

Цей винахід відноситься до високоміцних загартованих під пресом сталевих деталей, які мають відповідні згинання і зварюваність.

Високоміцні деталі, загартовані під пресом, можуть використовуватися як конструктивні елементи в автомобільних транспортних засобах для захисту при зіткненні і для поглинання енергії. В таких випадках бажано виробляти сталеві деталі, які поєднують в собі високу механічну міцність, ударну міцність і відповідну корозійну стійкість. Крім того, одним з основних завдань автомобільної промисловості є зниження ваги транспортних засобів з метою підвищення їхньої паливної економічності з урахуванням глобального збереження довкілля, не нехтуючи при цьому вимогами безпеки. Таке зниження ваги може бути досягнуто, зокрема завдяки використанню сталевих деталей з бейнітно-мартенситною мікроструктурою відпущеного мартенситу. Такі типи деталей можуть бути одержані шляхом зварювання і виробники автомобілів вимагають, щоб зварне з'єднання не було найслабшою зоною сталеві зварюваної деталі. Дійсно, наявність точкових зварних швів на конструктивних елементах кузова автомобіля може спричинити поломку під час аварії через локалізації деформації в зоні навколо шва (ЗТВ).

Таким чином, метою винаходу є вирішення вищезгаданої проблеми і створення загартованої під пресом сталеві деталі, яка поєднує високі механічні властивості: границю міцності на розтяг TS не менше 1000 МПа, зменшенням поперечного перерізу при рівномірному подовженні  $\Delta UEI$  на ділянках точкового зварювання менше 5 % і кутом вигину не менше 55°. Переважно загартована під пресом сталева деталь згідно винаходу має деформацію при руйнуванні не менше 0,50. Переважно загартована під пресом сталева деталь згідно винаходу, має границю плинності YS не менше 980 МПа.

Мета цього винаходу досягається за рахунок створення сталеві деталі за п. 1. Сталева деталь також може мати характеристики будь-якого з пп. 2-4. Інша мета досягається шляхом створення способу за п. 5. Інша мета досягається шляхом пропозиції способу за пп. 6-8.

Далі винахід буде докладно описаний і проілюстрований необмежувальними прикладами.

Далі буде описаний склад сталі згідно з винаходом, в якому вміст компонентів виражається у масових відсотках.

Згідно з винаходом, вміст вуглецю становить 0,2-0,34 % для забезпечення задовільної міцності. При вмісті вуглецю вище 0,34 % деформація при руйнуванні і кут вигину сталеві листа не досягають цільових значень. Більш того, зварюваність сталеві листа може знизитися. Якщо вміст вуглецю нижче 0,2 %, границя міцності на розтяг і границя плинності не досягне цільового значення.

Вміст марганцю становить 0,50-1,24 %. При вмісті вище 1,24 % ризик осьової ліквіації збільшується з погіршенням гнучкості, тому деформація при руйнуванні може бути знижена. Нижче 0,50 % зміцнюваність сталеві листа знижується, а границя міцності на розтяг і границя плинності не досягає цільового значення.

Вміст кремнію становить 0,5-2 %. Кремній є елементом, який бере участь у твердорозчинному зміцненні. Кремній додається для обмеження утворення карбідів і забезпечення високого рівня міцності на розтяг. При вмісті вище 2 % на поверхні утворюються оксиди кремнію, що погіршує здатність сталі приймати покриття. Крім того, може знизитися зварюваність сталеві листа. Переважно вміст кремнію становить 0,5-1,8 %. Більш переважно вмісту кремнію становить 0,6-1,8 %, а ще більш переважно 0,6-1,6 %.

Деякі елементи можуть бути додані за необхідності. Вміст алюмінію може бути доведений до 0,2 %, оскільки це дуже ефективний елемент розкиснення сталі в рідкій фазі в процесі одержання. Переважно вміст алюмінію не перевищує 0,1 %. Більш переважно, вміст алюмінію не перевищує 0,06 %.

Необов'язково вміст хрому може бути доведений до 0,8 % для покращення твердорозчинного зміцнення. Вміст хрому не перевершує 0,8 %, щоб обмежити проблеми з технологічністю і знизити вартість. Переважно вміст хрому не перевищує 0,6 %.

Вміст ніобію необов'язково може бути доведений до 0,06 % для попереднього подрібнення аустенітного зерна і покращення пластичності сталі. При вмісті вище 0,06 % збільшується ризик утворення карбідів NbC або Nb(C, N) із погіршенням гнучкості.

Вміст титану необов'язково може бути доведений до 0,06 % для захисту від утворення BN. Переважно вміст титану перевищує 0,01 %.

Вміст бору може бути необов'язково доведений до 0,005 %. Бор покращує зміцнюваність сталі. Вміст бору не перевищує 0,005 %, щоб уникнути ризику руйнування сляба при безперервному розливанні.

Молибден може бути необов'язково доданий у кількості до 0,35 %. Як і бір, молибден покращує зміцнюваність сталі. Вміст молибдену не перевищує 0,35 % для обмеження собівартості.

Решту складу сталі становлять залізо і домішки, які утворюються в результаті виплавляння. В цьому відношенні P, S і N вважаються, щонайменше, залишковими елементами, які є немінучими домішками. Їх вміст не перевищує 0,020 % для P, не перевищує 0,010 % для S і не перевищує 0,010 % для N.

Далі буде описана мікроструктура сталеві деталі, загартованої під пресом згідно винаходу.

Загартована під пресом сталева деталь має мікроструктуру, що включає в частках поверхні не менше 95 % відпущеного мартенситу. Цей мартенсит утворюється при нагріванні сталеві деталі до температури  $T_{temp}$ , яка становить 390-510 °C, протягом часу витримання  $t_{temp}$ , який становить 1-1000 с. Необов'язково може бути присутня деяка кількість бейніту, фериту і аустеніту, сума яких в частках поверхні не перевищує 5 %.

Переважно, мікроструктура сталеві деталі, загартованої під пресом, на 100 % складається з відпущеного мартенситу.

Загартована під пресом сталева деталь згідно винаходу, може бути виготовлена будь-яким відповідним способом виробництва, і фахівець у цій галузі може його визначити. Однак переважно використовувати спосіб згідно винаходу, який включає такі стадії:

Сталевий лист, який має склад згідно винаходу, одержують і розрізують до заданої форми для одержання сталеві заготовки. Сталеву заготовку нагрівають до температури  $T_{HF}$ , яка становить 810-960 °C, переважно 850-950 °C, а більш переважно 880-950 °C, і витримують при зазначеній температурі  $T_{HF}$  протягом часу витримання

$t_{HF}$ , який становить 5-1200 с, для одержання нагрітої сталеві заготовки з повністю аустенітною мікроструктурою. Зазначену нагріту сталеву заготовку передають у формувальний прес і піддають гарячому штампуванню для одержання сталеві деталі.

Потім сталеву деталь загартовують під пресом до досягнення температури не більше 200 °С. Сталеву деталь повторно нагрівають до температури  $T_{temp}$ , яка становить 390-510 °С, і витримують при зазначеній температурі  $T_{temp}$  протягом часу витримувannya  $t_{temp}$ , який становить 1-1000 с, для одержання загартованої сталеві деталі для забезпечення однорідності температури по всій сталеві деталі. При температурі вище 510 °С знижується границя міцності на розтяг сталеві деталі. При температурі нижче 390 °С зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні  $\Delta UEI$  в зонах точкового зварювання перевищує 25 %. Потім загартовану сталеві деталь охолоджують до кімнатної температури.

Для кожного загартованого виробу чутливість ЗТВ оцінюється за зменшенням поперечного перерізу при рівномірному подовженні зразка JIS зі зварним швом у порівнянні з еталонним зразком без зварного шва. Зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні  $\Delta UEI$  розраховуються в такий спосіб:

Рівномірне подовження  $UEI$  сталі вимірюється відповідно до стандарту JIS Z2241 на зразку для випробувань на розтяг. На зразку для випробування на розтяг виконують точкове зварювання по центру зони деформації зразка. Рівномірне подовження  $UEI_w$  цього зварного зразка для випробувань на розтяг вимірюється відповідно до стандарту JIS Z2241. Зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні  $\Delta UEI$  визначаються за формулою:

$$\Delta UEI = [(UEI - UEI_w) / UEI] * 100$$

У першому переважному здійсненні винаходу сталевий лист, призначений для виготовлення сталеві деталі, виготовляється за допомоги таких послідовних стадій:

відливають сталевий сляб, який має описаний вище склад і повторно нагрівають до температури  $T_{reheat}$ , яка становить 1100-1300 °С, перед гарячою прокаткою з кінцевою температурою гарячої прокатки, яка становить 800-950 °С, для одержання сталеві гарячекатаного листа. Потім сталевий гарячекатаний лист змотують в рулон при температурі  $T_{coil}$  нижче 670 °С. Гарячекатаний сталевий лист може бути додатково протрушений для видалення продуктів окислення. Гарячекатаний сталевий лист необов'язково може бути нагрітий до температури  $T_{HBA}$ , яка становить 500-750 °С, і витримуватися при зазначеній температурі  $T_{HBA}$  протягом часу витримувannya  $t_{HBA}$ , який становить від 300 с до 50 год. Потім сталевий лист піддають холодній прокатці для одержання сталеві холоднокатаного листа. Ступінь обтискання при холодній прокатці переважно становить 20-80 %. Ступінь обтискання нижче 20 % не сприяє рекристалізації під час подальшої термообробки, що може погіршити пластичність сталеві листа. При ступені обтискання вище 80 % існує ризик розтріскування крайок під час холодної прокатки.

Холоднокатаний сталевий лист необов'язково відпалюють при температурі відпалу  $T_A$ , яка становить 650-900 °С, і витримують при зазначеній температурі  $T_A$  протягом часу витримувannya  $t_A$ , який становить 10-1200 с, для одержання відпаленого сталеві листа, щоб зменшити границю міцності на розтяг для полегшення різання сталі. Сталевий лист остаточно охолоджується до кімнатної температури.

Переважно на зазначений відпалений сталевий лист наносять покриття з алюмінію або алюмінієвого сплаву, або покриття з цинку або цинкового сплаву перед охолодженням до кімнатної температури.

В другому здійсненні винаходу сталевий лист, призначений для виготовлення сталеві деталі, виготовляється на таких стадіях:

Відливають сталевий сляб, який має склад згідно винаходу, і повторно нагрівають до температури  $T_{reheat}$ , яка становить 1100-1300 °С, перед гарячою прокаткою з кінцевою температурою гарячої прокатки 800-950 °С, для одержання сталеві гарячекатаного листа. Потім сталевий гарячекатаний лист змотують в рулон при температурі  $T_{coil}$  нижче 670 °С. Гарячекатаний сталевий лист необов'язково може бути протрушений для видалення продуктів окислення. Гарячекатаний сталевий лист може бути необов'язково нагрітий до температури  $T_{HBA}$  500-750 °С і витриманий при зазначеній температурі  $T_{HBA}$  протягом часу витримувannya  $t_{HBA}$  від 300 с до 50 год. Потім сталевий лист піддають холодній прокатці для одержання сталеві холоднокатаного листа. Ступінь обтискання при холодній прокатці переважно становить 20-80 %. Ступінь обтискання нижче 20 % не сприяє рекристалізації під час подальшої термообробки, що може погіршити пластичність сталеві листа. При ступені обтискання вище 80 % існує ризик розтріскування крайок під час холодної прокатки. Холоднокатаний сталевий лист необов'язково відпалюють при температурі відпалу  $T_A$ , яка становить 500-750 °С, і витримують при зазначеній температурі  $T_A$  протягом часу витримувannya  $t_A$ , який становить від 300 с до 50 год., для одержання відпаленого сталеві листа, щоб зменшити границю міцності, що полегшує різання сталі. Сталевий лист остаточно охолоджується до кімнатної температури.

Загартована під пресом сталеві деталь, згідно винаходу, має границю міцності на розтяг  $TS$  вище або рівний 1000 МПа, зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні  $\Delta UEI$  на ділянках точкового зварювання не більше 25 % і кут вигину вище або рівний 55°. У переважному здійсненні винаходу загартована під пресом сталеві деталь має границю плинності  $YS$  не менше 980 МПа. В іншому переважному здійсненні загартована під пресом сталеві деталь винаходу має деформацію при руйнуванні не менше 0,50.

Далі винахід буде проілюстрований такими прикладами, які аж ніяк не є обмежувальними.

Приклад

8 марок сталі, склади яких представлені в таблиці 1, відливають у вигляді напівфабрикатів і перероблюють на сталеві листи, а потім на сталеві деталі відповідно до параметрів процесу, які наведені в таблиці 2.

## Склади

Тестовані склади наведені в наступній таблиці, де вміст елементів виражений у масових відсотках

| Сталь | C    | Mn   | Si   | Al   | Cr   | Nb     | Ti    | B      | Mo     | P     | S      | N      | Інші    |
|-------|------|------|------|------|------|--------|-------|--------|--------|-------|--------|--------|---------|
| A     |      | 1,21 | 1,49 | 0,03 | 0,15 | 0,027  | 0,02  | 0,0022 | 0,001  | 0,015 | 0,0015 | 0,0044 | -       |
| B     | 0,30 | 0,94 | 0,79 | 0    | 0,31 | 0,031  | 0,02  | 0,0018 | 0,002  | 0,01  | 0,0007 | 0,0027 | -       |
| C     | 0,29 | 0,93 | 1,43 | 0    | 0,50 | 0,031  | 0,02  | 0,0024 | 0,001  | 0,011 | 0,0006 | 0,0026 | -       |
| D     | 0,22 | 1,23 | 1,47 | 0,01 | 0,51 | 0,031  | 0,02  | 0,0015 | 0,001  | 0,012 | 0,0008 | 0,0047 | -       |
| E     | 0,31 | 0,90 | 0,79 | 0,03 | 0,30 | 0,026  | 0,018 | 0,002  | 0,001  | 0,013 | 0,0014 | 0,0042 | -       |
| F     | 0,31 | 0,91 | 0,01 | 0,03 | 0,30 | 0,026  | 0,018 | 0,0021 | 0,001  | 0,012 | 0,0015 | 0,0039 | -       |
| G     | 0,23 | 1,18 | 0,25 | 0,04 | 0,17 | 0,0004 | 0,039 | 0,0031 | 0,0009 | 0,012 | 0,0009 | 0,0041 | -       |
| H     | 0,36 | 0,64 | 0,54 | 0,04 | 0,34 | 0,046  | 0,011 | 0,0014 | 0,191  | 0,011 | 0,0018 | 0,0029 | Ni 0,36 |

Сталі A-E винаходу, сталі F-H не відповідають винаходу

Підкреслені значення: не відповідають винаходу.

Відлиті сталеві напівфабрикати піддають повторному нагріванню при 1250 °С, гарячій прокатці з кінцевою температурою 800-950 °С, змотують в рулон при 580 °С і холодній прокатці зі ступенем обтискання 58 %. Потім сталеві листи нагрівають до температури  $T_A$  790 °С і витримують при зазначеній температурі  $T_A$  протягом часу витримування  $t_A$  180 с. Сталеві листи розрізують до заданої форми, щоб одержати сталеву заготовку. Потім сталеві заготовки нагрівають до температури  $T_{HF}$  протягом часу витримування  $t_{HF}$  120 с, а потім переносять у формувальний прес. Нагріті заготовки піддають гарячому штампуванню у формувальному пресі для одержання сталевих деталей, а потім піддають загартовуванню в штампи до досягнення температури 80 °С.

Потім сталеві деталі повторно нагрівають до температури  $T_{temp}$  390-510 °С і витримують при зазначеній температурі  $T_{temp}$  протягом часу витримування  $t_{temp}$  1-1000 с, а потім охолоджують до кімнатної температури.

Таблиця 2

### Параметри процесу

| Тест | Сталь | Гаряча прокатка                           | Нагрівання    | Витримування    |                |
|------|-------|-------------------------------------------|---------------|-----------------|----------------|
|      |       | Кінцева температура гарячої прокатки (°С) | $T_{HF}$ (°С) | $T_{temp}$ (°С) | $t_{temp}$ (с) |
| 1    | A     | 850                                       | 900           | 430             | 300            |
| 2    | B     | 850                                       | 900           | 420             | 300            |
| 3    | C     | 850                                       | 900           | 410             | 300            |
| 4    | D     | 850                                       | 930           | 390             | 300            |
| 5    | E     | 850                                       | 900           | 420             | 300            |
| 6    | E     | 850                                       | 900           | 500             | 300            |
| 7    | E     | 850                                       | 900           | 460             | 10             |
| 8    | B     | 850                                       | 900           | <u>370</u>      | 300            |
| 9    | F     | 850                                       | 900           | <u>380</u>      | 300            |
| 10   | G     | 900                                       | 900           | <u>0</u>        | <u>0</u>       |
| 11   | H     | 900                                       | 900           | 430             | 300            |

Підкреслені значення: не відповідають винаходу.

Сталеві деталі аналізують, і відповідна мікроструктура і властивості представлені у таблиці 3 і таблиці 4 відповідно.

Таблиця 3

### Мікроструктура сталевих деталей

| Тест | Відпущений мартенсит (%) | Мартенсит (%) |
|------|--------------------------|---------------|
| 1    | 100                      | -             |
| 2    | 100                      | -             |
| 3    | 100                      | -             |
| 4    | 100                      | -             |
| 5    | 100                      | -             |
| 6    | 100                      | -             |
| 7    | 100                      | -             |
| 8    | 100                      | -             |
| 9    | 100                      | -             |
| 10   | -                        | <u>100</u>    |
| 11   | 100                      | -             |

Підкреслені значення: не відповідають винаходу.

Частку поверхні визначають в такий спосіб: зразок вирізують із загартованої під пресом сталевих деталей,

полірують і протрують відомим реагентом, наприклад, реагентом ніталь, для виявлення мікроструктури. Потім зріз досліджують з допомогою оптичного або сканувального електронного мікроскопа, наприклад, з допомогою електронного сканувального мікроскопа з польовою емісійною гарматою ("FEG-SEM") при збільшенні більше 5000 $\times$ , з'єднаного з пристроєм дифракції зворотного розсіювання електронів (EBSD). Відпущений мартенсит можна відрізнити від мартенситу завдяки низькій щільності дислокацій порівняно з мартенситом.

TS і YS вимірюються відповідно до стандарту ISO 6892-1. Кут вигину визначався на загартованих під пресом деталях за методом стандарту вигину VDA238-100 (нормування на товщину 1,5 мм).

Термін "деформація при руйнуванні" відноситься до критерію деформації при руйнуванні, визначеному в Pascal Dietsch (Паскаль Дитш) і др. в "Methodology to assess fracture during crash simulation: fracture strain criteria and their calibration", в виданні Metallurgical Research Technology Volume 114, Number 6, 2017. Деформація при руйнуванні еквівалентна деформації всередині матеріалу в точці деформації, при досягненні критичного кута вигину. Значення деформації при руйнуванні були визначені за умови плоскої деформації, які є найбільш важкими умовами з точки зору зіткнення транспортних засобів, і одержані методом аналізу кінцевих елементів.

Таблиця 4

#### Властивості сталевих деталей

| Тест | TS (МПа) | Вигин (°) | YS (МПа) | Деформація при руйнуванні |
|------|----------|-----------|----------|---------------------------|
| 1    | 1380     | 88        | 1285     | 0,78                      |
| 2    | 1337     | 94        | 1260     | 0,80                      |
| 3    | 1516     | 78        | 1374     | 0,63                      |
| 4    | 1446     | 70        | 1288     | 0,59                      |
| 5    | 1306     | 101       | 1244     | 0,82                      |
| 6    | 1035     | 104       | 988      | 0,84                      |
| 7    | 1233     | 101       | 1187     | 0,91                      |
| 8    | 1546     | 60        | 1423     | 0,45                      |
| 9    | 1315     | 83        | 1261     | 0,71                      |
| 10   | 1527     | 56        | 1098     | 0,30                      |
| 11   | 1340     | 44        | 1290     | 0,32                      |

Підкреслені значення: не відповідають винаходу.

На зразку для випробування на розтяг виконують точкове зварювання по центру зони деформації зразка. Відповідне зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні  $\Delta UE1$  для контактного точкового зварювання наведено в таблиці 5.

Таблиця 5

#### Властивості точкового зварювання сталевих деталей, загартованої під пресом

| Тест | $\Delta UE1$ (%) |
|------|------------------|
| 1    | 15               |
| 2    | 14               |
| 3    | н.в.             |
| 4    | 22               |
| 5    | 22               |
| 6    | 11               |
| 7    | 3                |
| 8    | 61               |
| 9    | 47               |
| 10   | 70               |
| 11   | 34               |

Підкреслені значення: не відповідають цільовим значенням

н.в.: значення не визначене

Завдяки специфічному складу і використуванню параметрам процесу приклади винаходу, а саме приклади 1-7, є єдиними, які демонструють поєднання високих механічних властивостей з TS вище 1000 МПа, кутом вигину не менше 55°, і зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні менше 25 %. Крім того, приклади 1-7 мають деформацію при руйнуванні більше 0,50.

Температура відпускання, яка використовується для сталевих деталей у випробуваннях 8 і 9, занадто низька, щоб обмежити негативний вплив розм'якшення ЗТВ на рівномірне подовження, як видно із зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні, яке перевищує 25 %. Більш того, порівняно з випробуванням 2 з тим самим складом сталі, низька температура відпускання у випробуванні 8 призводить до більш високого

зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні і нижчій величині деформації при руйнуванні, ніж у випробуванні 2. Сталева деталь випробування 10 була піддана відпусканню, що передбачає зменшення поперечного перерізу при рівномірному подовженні більше 25 %. У випробуванні 11 вміст вуглецю в сталевий деталі надто великий для досягнення цільових значень деформації при руйнуванні і згинанні.