

Артемчук В.В.

Механізм зношення та деякі властивості матеріалів п'ятникового вузла вантажних вагонів

Вступ, постановка проблеми. Збільшення ресурсу деталей є одним із пріоритетних напрямків у будь-якій галузі й тому числі на транспорті. Термін експлуатації або міжремонтний пробіг рухомого складу залежить від роботи окремих його складових, наприклад, механічної частини, електричного обладнання. Як показують спостереження, одним з найбільш зношуваних деталей вантажних вагонів є п'ятниковий вузол, який й був обраний для подальшого розгляду. Як відомо, значна частина розходів на ремонт механічної частини вагону виникає в наслідок зносу деталей, який у свою чергу, приводить до відмов або несправностей її елементів. Тому, очевидно, що для зменшення витрат на ремонт механічного обладнання зі збереженням закладеного рівня надійності, необхідно збільшувати міжремонтні пробіги рухомого складу і вантажних вагонів зокрема. Підвищення терміну експлуатації деталей можливо, застосовуючи більш зносостійкі матеріали. Однак, замінювати технологічний і відносно дешевий матеріал всієї деталі на новий, більш дорогий не має сенсу; найчастіше достатньо навести на основу зносостійкий матеріал на певних ділянках деталі або застосувати зміцнення контактуючих поверхонь деталей. Технології відновлення елементів п'ятникового вузла, що застосовують на даний час, не забезпечують високого ресурсу вказаних деталей, отже, вивчення проблеми зношування і відновлення п'ятника та підп'ятника є актуальним і потребує глибокого вивчення. Раціональний підбір матеріалів, методів і технологій відновлення, зокрема, наплавлення зношених деталей можливе лише визначивши умови експлуатації та механізми зношування при взаємодії деталей досліджуваного вузла. Таким чином, зношувані деталі розглядуваного вузла потребують досліджень механізмів зношування та визначення раціональних режимів та матеріалів при їх відновленні.

Аналіз досліджень та публікацій з розглядуваних питань показує, що даний напрям перспективний і потребує уваги. В роботах [1-3] представлені результати досліджень триботехнічних властивостей наплавочного матеріалу, який автор пропонує для використання. Безумовно, роботи [1-3] заслуговують увагу, проте механізм зношення деталей розкритий не повністю та, на наш погляд, потребує більш досконалого вивчення.

Метою даної роботи є дослідження механізму зношення елементів п'ятникового вузла вантажних вагонів, що дозволить в подальшому більш точно підібрати зносостійкий наплавочний матеріал.

Конструктивні особливості розглядуваного вузла. Розглядуваний вузол знаходиться на шкворневій (п'ятник) балці вантажного вагону та надресорній балці візка (підп'ятник) (рис. 1). Матеріал – сталь 20ГЛ, 20Г1ФЛ, 20ФЛ згідно ГОСТ 977-88

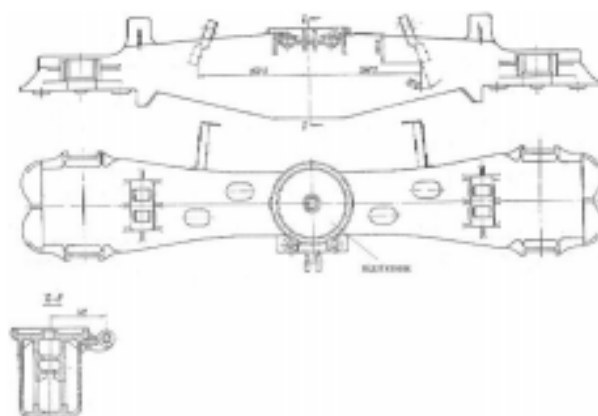


Рисунок 1 – Балка з'єднувальна візка вантажних вагонів

П'ятник (рис. 2) виготовляють зі сталей 15Л, 20Л, 25Л, 20ГЛ, 20Г1ФЛ, 20ФЛ згідно ГОСТ 977-88, допускається застосування: осьова заготовка по ГОСТ 4728-89, сталей 09Г2, 09Г2С, 15ХСНД по ГОСТ 19281-89, сталь 30ХГСА, 38ХС, 40Х по ГОСТ 4543-71, сталь 45 по ГОСТ 1050-88. Останні п'ять марок відносяться до важкозварювальних.

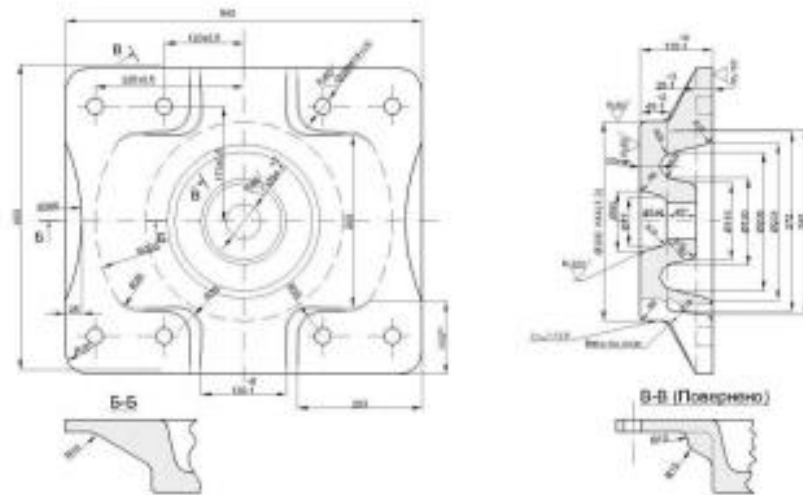


Рисунок 2 – П'ятник

Як відомо, використання вузлів даного типу з одного боку дозволяє значно спростити конструкцію механічної частини рухомого складу, з іншого боку такої конструкції притаманні недоліки, основними серед яких є значний знос контактуючих поверхонь, жорстка передача ударів від кузова на візок і навпаки (при гальмуванні), значні статичні навантаження.

Статистичні дослідження зносу п'ятникового вузла вагонів, що поступили на заводський ремонт показали, що середній знос п'ятника складає 9,8 мм на діаметр та 7,6 мм по опорній поверхні; підп'ятник має середній знос 8,1 мм по опорній поверхні та 16,3 мм на діаметр по бурту (рис. 2). Необхідно зауважити, що під час експлуатації по внутрішньому діаметру підп'ятника утворюється овальність, яка виникає внаслідок дії ударних навантажень. При ремонті овальність ліквідують розточуванням до отримання циліндричної форми бурту підп'ятника та п'ятника. Таким чином додається технологічний знос.



Рисунок 2 – Вимірювання шаблоном зносу підп'ятника вантажного вагону (напіввагону)

Властивості сталей, що застосовують при виготовленні розглядуваних деталей. Якість обраних для відновлення деталей визначається хімічним складом і структурою сталей, з яких вони виготовлені, а також технологією їх виробництва. Проведений аналіз показує, що для виготовлення деталей автозчеплення і п'ятникового вузла найбільш широко використовується сталь типу 20Л, яка може додатково бути легована марганцем, кремнієм, хромом, ванадієм, титаном в рівному поєднанні. Відомо [4, 5], що зі збільшенням вмісту вуглецю значно підвищується зносостійкість і міцність сталі. З цієї точки зору цілком виправдане застосування при виготовленні обраних деталей середньовуглецевих сталей 30ХГСА, 38ХС, 40Х, 45. Однак слід зазначити, що підвищення вмісту вуглецю знижує пластичність сталі і в значній мірі погіршує її зварюваність і при наплавленні таких сталей необхідно застосовувати спеціальні заходи.

Згадані сталі містять кремній і марганець. Зміст кремнію в них зазвичай становить 0,3..0,5%. Кремній розкислює сталь, збільшує її зносостійкість, а також усуває пористість. Однак підвищення вмісту кремнію більше 0,8 % може окрихтуватись сталь. У сталях типу 20Л в середньому міститься близько 1,0 % марганцю. Марганець збільшує в'язкість сталі і підвищує її зносостійкість. Сталь 20Л можна поліпшити додатковим легуванням хромом, ванадієм, титаном.

До шкідливих домішок відносяться сірка і фосфор. Сірка викликає червоноламкість, а фосфор – холодноламкість сталі. Межі їх вмісту в сталі 20Л обмежують 0,040 % S і 0,035 % P.

Як видно з наведеного аналізу, для виготовлення обраних деталей допускається застосування вуглецевих нелегованих або низьколегованих важкозварювальних сталей типу 30ХГСА, 38ХС, 40Х, 45 і при виборі наплавочних матеріалів і розробці технології наплавлення цих деталей необхідно враховувати цей фактор.

Аналіз механізму зношування п'ятникового вузла. Можна припустити, що зношування вузла «п'ятник – підп'ятник» має складний характер та поєднує декілька видів зношування, а саме механічний, молекулярно-механічний та корозійно-механічний. Цікавим є те, що деякі види зношення діють одночасно, деякі дещо конкурують і замінюють один одного по чергову, деякі починають діяти з початку експлуатації вагону, деякі з'являються з часом. Вважаючи складність цього питання, розглянемо механізм зношення вузла «п'ятник – підп'ятник» більш детально.

Механічний знос поверхонь п'ятника та підп'ятника складається з втомленого, абразивного та змінання (умовно ударного); молекулярно-механічний з адгезійного, а корозійно-механічний має корозійно-окислювальну форму.

Враховуючи, що при ремонті вагону в даний вузол закладають мастило, то на перших етапах діє лише механічний знос. Внаслідок значних питомих навантажень, вібрацій та взаємних переміщень, на контактуючих поверхнях відбувається взаємне втискування мікроступів, пластична деформація мікрооб'ємів та відокремлення частинок. При цьому на контактних поверхнях утворюється рівноважна шорсткість, збільшується площа фактичного контакту, питомий тиск знижується і на деякий час інтенсивність зносу зменшується. В той же час продовжує діяти змінання поверхонь за рахунок ударних навантажень. Вже при пробігу вагону приблизно 40...50 тис. км починає діяти втомлене зношення. Під час руху вагону в кривій або при русі в прямій, коли відбувається виляння екіпажу і контактуючі поверхні п'ятника та підп'ятника повертаються відносно друг друга, на них діють зміни за напрямом навантаження. Мікропластичні деформації змінного напрямку приводить до зародків пор та субмікротріщин, які перероджуються у мікротріщини. Мікротріщини під дією високих локальних напружень у поверхневому шарі розвиваються на глибину, перпендикулярно поверхні, і згодом утворюють мережу тріщин. Прогресуванню тріщин також сприяє мастило, яке під високим тиском п'ятника проникає в тріщини та починає їх «розклинювати». Зовнішні фактори (зміни навантаження, високий тиск і т.д.), що продовжують діяти на поверхню спонукають до подальшого розвитку мережі тріщин з появою та розширенням окремих, більш напружених ділянок паралельних поверхні тріщин. В результаті окремі частинки поверхневого шару відокремлюються від основи, залишаючи вищербини.

Однак вказаний вище механізм зношування вузла «п'ятник – підп'ятник» ускладнюється поступовою появою та прогресуванням абразивного виду зносу. Умовами його появи є декілька факторів. По-перше, вузол «п'ятник – підп'ятник» не захищений від дії зовнішнього середовища, тому потрапляння в контактні зони абразивних часток неминуче. По-друге, в якості абразивів виступають частинки, що були відокремлені від поверхонь в наслідок дії ударів, зрізів мікроступів та втомленого виду зносу. Відокремлені частинки при певних умовах можуть окислюватись та набувати високу міцність та твердість. Таким чином, створюються умови для руйнації тертьових поверхонь п'ятника та підп'ятника твердими абразивними частинками, зокрема, мікрорізанням та мікродряпанням. Частинки абразиву або продукти зношування між тертьовими поверхнями при мікрорізанні матеріалу утворюють мікростружку (рис. 3, а). Руйнування поверхонь тертя від мікродряпання спостерігається в тому випадку, коли абразивна частка або продукт зношування при ковзанні переміщує в сторони матеріал, залишаючи подряпину (рис. 3, б).

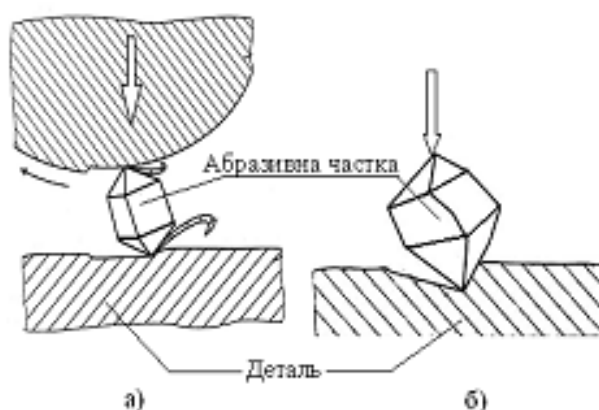


Рисунок 3 – Схема мікрорізання (а) і мікродряпання (б) металу часткою абразиву при терті ковзання металу по металу [4]

Підсилюють дію абразивного зношування періодичні ударні навантаження. Слід врахувати, що фактично продукти зношування не видаляються з тертьових поверхонь в наслідок конструктивних особливостей розглядуваного вузла.

Важливою і цікавою є певна особливість дослідження механізму зношення елементів п'ятникового вузла. Як вже було зазначено вище під час ремонту (або виготовлення) у п'ятниковий вузол закладають мастило, яке унеможливає на перших стадіях експлуатації такий вид зносу, як адгезійний. Однак з часом мастило поступово вичавлюється, забруднюється продуктами зношування та частинками з зовнішнього середовища, на опорних поверхнях залишається тонка плівка мастила, яка в найбільш навантажених точках контакту розривається і на цих ділянках, враховуючи значні зусилля, виникає схоплення контактуючих поверхонь. Схоплення поверхонь супроводжується вириваннями металу, створенням рисок, налипання та задирів. Дію даного виду зношування можна пояснити утворенням внаслідок молекулярної взаємодії двох металів, якщо з'єднання міцніше одного або обох

матеріалів, тоді руйнування цієї сполуки відбувається в глибині одного з третьових тіл. Прилеглі до місць виривання ділянки пластично деформуються, а вирваний матеріал залишається на сполученій поверхні (рис. 4).

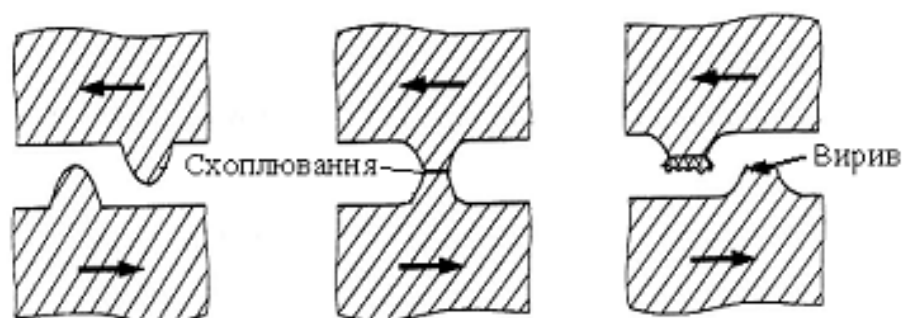


Рисунок 4 – Схема зношування двох третьових металевих поверхонь схоплюванням [4]

Уточнимо, що при наявності мастила, окисних плівок та інших умовно «третьох» тіл між контактними поверхнями створення металевих зв'язків неможливо, тому схоплення виникає періодично, коли за рахунок відносного руху п'ятника і під'ятника та накоплення абразивним частинкам між ними, мастило та інші плівки зчищаються, надаючи можливість ювенільним ділянкам під великим тиском створювати міжатомні взаємозв'язки. При «сриванні» утворених зв'язків ці ділянки покриваються плівками і дія адгезійного виду зношування припиняється до моменту, поки з'являться умови для утворення нових осередків схоплення. Таким чином, адгезійний вид зношування виникає у вузлі «п'ятник – під'ятник» епізодично, але вносить чималый вклад у зношування контактуючих поверхонь.

Як показали спостереження, через деякий час, в залежності від умов експлуатації, виникає корозійно-механічний вид зношування. Цей вид зношування конкурує з адгезійним, оскільки окисні плівки, що утворюються на поверхнях блокують створення металевих зв'язків. У той же час, як вже було зазначено вище, під дією контактуючих поверхонь, ці плівки постійно зчищаються до утворення нових. Цей процес циклічний, період якого залежить від зовнішнього середовища та умов експлуатації.

Пошкодження та руйнування деталей внаслідок впливу циклічних механічних навантажень. Оскільки в основі багатьох окремих елементарних процесів руйнування поверхонь тертя лежать втомні явища розглянемо докладніше ці процеси. При циклічному механічному (силовою) впливі під терміном втоми розуміють особливий тип руйнувань, викликаний циклічними напруженнями, амплітудні значення яких не перевищує межі пружності [6].

Процес втомного руйнування деталі поділяють на три стадії: зародження тріщини; поширення тріщини внаслідок її поступового зростання до досягнення критичної величини; руйнування залишкового перетину деталі.

Змінні напруження від циклічних навантажень викликають рух дислокацій в тих кристалітах, які сприятливо орієнтовані до напрямку дотичних напружень. Рух дислокацій концентрується на кількох втомних смугах ковання, що поступово поглиблюються і розширюються. У результаті в цих смугах утворюються дископодібні видавлювання (екструзії) і поглиблення (інтрузії), які розглядають як першу стадію утворення субмікроскопічної тріщини (рис. 5).

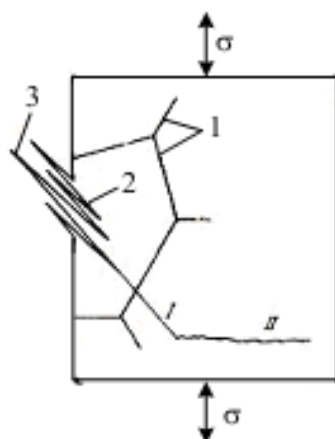


Рисунок 5 – Утворення та поширення втомної тріщини на I і II стадіях: 1 - межі зерен; 2 - інтрузія; 3 - екструзія [6]

На процес зародження пошкоджень і на довговічність при циклічних навантаженнях впливають такі основні чинники. Стан поверхні і наявність концентраторів напружень. Втомні тріщини майже завжди починаються від місць концентрації напружень на поверхні, тому її стан є особливо важливим. Стан поверхні залежить від наступних факторів [7]:

- а) геометричні чинники – надрізи, місця різкої зміни поперечного перерізу зразка або деталі та ін.;
- б) технологічні чинники – дефекти на поверхні деталі, викликані наплавленням, механічною або хімічною обробкою;
- в) металургійні чинники – вторинні фази, неметалеві включення, внутрішні дефекти в металі;
- г) експлуатаційні фактори – місцевий знос, прикладання зосереджених сил на обмеженій ділянці поверхні деталі (контактні навантаження в зубцях шестерень, в підшипниках і т.д.).

Всі фактори, що зумовлюють концентрацію напружень, знижують циклічну міцність металів.

Вплив залишкових напружень. Залишкові наплавочні і зварювальні напруження можуть бути стискаючими та розтягуючими. Стискаючі напруження найчастіше сприяють підвищенню циклічної міцності металів, а розтягуючі приводять до її зниження, особливо при наявності концентраторів напружень [7].

Саме ефектом утворення на поверхні деталі залишкових напружень стиснення пояснюється підвищення її втомної міцності після холодної пластичної деформації, ультразвукової обробки, накатки або дробоструменевої обробки, а також після поверхневої хіміко-термічної обробки – цементації або азотування. Цей ефект можна використовувати при напавленні деталей, наносячи на їх поверхню шари, в яких формуються напруження стиснення [4].

Втомна міцність, як і статична, в значній мірі залежить від хімічного складу і структури металу. Відомо, що у більшості металів і сплавів межа втоми приблизно лінійно збільшується із зростанням межі міцності. Для сталі в литому і деформованому стані в першому наближенні, відношення межі міцності до межі втоми, визначеним на гладких зразках при згині з обертанням в умовах симетричного циклу, дорівнює приблизно 0,5 [7]. При цьому в багатьох випадках легування, що приводить до збільшення межі міцності, підвищує і рівень циклічної міцності. Так, при легуванні низько- і середньовуглецевих сталей марганцем, нікелем, хромом, молібденом, ванадієм, фосфором і деякими іншими елементами циклічна і статична міцність збільшуються, при цьому відношення межі міцності до межі втоми змінюється незначно.

Вуглець неоднозначно впливає на циклічну міцність. Підвищення циклічної міцності із збільшенням вмісту вуглецю спостерігається тільки для низько- і середньовуглецевих сталей. У високовуглецевих сталей зі збільшенням вмісту вуглецю циклічна міцність зменшується. Так, сталь У7 має більш низьку циклічну міцність, ніж сталь 45 [7]. У високолегованих сталей також спостерігається зниження межі втоми зі збільшенням вмісту вуглецю.

На циклічну міцність сталей дуже впливають розмір, форма і розподіл карбідів, інших вторинних фаз, а також неметалічних включень [7].

На процес поширення втомної тріщини великий вплив мають розмір зерна і межі зерен. При внутрізеренному руйнуванні межі зерен можуть грати роль бар'єрів, які перешкоджають поширенню тріщин; з цієї причини дрібнозерниста структура повинна чинити більш високий опір втоми, ніж грубозерниста. Однак, якщо прикордонні області зерен забруднені, то подрібнення структури не приводить до підвищення циклічної міцності [7].

Таким чином, при відновленні методами наплавлення деталей, що працюють в умовах зношування при терті металу по металу і циклічних механічних навантаженнях, у тому числі ударних, хороший ефект повинні забезпечувати наплавочні матеріали типу низько- і середньовуглецевих сталей, леговані марганцем, хромом, нікелем, молібденом, ванадієм. При цьому бажано, щоб напавлений метал мав дрібнозернисту структуру, а прикордонні області зерен і самі зерна не були забруднені різними домішками та неметалевими включеннями.

Зварюваність вуглецевих сталей, що застосовують при виготовленні обраних деталей. Однією з найважливіших характеристик зварюваності [8] є стійкість металу шва і зони термічного впливу (ЗТВ) проти утворення тріщин. Особливу небезпеку при зварюванні та напавленні вуглецевих і високовуглецевих сталей представляють холодні тріщини, відмінною рисою яких є уповільнений характер розвитку. Зазвичай вони зароджуються через деякий час після напавлення, що ускладнює їх виявлення.

Холодні тріщини утворюються в результаті спільної дії структурних і зварювальних напружень, а також водню і мають характер крихкого руйнування [8]. Експериментальні дані показують, що небезпека утворення холодних тріщин існує майже завжди при напавленні сталей, що містять $\geq 0,4\%$ $C_{\text{екв}}$ [9]. Міжнародним інститутом зварювання для визначення вуглецевого еквівалента запропонована наступна формула:

$$C_{\text{екв}} = C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15},$$

яку рекомендують застосовувати для сталей із вмістом вуглецю вище 0,18 %, тобто практично для всіх сталей, які використовують для виготовлення обраних деталей рухомого складу залізниць.

Існуючі класифікації холодних тріщин, в основному, пов'язані з їх розташуванням в зварному з'єднанні [9]. Холодні тріщини можуть утворюватися у всіх зонах зварного з'єднання: у шві, в зоні сплавлення, у ЗТВ. Однак, перш за все вони виникають на ділянці перегріву ЗТВ. Різні типи холодних тріщин наведені на рис. 6. Найбільш часто з перерахованих видів холодних тріщин при напавленні деталей з вуглецевих і високовуглецевих сталей зустрічаються відколи і поперечні тріщини в напавленому металі.

Значний вплив на утворення тріщин чинять залишкові зварювальні напруження. Розподіл цих напружень в поздовжньому напрямку характеризується наявністю порівняно високих напружень стиснення в ділянці зони на межі зі швом і високих напружень розтягнення в сусідній ділянці цієї зони, а також у зварному шві. Такий характер розподілу напружень обумовлений значним збільшенням обсягу металу навколошовної зони внаслідок структурних перетворень, зокрема, пов'язаних з утворенням мартенситу. В результаті на межі розділу напавлений метал – основний метал з'являються великі сколювальні напруження, що сприяють уповільненому руйнуванню і утворенню холодних тріщин типу відколів (рис. 7).

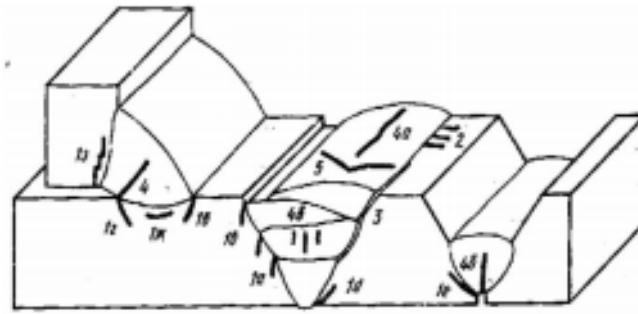


Рисунок 6 – Різновиди холодних тріщин, що відрізняються зовнішнім виглядом та місцем розташування в зварному з'єднанні [9]:

1 – поздовжні в ЗТВ (а-е - відколи, г-е - кореневі тріщини, б, г і е – тріщини від концентратора напружень; ж – підваликові, з – шарувате розтріскування або ламелярні тріщини), 2 – поперечні в ЗТВ (частокіл), 3 – поздовжні в зоні сплавлення (відрив або відшаровування); 4 – поздовжні у шві (а – поверхневі, б – кореневі, в – внутрішні в багатшаровому шві), 5 – поперечні у шві (поверхневі, кореневі, внутрішні).

Вплив різних факторів на стійкість зварного з'єднання проти утворення холодних тріщин визначається з одного боку, зміною опірності металу ЗТВ з мартенситною структурою сповільненому руйнуванню, а з іншого – зміною напруженого стану в зварному з'єднанні.

На утворення тріщин в наплавленому металі впливає характер структуроутворення. Первинна і вторинна кристалізація, підвищені значення поздовжніх напружень і деформацій, що викликають поперечні тріщини, фізична і хімічна неоднорідності, наявність неметалевих включень та інше можуть бути додатковими факторами, що знижують стійкість наплавленого металу проти утворення тріщин [10].

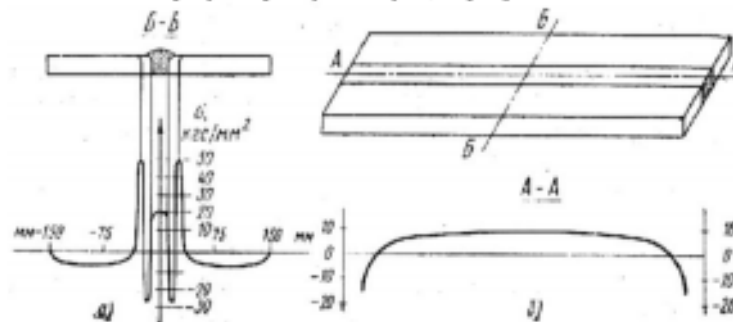


Рисунок 7 – Розподіл поздовжніх (а) і поперечних (б) напружень в зварних з'єднаннях сталей, що гартуються [11]

В даний час одним з ефективних і поширених способів запобігання появи тріщин при наплавленні вуглецевих і високовуглецевих важкозварювальних сталей і сплавів продовжують залишатися попередній і супутній підігрів, а також відпуск або уповільнене охолодження наплавлених деталей. При використанні електродних матеріалів ферито-перлітного або мартенситного класів температура підігріву може досягати 300...400 °С, що призводить до ускладнення технології зварювання та наплавлення і погіршення умов праці робітників. Вартість підігріву і подальшої термічної обробки висока – найчастіше вона наближається до вартості наплавочних (зварювальних) робіт.

Існує інший метод боротьби з холодними тріщинами – застосування високопластичних чисто феритних або аустенітних електродних матеріалів. При використанні цих матеріалів утворення холодних тріщин в більшості випадків можна запобігти без застосування підігріву або при мінімальному підігріві деталей [4].

Однак навіть при використанні високопластичних наплавочних матеріалів залишається небезпека утворення гартівних структур в навколошовній зоні основного металу і, відповідно, утворення тріщин типу відколів. Підвищений вміст вуглецю призводить до зниження температури початку мартенситного перетворення і збільшення ступеня тетрагональної об'ємноцентрованої кубічної решітки мартенситу. Ці два фактори підвищують рівень залишкових напружень, що сприяє виникненню холодних тріщин [9].

Регулювати структуру і властивості ЗТВ можна за рахунок зміни теплового впливу зварювального джерела нагріву, тобто за рахунок термічного циклу зварювання (наплавлення). При дуговому наплавленні термічний цикл відрізняється швидким нагріванням і повільним охолодженням. Термічний цикл на різних відстанях від джерела тепла неоднаковий, тому зварне з'єднання являє собою систему з досить неоднорідною структурою і неоднорідними властивостями як в навколошовній зоні, так і в наплавленому металі.

М.Х. Шоршоровим [12] сформульовані поняття «оптимальна швидкість охолодження» і «допустима швидкість охолодження». При малій швидкості охолодження в ЗТВ аустеніт розпадається на феритно-цементитну суміш [9]. Метал з такою структурою має достатній запас пластичності і холодні тріщини не утворюються. Однак зниження швидкості охолодження призводить до значного зростання зерна в ЗТВ. Відомо, що збільшення величини зерна призводить до зменшення опору сталі крихким руйнуванням [10]. При великій швидкості охолодження структура

металу ЗТВ і наплавленого металу виходить мартенситною, що також призводить до зниження пластичних властивостей. Тому існує інтервал оптимальної швидкості охолодження, в якому забезпечуються найкращі механічні властивості наплавленого металу і ЗТВ.

Для вуглецевих сталей, що не містять сильних карбідоутворюючих елементів, найбільш важливим параметром термічного циклу є швидкість охолодження $550\text{ }^{\circ}\text{C} - \omega_{550}$ [9]. Це пояснюється тим, що при використанні практично всіх способів зварювання шляхом збільшення погонної енергії можна забезпечити $\omega_{550} < \omega_f$ (ω_f - «характеристична» швидкість охолодження при $550\text{ }^{\circ}\text{C}$, що відповідає початку появи перліту) і отримати перлітову або перлітно-бейнітну структуру, не схильну до тріщин.

Для сталей, для яких характерно мартенситне перетворення важливим показником буде швидкість охолодження в інтервалі початку і кінця мартенситного перетворення $M_f - M_s$. Зазвичай це діапазон температур $300...200\text{ }^{\circ}\text{C}$, відповідно швидкість охолодження в цьому діапазоні температур позначається - ω_{3-2} .

Таким чином, за рахунок зміни погонної енергії та регулювання термічного циклу наплавлення, можливо припустити підвищення стійкості ЗТВ проти утворення тріщин при наплавленні і, як результат, збільшити надійність відновлених наплавленням деталей.

Висновки та перспективи досліджень. Підводячи підсумок зазначимо, що поверхні шару деталей п'ятикутного вузла повинні володіти високим опором проти зазначених вище видів зношування. З іншого боку, враховуючи високі механічні навантаження на ці деталі в процесі експлуатації, вони повинні володіти високою конструктивною міцністю і пластичністю, які не завжди можуть забезпечити матеріали з високою зносостійкістю або іншими особливими властивостями. Як уже згадувалося вище, оптимальним поєднанням таких властивостей володіють багатшарові (біметалічні) конструкції, в яких міцнісні властивості забезпечуються основним матеріалом деталі, а її особливі зносостійкі властивості - поверхневими наплавленими шарами. При цьому, якщо один з матеріалів належить до важкозварювальних, то для поліпшення його зварюваності наплавляють проміжні шари (підшари) з високопластичних сталей.

Література

1. Павлов Н.В. и др. Высокопроизводительная износостойкая наплавка литых деталей тележек грузовых вагонов / Н.В. Павлов, В.К. Струнец, Д.Н. Абраменко // Развитие железнодорожного транспорта в условиях реформирования: Сб. науч. тр. / Под ред. Ю.М. Черкашина, Г.В. Гогричани. - М.: Интекст, 2006. - С. 175 - 183
2. Абраменко Д.Н., Павлов Н.В. Триботехнические свойства комплексно-легированного наплавленного металла со структурой игольчатого феррита. Вестник ВНИИЖТа, № 4, 2008. С. 31-37
3. Абраменко Д.Н. Микроструктура металла износостойкой наплавки деталей грузовых вагонов. Железнодорожный транспорт на современном этапе. Задачи и пути их решения: Сб. науч. тр. ОАО «ВНИИЖТ»/Под ред. А.Е. Семечкина. - М.: Интекст, 2008. - С. 185 - 189
4. Рябцев И.А. Наплавка деталей машин и механизмов. - Киев: Экотехнология, 2004. - 160 с.
5. Тылкин М.А. Повышение долговечности деталей металлургического оборудования. - М.: Металлургия, 1971. - 608 с.
6. Испытания материалов. Справочник под редакцией Х.Бпоменауера. - М.: «Металлургия», 1979. - 448 с.
7. Иванова В.С. Усталостное разрушение металлов. - М.: Металлургиядат, 1963. - 272 с.
8. Энциклопедия машиностроение в 40 томах. т. III-4. Технология сварки, пайки и резки. Под ред. Б.Е.Патона. - М.: Машиностроение, 2006. - 767 с.
9. Макаров Э.Л. Холодные трещины при сварке легированных сталей - М.: Машиностроение, 1981. - 248 с.
10. Волков К.В. Современное состояние проблемы холодных трещин в сварных соединениях //В сб. Симпозиум СЭВ. Доклады. Трещины в сварных соединениях. - Братислава: Исследовательский институт сварки, - 1981. - С. В1-В29.
11. Технология электрической сварки металлов и сплавов плавлением / Под ред. акад. Б.Е.Патона. - М.: Машиностроение, 1974. - 768 с.
12. Шоршоров М.Х., Белов В.В. Фазовые превращения и изменения свойств стали при сварке - М.: Наука, 1972. - 220 с.