструктури, підвищує стійкість до дії водню.

Залишковий аустеніт і мартенсит сталі, цього винаходу, сумарно складають від 1% до 25% площі. Мартенсит утворюється при охолодженні після томління з нестабільного аустеніту, який утворюється під час відпалу. Мартенсит складається з тонких рейок, витягнутих в одному напрямку всередині кожного зерна, утвореного з первинного зерна аустеніту, в якому дрібні прошарки карбідів заліза завдовжки від 50 до 200 нм осідають між рейками в напрямку $\langle 111 \rangle$. Мартенсит надає сталі цього винаходу пластичності і міцності. Однак, коли сумарна присутність мартенситу і залишкового аустеніту перевищує 25% , це надає надмірної міцності, але зменшує відносно подовження понад допустиму границю для сталі цього винаходу з тієї самої причини, що мартенсит має такий самий вміст вуглецю, як і залишковий аустеніт, отже, мартенсит є крихким і твердим. Переважна границя сумарної кількості залишкового аустеніту і мартенситу для сталі цього винаходу становить від 4 до 22% , а переважно від 4 до 20% .

Сталеві деталі, цього винаходу, можуть переважно використовуватися як деталі для застосування в шасі, маточині коліс. Зокрема, такі сталеві деталі можуть використовуватися як гвинти і болти для таких застосувань, і, наприклад, болтів в шасі, болтів кріплення маточини до підшипника, болтів кріплення обода до маточини.

Діаметр сталевої деталі, наприклад, не перевищує 22 мм , а більш конкретно не перевищує 20 мм , і ще більш конкретно не перевищує 16 мм . Більш конкретно діаметр сталевої деталі становить, наприклад, не менше $5,5 \text{ мм}$.

Сталеву деталь, описану вище, можна, наприклад, одержати з використанням способу, який включає

- забезпечення наявності напівфабрикату, виготовленого зі сталі;
- відпал такого напівфабрикату при температурі відпалу строго нижче температури A_{c1} сталі;
- холодне формування напівфабрикату на холодноформований виріб;
- піддавання холодноформованого виробу термічній обробці для одержання холодноформованої сталевої деталі, причому ця термічна обробка включає:
 - нагрівання холодноформованого виробу до температури термообробки, не менше температури повної аустенізації (A_{c3}) сталі,
 - загартування до кімнатної температури,
 - і потім, необов'язково,
 - витримування виробу при температурі витримування від 100°C до 400°C протягом часу від 15 хв до 2 год .

Напівфабрикат, одержаний на стадії виготовлення, має такий склад мас. %:

$0,05\% \leq C \leq 0,15\%$,
 $0,01\% \leq Si \leq 1\%$,
 $1,2\% \leq Mn \leq 2\%$,
 $0,1\% \leq Cr \leq 2\%$,
 $0,001 \leq Al \leq 0,1\%$,
 $0,003\% \leq N \leq 0,01\%$,
 $0 \leq S \leq 0,015\%$,
 $0 \leq P \leq 0,015\%$,
 не обов'язково
 $0\% \leq Cu \leq 1\%$,
 $0\% \leq Ni \leq 1\%$,
 $0\% \leq Mo \leq 1,0\%$,
 $0\% \leq Nb \leq 0,1\%$,
 $0\% \leq Ti \leq 0,04\%$,
 $0 \leq V \leq 0,5\%$,
 $0\% \leq B \leq 0,01\%$,

решту становить залізо і неминучі домішки.

Такий склад відповідає складу, описаному для сталевих деталей раніше.

Напівфабрикатом є, зокрема, дріт, діаметром, наприклад, від 5 мм до 25 мм.

Як згадувалося вище, стадія відпалу виконується при температурі відпалу строго нижче температури Ас1 сталі. Зазвичай, температура Ас1 є температурою, при нагріванні до якої починає утворюватися аустеніт.

Стадія відпалу призначена для тимчасового зниження границі міцності сталі на розтяг, щоб підготувати її до холодного штампування. Наприклад, після закінчення стадії відпалу сталь має границю міцності на розтяг не більше 600 МПа. Такий відпал називається відпалом для глобулювання або сфероїдизуючим відпалом.

Конкретніше, на стадії відпалу напівфабрикат нагрівають до температури відпалу, не менше Ас1-20 °С.

На стадії відпалу напівфабрикат переважно витримують при температурі відпалу протягом часу, який вибирають як функцію температури відпалу так, щоб границя міцності сталі на розтяг після відпалу не перевищувала 600 МПа. Наприклад, час витримування при температурі відпалу становить від 5 до 9 год.

Згідно з конкретним прикладом, стадію відпалу виконують при температурі відпалу, яка дорівнює 720 °С, а час витримування при температурі відпалу становить 5 год.

Стадію відпалу переважно виконують в нейтральній атмосфері, наприклад, атмосфері, що складається з газоподібного азоту.

Після витримування при температурі відпалу напівфабрикат охолоджують до кімнатної температури.

Охолодження переважно виконують зі швидкістю, обраною так, щоб уникнути осадження перліту і утворення бейніту і, так, щоб підтримувати границю міцності на розтяг після охолодження не більше 600 МПа. Таку швидкість охолодження можна легко визначити, використовуючи діаграму ССТ сталі (крива анізотермічного перетворення).

Згідно з конкретним прикладом, охолодження від температури відпалу виконують в три стадії: перша стадія охолодження від температури відпалу приблизно до 670 °С, де сталь охолоджується зі швидкістю охолодження, не більше 25 °С/год., друга стадія охолодження приблизно від 670 °С до приблизно до 150 °С при швидкості охолодження, не більше 250 °С/с, і третя стадія охолодження приблизно від 150 °С до температури навколишнього середовища при швидкості охолодження, яка відповідає охолодженню в навколишньому або природному повітряному середовищі. Таке тристадійне охолодження і відповідні температури і швидкості наведені лише як приклад, і можуть використовуватися різні температури і швидкості, залежно, зокрема, від складу сталі і бажаної кінцевої границі міцності на розтяг.

Стадія холодного штампування являє собою, наприклад, стадію холодної висадки, так що після закінчення стадії холодного штампування одержують виріб з головкою холодної висадки, а по закінченні термообробки одержують сталеву деталь з головкою холодної висадки.

Спосіб необов'язково включає між стадією відпалу і холодною висадкою, стадію холодного волочіння відпаленого напівфабрикату для зменшення його діаметра. Така стадія холодного волочіння, зокрема, є стадією волочіння дроту.

Переважно стадії холодного волочіння передують підготовка поверхні, яка включає очищення поверхні напівфабрикату деталі, за якою слідує стадія формування мастильного покриття на поверхні напівфабрикату.

Стадія очищення, наприклад, включає знежирення і/або механічне або хімічне видалення окалини або травлення, необов'язково з подальшою нейтралізацією. В цьому контексті нейтралізація являє собою процес очищення, що використовується для видалення всіх сторонніх частинок або речовин з поверхні сталі для того, щоб знизити ризик корозії.

Стадія формування мастильного покриття, наприклад, включає фосфатування і очищення з використанням мильного розчину.

Після холодного штампування холодноформовану сталеву деталь піддають термообробці, яка включає:

- нагрівання холодноформованого виробу до температури термообробки, не менше температури повної аустенітизації Ас3 сталі;
- загартування до кімнатної температури;
- і потім, необов'язково, витримування виробу при температурі від 100 °С до 400 °С протягом часу від 15 хв до 2 год.

Така додаткова термообробка є гартувальною термообробкою.

Згідно з прикладом, на стадії витримування виріб витримують в печі при температурі витримування. Згідно з іншим прикладом, виріб можна витримувати при температурі витримування шляхом занурення у ванну з розплавленою сіллю.

Після закінчення стадії витримування виробам дають охолонути до температури навколишнього середовища на навколишньому або природному повітрі.

Стадію нагрівання виконують так, щоб після закінчення стадії нагрівання сталева деталь мала повністю аустенітну мікроструктуру.

5 Середній розмір аустенітних зерен, що утворюються на цій стадії нагрівання, не перевищує 20 мкм і, зокрема, становить від 8 до 15 мкм. Такий розмір, наприклад, вимірюють зі збільшенням 500:1.

10 Такий малий розмір зерен зумовлений присутністю в сталі мікролегуючих елементів, які утворюють виділення, і здатні скріплювати границі зерен, щоб уникнути зростання зерен на стадії аустенітизації. Такий розмір аустенітних зерен є першим розміром аустенітних зерен холодноформованої, загартованої і відпущеної сталеві деталі цього винаходу.

Температура термообробки, наприклад, щонайменше на 50 °C вище температури повної аустенітизації Ac3 сталі.

15 Більш конкретно, на стадії нагрівання сталеву деталь витримують при температурі термообробки протягом часу від 5 до 120 хв.

Переважно, температура витримування становить від 200 до 380 °C.

Після закінчення стадії витримування одержують холодноформовану сталеву деталь, зокрема, загартовану сталеву деталь з головкою холодної висадки.

20 Одержана в такий спосіб сталева деталь має мікроструктуру, описану вище для сталеві деталі.

Експерименти

Лабораторні випробування проводять на виливках, що мають хімічні склади I1-I6, які відповідають цьому винаходу. R1-R4 є еталонними сталями, склад яких не відповідає цьому винаходу.

25

Таблиця 1

Хімічні склади виливків

Сталь	C	Mn	Si	Cr	Al	P	S	N	Ni	Cu	Mo	Nb	Ti	B
I1	0,107	1,750	0,344	1,020	0,016	0,005	0,008	0,0038	0,016	0,010	0,047	0,047	0,021	0,0021
I2	0,124	1,760	0,093	0,789	0,019	0,003	0,003	0,0031	0,010	0,009	0,065	0,048	0,028	0,0013
I3	0,121	1,750	0,334	1,010	0,026	0,008	0,007	0,0050	0,103	0,011	0,198	0,034	0,025	0,0034
I4	0,130	1,800	0,370	1,250	0,026	0,009	0,008	0,0080	0,107	0,012	0,107	0,036	0,028	0,0035
I5	0,127	1,800	0,348	1,250	0,022	0,007	0,006	0,0050	0,109	0,011	0,105	0,022	0,026	0,0037
I6	0,118	1,590	0,350	1,380	0,016	0,007	0,007	0,0100	0,106	0,011	0,101	0,036	0,029	0,0034
R1	0,299	0,898	0,072	0,270	0,031	0,005	0,003	0,0073	0,034	0,047	0,096	0,001	0,037	0,0020
R2	0,443	0,940	0,169	1,480	0,025	0,005	0,005	0,0047	0,159	0,040	0,192	0,049	0,014	0,0008
R3	0,364	0,875	0,035	1,040	0,030	0,010	0,005	0,0049	0,018	0,007	0,002	0,002	<0,002	<0,0003

У наведеній вище таблиці 1 склади вказані у мас. %, а підкреслені позначення не відповідають винаходу.

У всіх наведених вище складах решта складається з заліза і неминучих домішок.

Таблиця 2. Параметри способу

30 Сталі цього винаходу і еталонні сталі повторно нагрівають при 1150 °C і потім піддають гарячій прокатці з кінцевою температурою вище 800 °C у формі дроту діаметром 16 мм. Потім всю катанку (напівфабрикат) як сталей цього винаходу, так і еталонних сталей піддають відпалу, який включає витримування катанки при температурі 720 °C протягом 5 год. з подальшим охолодженням. Охолодження здійснюють в три стадії, які включають охолодження зі швидкістю охолодження 25 °C/год. до 670 °C, потім охолодження зі швидкістю 250 °C/год. до 150 °C і, нарешті, природне охолодження або охолодження навколишнім повітрям до кімнатної температури. Зазначені швидкості охолодження одержують шляхом відповідного регулювання умов нагрівання печі відпалу, причому нагрівання зменшують або вимикають, в залежності від потреб, способом, відомим фахівцю. Ac1 і Ac3 як для сталей винаходу (I1-I6), так і для еталонної сталі (R1-R3) розраховують шляхом дослідження дилатометричним методом.

40 Після цього холодноформовану сталеву деталь піддають термообробці з нагріванням і загартуванням відповідно до таблиці 2.

Таблиця 2

Параметри процесу

Проби	Швидкість нагрівання (°C/c)	Температура нагрівання (°C)	Час витримання при нагріванні (год.)	Швидкість охолодження (°C/c)	Кінець загартування Т (°C)	Ac1 (°C)	Ac3 (°C)
I1	1	900	0,5	20	25	736	868
I2	1	900	0,5	20	25	723	860
I3	1	900	0,5	20	25	750	855
I4	1	900	0,5	20	25	751	856
I5	1	900	0,5	20	25	747	847
I6	1	900	0,5	20	25	741	851
R1	1	890	0,5	20	25	719	751
R2	1	890	0,5	20	25	729	807
R3	1	890	0,5	20	25	732	755

Підкреслені позначення таблиці 2 не відповідають винаходу.

Таблиця 3. Механічні властивості

Випробування на розтяг проводять безпосередньо на катанках. Випробування на розтяг проводять відповідно до стандарту NF EN ISO 6892-1, тобто, при швидкості поперечної голівки 8 мм/хв. Кожне значення є середнім з трьох вимірів.

Виконують профіль твердості по поперечному перерізу зразків. Випробування на твердість за Віккерсом проводять при навантаженні 30 кг протягом 15 с. Твердість вимірюють відповідно до стандарту NF EN ISO 6507-1. Кожне значення є середнім з трьох вимірів.

Результати таких випробувань узагальнено у таблиці 3 нижче.

Крім того, аналізують мікроструктуру одержаних виробів на основі поперечних перерізів зазначених виробів. Більш конкретно, структури, присутні в поперечних перерізах, характеризують за допомоги світлооптичної мікроскопії (LOM) і електронної сканувальної мікроскопії (SEM). Спостереження LOM і SEM виконують після травлення з використанням розчину, що містить ніталь.

Результати таких аналізів узагальнені у наступній таблиці 4.

В таблиці 3 використовуються такі скорочення:

TS (МПа) відноситься до границі міцності на розтяг, виміряній при випробуванні на розтяг у поздовжньому напрямку відносно напрямку прокатки,

YS (МПа) відноситься до границі плинності, виміряної при випробуванні на розтяг у поздовжньому напрямку відносно напрямку прокатки,

RA (%) відноситься до відсотка обтискання по площі, виміряному при випробуванні на розтяг у поздовжньому напрямку відносно напрямку прокатки,

E1 (%) відноситься до загального подовження, виміряного при випробуванні на розтяг у поздовжньому напрямку відносно напрямку прокатки,

HV30 відноситься до результату виміру твердості.

Таблиця 3:

Механічні властивості зразків після загартування

	TS (МПа)	YS (МПа)	E1 (%)	RA (%)	HV30
I1	1225	901	15,0	64,3	383
I2	1216	925	13,6	63,7	393
I3	1231	1002	14,2	64,7	394
I4	1280	1033	14,4	65,4	400
I5	1280	1028	15,3	63,5	400
I6	1240	1013	14,5	64,7	393
R1	1013	819	16,1	66,2	364
R2	1253	1168	13,9	53,5	410

Таблиця 3:

Механічні властивості зразків після загартування

	TS (МПа)	YS (МПа)	E1 (%)	RA (%)	HV30
<u>R3</u>	1260	1172	<u>7,9</u>	<u>53,5</u>	448

Підкреслені значення не відповідають винаходу.

Таблиця 4. Результати з водневого окрихчення

Для кожного з експериментів I1-I6, а також R1-R3 визначають водневу стійкість відповідних зразків шляхом порівняння результатів випробування на розтяг з низькою швидкістю деформації, яка проводиться на гладких зразках, які піддаються деформації зі швидкістю $10^{-5} \cdot \text{с}^{-1}$ на зразку ненасиченому воднем, а потім на зразку, насиченому воднем, відповідно до стандартів NF A-05-304.

Більш конкретно автори винаходу визначили пластичність (за відсотком обтискання по площі Ra) насичених і ненасичених зразків і порівняли результати з допомогою показника окрихчення.

Загальний вміст H_2 всередині зразків перед насиченням становив приблизно 0,3 част./млн.

Насичення воднем здійснюють шляхом катодного насичення з використанням розчину електроліту, що складається з 1N H_2SO_4 з додаванням 2,5 мг/л тіосечовини як активатора водню, при густині струму $I=0,8 \text{ мА/см}^2$ протягом 5 год.

Для кожної пари зразків (насичених і ненасичених) показник окрихчення I_{Ra} , який відноситься до відсотка обтискання за площею, розраховується за такою формулою:

$I_{\text{Ra}}=1 - [\text{RA}(\text{H}_2)/\text{RA}(\text{H}_2=0)]$, де $\text{RA}(\text{H}_2)$ відповідає значенню обтискання за площею у відсотках, вимірюваному на зразку, насиченому воднем, а $\text{RA}(\text{H}_2=0)$ відповідає значенню обтискання по площі у відсотках, вимірюваному на ненасиченому зразку.

Показник окрихчення, близький до 1, означає, що марка сталі дуже чутлива до водневого окрихчення. Показник окрихчення I_{Ra} менше 0,09 вважається задовільним з урахуванням бажаних застосувань, а показник окрихчення I_{Ra} не більше 0,08 є переважним для бажаних застосувань.

Автори винаходу також спостерігали за режимом поверхневого руйнування в кожному випадку.

Результати зазначених випробувань узагальнено у таблиці 4.

	Ra (%) без H_2	Ra (%) з H_2	Показник водневого окрихчення (I_{Ra})
I1	67,5	66,2	0,02
I2	67,3	65,0	0,03
I3	65,2	64,0	0,02
I4	65,1	64,0	0,07
I5	67,4	65,0	0,04
I6	65,8	64,0	0,03
R1	68,2	59,3	0,13
R2	54,3	49,6	0,09
R3	55,1	20,3	0,63

Як можна бачити з наведеної вище таблиці 4, водень істотно не впливає на пластичність сталі винаходу.

Сталі, що мають склади I1-I6, після загартування демонструють більш високу стійкість до водневого окрихчення, ніж еталонні марки R1-R4.

Порівняння зразків I1-I6 із вмістом бейніту, що не менше 80 %, як показано в таблиці 5, із зразком, що має мартенситну мікроструктуру, який відповідають R1-R4, як показано в таблиці 5, показує, що бейнітна структура менш чутлива до водневого окрихчення ніж мартенситна структура.

Нарешті, можна помітити, що зразки, відповідні винаходу (I1-I6), за однакових умов насичення поглинають менше водню, ніж зразки порівняння (R1-R4).

Отже, наведені експерименти показують, що сталеві деталі цього винаходу особливо добре пристосовані для застосувань, згаданих вище, вони мають дуже хороші механічні властивості і, зокрема, хорошу міцність на розтяг, пов'язану з покращеною стійкістю до водневого окрихчення, порівняно зі сталевими деталями попереднього рівня техніки.

Спосіб цього винаходу також має ту перевагу, що він дозволяє одержати після відпалу досить низьку міцність на розтягування, щоб можна було використовувати звичайні інструменти для холодного штампування і зменшити їх зношування, одночасно одержуючи готові деталі, що мають високу міцність на розтяг (не менше 1100 МПа).

5

Таблица 5

Мікроструктура

Мікроструктури сталей характеризують з допомогою світлооптичної мікроскопії (ЛОМ) і сканувальної електронної мікроскопії (SEM) після травлення 2 % ніталом. Для визначення частки залишкового аустеніту проводять кількісний рентгеноструктурний аналіз.

Проби	Бейніт(%)	Мартенсит +RA (%)
I1	85	15
I2	82	18
I3	85	15
I4	95	5
I5	95	5
I6	90	10
R1	0	100
R2	0	100
R3	0	100

Підкреслені значення не відповідають винаходу.

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

1. Спосіб виготовлення сталевих деталей, який включає:
 - 10 забезпечення наявності напівфабрикату, виготовленого зі сталі, яка містить, мас. %:
 $0,05 \leq C \leq 0,15$,
 $0,01 \leq Si \leq 1$,
 $1,2 \leq Mn \leq 2$,
 $0,1 \leq Cr \leq 2$,
 $0,001 \leq Al \leq 0,1$,
 $0,003 \leq N \leq 0,01$,
 $S \leq 0,015$,
 $P \leq 0,015$,
 $0,01 \leq Nb \leq 0,1$,
 - 20 решта - залізо і неминучі домішки;
 відпал зазначеного напівфабрикату при температурі відпалу строго нижче за температуру Ac1 сталі;
 охолодження до кімнатної температури;
 холодне формування напівфабрикату на холодноформований виріб;
 - 25 піддавання холодноформованого виробу термообробці, яка включає:
 нагрівання холодноформованого виробу до температури термообробки, не менше температури повної аустенізації Ac3 сталі; і
 загартування до кімнатної температури;
2. Спосіб виготовлення сталевих деталей за п. 1, за яким сталь додатково містить, мас. %:
 - 30 $0 \leq Cu \leq 1$,
 $0 \leq Ni \leq 1$,
 $0 \leq B \leq 0,01$,
 $0 \leq Mo \leq 1$,
 $0 \leq Ti \leq 0,04$,
 $0 \leq V \leq 0,5$.
3. Спосіб за п. 1 або 2, за яким при термообробці на стадії нагрівання холодноформований виріб нагрівають до температури термообробки, яка щонайменше на 50 °C перевищує температуру повної аустенізації Ac3 сталі.
4. Спосіб за п. 1 або 2, за яким температура відпалу становить не менше Ac1 мінус 20 °C.
5. Спосіб за будь-яким з пп. 1-4, за яким проводять повторне нагрівання виробу при температурі витримання від 180 до 400 °C протягом часу від 15 хв до 2 год.

6. Спосіб за будь-яким з пп. 1-5, в якому напівфабрикатом є дріт діаметром від 5 до 25 мм.
7. Спосіб за будь-яким з пп. 1-6, який додатково включає перед стадією холодного формування підготовку поверхні напівфабрикату, яка включає очищення поверхні напівфабрикату і формування на поверхні мастильного покриття.
- 5 8. Спосіб за п. 7, за яким стадія формування змащувального покриття на поверхні напівфабрикату включає виконання фосфатної обробки і очищення з використанням мильного розчину.
9. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким вміст вуглецю в сталі становить від 0,08 до 0,14 мас. %.
- 10 10. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким вміст марганцю в сталі становить від 1,3 до 1,9 мас. %.
11. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким вміст хрому в сталі становить від 0,2 до 1,6 мас. %.
12. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким стадія холодного штампування являє собою стадію холодної висадки.
- 15 13. Спосіб за будь-яким з попередніх пунктів, за яким на стадії витримування виріб витримують при температурі витримування шляхом занурення у ванну з розплавленою сіллю.
14. Сталева деталь, виготовлена зі сплаву, який містить, мас. %:
- 20 $0,05 \leq C \leq 0,15$,
 $0,01 \leq Si \leq 1$,
 $1,2 \leq Mn \leq 2$,
 $0,1 \leq Cr \leq 2$,
 $0,001 \leq Al \leq 0,1$,
 $0,003 \leq N \leq 0,01$,
 $S \leq 0,015$,
 $P \leq 0,015$,
 $0,01 \leq Nb \leq 0,1$,
 решта - залізо і неминучі домішки;
- 30 причому сталева деталь має мікроструктуру, яка включає щонайменше 80 % бейніту за площею і сукупна присутність мартенситу і залишкового аустеніту від 1 до 20 % за площею, причому сталева деталь має границю міцності на розтяг не менше 1100 МПа.
15. Сталева деталь за п. 14, в якій сталь додатково містить, мас. %:
- 35 $0 \leq Cu \leq 1$,
 $0 \leq Ni \leq 1$,
 $0 \leq B \leq 0,01$,
 $0 \leq Mo \leq 1$,
 $0 \leq Ti \leq 0,04$,
 $0 \leq V \leq 0,5$.
16. Сталева деталь за п. 14 або 15, в якій мартенсит сталі містить карбіди заліза у формі прошарків, які мають довжину від 50 до 200 нм.
- 40 17. Сталева деталь за п. 14 або 16, яка має твердість від 360 до 405 HV.
18. Сталева деталь за будь-яким з пп. 14-17, яка має показник водневого окрихчування менше 0,09.
19. Сталева деталь за будь-яким з пп. 14-18, яка має обтискання по площі більш ніж 58 %.
- 45