

ЕКСПЛУАТАЦІЯ ТА ВІДНОВЛЕННЯ ОБТ

УДК: 623.438.4:669.15-194.2

DOI: <https://doi.org/10.33577/2312-4458.25.2021.61-68>Р.В. Кузьменко¹, М.В. Ковба¹, О.М. Поповченко¹, Т.М. Ковбасюк², С.Г. Швачко²¹Національна академія сухопутних військ імені гетьмана Петра Сагайдачного, Львів²Національний університет «Львівська політехніка», Львів

ДОСЛІДЖЕННЯ НАСЛІДКІВ ПОРУШЕННЯ ТЕХНОЛОГІЇ ВИГОТОВЛЕННЯ ОКРЕМИХ ЕЛЕМЕНТІВ ГУСЕНИЧНОЇ СТРІЧКИ БМП-2

Для встановлення причин руйнування болта фіксації скоби пальців трака гусеничної стрічки військової техніки провели комплекс інструментальних матеріалознавчих досліджень. Виявили, що для виготовлення зруйнованого болта використали не рекомендовану конструкційну вуглецеву покращувальну сталь марки 38ХС, а конструкційну вуглецеву сталь марки 30ХМ, яку застосовують для продукування деталей паропроводів. Окрім цього в матеріалі зруйнованого болта виявили дефекти вальцювання і термічної обробки, що зумовили зменшення характеристик міцності та в'язкості. Погано підібраний матеріал болта фіксації, дефекти, набуті в процесі вальцювання та термічної обробки, не зовсім вдала конструкція болта викликали втрату конструктивної міцності та, як наслідок, – руйнування болта за механізмом зрізування.

Ключові слова: болт фіксації пальців трака, військова гусенична техніка, гусенична стрічка, дослідження матеріалознавчі, мікроструктура, склад хімічний, сталь конструкційна вуглецева.

Постановка проблеми

Відомо, що одним із важливіших елементів гусеничного рушія є гусенична стрічка. Саме її конструкція в цілому забезпечує високі прохідні властивості бойової машини. На сьогодні основним зразком, який є на озброєнні механізованих підрозділів Збройних Сил України, є бойова машина піхоти БМП-2, на якій використовується гусенична стрічка з гумометалевим шарніром (ГМШ) паралельного типу [1], який показано на рис. 1.

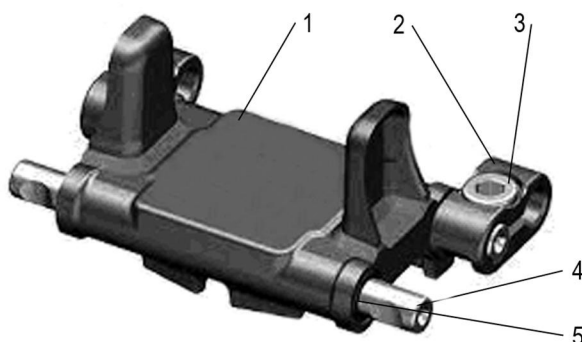


Рис. 1. Гумометалевий шарнір паралельного типу: 1 – трак гусеничної стрічки; 2 – скоба; 3 – болт фіксації скоби; 4 – палець трака; 5 – гумова втулка

Необхідно зазначити, що гусенична стрічка цього типу характеризуються високим ККД у всьому швидкісному діапазоні експлуатації, а ресурс шарніра

забезпечує гарантійне напрацювання пробігу 8000 км. Для фіксації елементів ГМШ БМП-2 використовуються скоби, що виготовлені з термічно обробленої високоміцної сталі марки 38ХС, які фіксуються болтами з цього ж матеріалу [2].

Поряд із вищезазначеними технічними несправностями в період інтенсивної експлуатації (учбово-бойової групи) весною 2021 року на танкодромі Національної академії сухопутних військ ім. гетьмана Петра Сагайдачного спостерігались часті випадки виходу з ладу гусеничних стрічок БМП-2, що були зумовлені обривами фіксуючих болтів скоби кріплення пальців траків. В технічні документації ці елементи конструкції позначені номерами: болт фіксації скоби – 675-35-15 та безпосередньо сама скоба – 675-35-14 [2]. Зазвичай проблема такого характеру вирішується демонтажем обірваної частини (залишків) болта за допомогою шестигранного ключа і монтажем нового. Однак в ході візуального огляду характеру обриву вищезазначених болтів було встановлено, що ці болти конструктивно відрізняються від болтів, зазначених в технічній документації, а саме наскрізний отвір під шестигранний ключ виконано не на всю довжину болта, а тільки на 50% його довжини, решта наскрізного отвору має циліндричну форму. Під час руйнування болта саме частина з циліндричним отвором і залишалась у скобі, що унеможливило в подальшому її демонтаж. Отже, для усунення

несправності необхідно було використовувати уже дві деталі, а саме нову скобу з фіксуючим болтом.

Аналізуючи цю проблему, можна зазначити наступні ймовірні причини її виникнення:

- порушення технологічного процесу затягування болта, а саме встановлення та фіксація без використання відповідного шаблону з недотриманням моменту та зусилля затягування;

- конструктивна недосконалість болта;

- невідповідність матеріалу скоби та болта, що впливає на міцнісні характеристики з'єднання нарізі болта та скоби.

Зазначені вище можливі причини виникнення описаної несправності потребують більш детального вивчення та є актуальними для практики військ науковими завданнями.

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Під час розтягування досліджували великогабаритні сталеві анкери з трапецієподібною нарізю. Розрахунки методом кінцевих елементів проводили за різних осьових навантажень, і це дало змогу провести аналіз розподілу напружень між зубами нарізі [3]. Під час випробовувань встановили, що руйнування нарізі відбувається за умови, коли кількість зчеплених витків нарізі становить менше, ніж вісім. У цьому випадку нарізь болта руйнується в середній частині незакріпленої нитки шляхом перегинання з подальшим обриванням.

Результати численних розрахунків добре узгоджуються з натурними випробовуваннями [3].

Кількаразове затягування болтів фіксації з потрібним зусиллям або затягування з перевищенням цього зусилля може викликати поздовжню деформацію гвинта та накопичення похибки кроку нарізі. Цей фактор під час циклічних осьових навантажень переважно зменшує втомну міцність нарізових з'єднань. Показано, що під час раціонального вибору відхилень кроку нарізі циклічну міцність можна суттєво збільшити [4].

Дослідження циклічної міцності нарізі, що перебуває під осьовим навантаженням, демонструє можливість подовжити її втомну міцність. Для цього пропонують в нарізовому з'єднанні змінювати взаємне розташування шпильки та гайки [5]. За такого розташування гайки швидкість розповсюдження тріщини в шпильці (болті) може помітно гальмуватися. За рахунок цього можна подовжити строк служби нарізового з'єднання.

Використовували випробувальне устаткування для дослідження втомної міцності болтів під час згинання. Воно генерувало в зразок згинальні напруження, які мали амплітуду на порядок більшу, ніж

амплітуда осьових напружень. Модель кінцевих елементів показала, що випадково розташовані дефекти в корені нарізі впливають на межу втомної міцності [6].

У деяких, наприклад, авіаційних, конструкціях треба оптимізувати їхню втомну міцність та вагу нарізових з'єднань. Для цього експериментально визначали втомну довговічність нарізових з'єднань у стяжних шпильках. Варіювали різні довжини і розташування нарізових вставок. Встановили, що розташування нарізової вставки у шпильці суттєво впливає на втомну довговічність, ніж довжина нарізової вставки [7].

Формулювання мети статті

Метою статті є встановлення інструментальними методами матеріалознавства причин руйнування болта фіксації скоби пальців трака гусеничної стрічки військової техніки. Це дасть змогу оптимізувати вибір матеріалу болта, його термічну обробку та покращити інші основні характеристики нарізового з'єднання, у тому числі й боєздатність техніки.

Виклад основного матеріалу

Для встановлення причин руйнування болта фіксації скоби з вузла кріплення пальців траків гусеничної стрічки виконували такі дослідження:

- проводили зовнішній огляд та вивчали макроструктуру неозброєним оком та за допомогою мікроскопа МБС-9; документували макроструктуру фотоапаратом Casio Exilim 8.1 та за допомогою окуляркамери LCMOS14000KPA.

- визначали хімічний склад сталей згідно з ДСТУ 8781:2018, використовуючи спектральний аналіз, який проводили за допомогою оптико-емісійного спектрометра Metavision 1008i;

- форму, розподіл, розміри та кількість неметалевих вкраплень виявляли на полірованих мікрошліфах, а будову структури та розподіл структурних складових виявляли хімічним контрастуванням поверхні мікрошліфів 4% розчином нітратної кислоти в етиловому спирті; вивчали поліровані мікрошліфи та хімічно контрастовані мікрошліфи на металографічному оптичному мікроскопі ММТ-14Ц за збільшень від $\times 100$ до $\times 500$; документували мікроструктуру окуляр-камерою LCMOS14000KPA; обробляли зображення з цифрової камери програмним забезпеченням TopView [8];

- визначали мікротвердість за методикою Віккерса на мікротвердомірі NOVOTEST TC-МКВ1 за навантаження 9,807 Н (1000 г);

- вимірювали густину зразків гідростатичним зважуванням терезами моделі «Radwag PS», що

облаштовувались пристосуванням для вимірювання густини фірми «Radwag».

Комплекс досліджень провели для таких об'єктів:

- комплект № 1, що складається з цілого болта фіксації скоби № 1 зі ступінчастим отвором: шестигранний завглибшки «від верху до середини» та циліндричний – «від середини до низу» (рис. 2 а, б), та такого ж, але зруйнованого болта (рис. 2 в, г) і скоби № 1 для кріплення пальців траків гусеничної стрічки БМП-2 зі застряглим уламком болта (рис. 3 а, б);



Рис. 2. Зовнішній вигляд болтів фіксації скоби БМП-2:

а, б – цілий болт № 1 фіксації гусеничної стрічки зі ступінчастим внутрішнім отвором; в, г – зруйнований болт № 1 фіксації зі ступінчастим внутрішнім отвором; д, е – цілий болт № 2 фіксації гусеничної стрічки з наскрізним шестигранним отвором

- комплект № 2, який складається з болта фіксації скоби № 2 з наскрізним шестигранним отвором (рис. 2 д, е) та скоби № 2 вузла кріплення пальців траків гусеничної стрічки БМП-2 (рис. 3 в, г).

Зовнішнім оглядом болта фіксації скоби (позначеного в конструкторській документації номером № 675-35-14) та самої скоби (позначеної – № 675-35-15) з вузла кріплення пальців траків гусеничної стрічки встановлено, що з'єднання цих двох деталей здійснено нарізкою М27×1,25. У горішній частині болта фіксації розташований циліндричний буртик діаметром $\varnothing 40,8$ мм та заввишки $h=5,9$ мм, призначений для

створення зусилля затягування (рис. 2). Для усунення перекошування болтів фіксації під час затягування з необхідним зусиллям, що запобігало би саморозкручуванню болта фіксації, у верхній частині скоби передбачено циліндричну заглибину діаметром $\varnothing 42,2$ мм, у яку входить буртик болта фіксації (рис. 3). У зібраному вигляді вузла кріплення пальців траків буртик болта фіксації ховається у заглибині скоби.

Для виходу різального інструменту під час виготовлення нарізі та для запобігання втомного руйнування (в місці між буртиком болтів фіксації та їхньою нарізкою) виготовлені проточки діаметром $\varnothing 25,4$ мм та завдовжки $h=5,8$ мм.

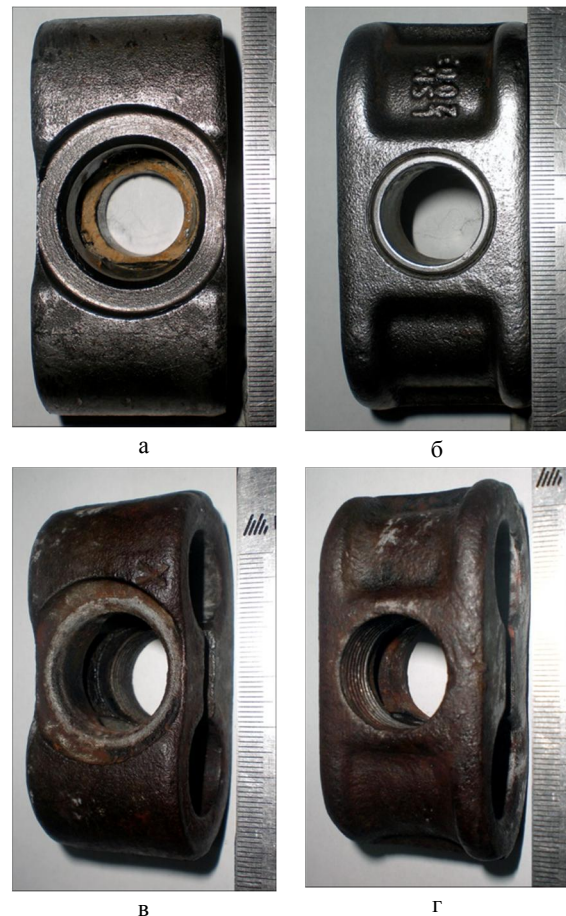


Рис. 3. Зовнішній вигляд скоб з вузлів кріплення пальців траків гусеничної стрічки БМП-2:

а, б – скоба гусеничної стрічки № 1;
в, г – скоба гусеничної стрічки № 2

Загальна довжина болтів фіксації відповідає товщині скоб (43,0 мм). Довжина нарізі болтів фіксації вузла кріплення пальців траків БМП-2 становить 30 мм.

Загвинчують болт фіксації № 1 у скобу № 1, використовуючи ступінчастий внутрішній отвір. Від верху болта до середини глибини – шестигранний отвір з розміром «під ключ» 17 мм. а далі – гладкий циліндричний отвір $\varnothing 20,9$ мм (рис. 2 б, г). Натомість болт фіксації вузла кріплення пальців траків № 2,

для загвинчування у скобу № 2, має наскрізний (на усю довжину болта) шестигранний отвір (рис. 2 е).

Треба зазначити, що болт фіксації № 1 вузла кріплення пальців траків БМП-2 руйнується на ділянці з нарізною скоби № 1 та внутрішнього гладкого циліндричного отвору болта № 1 і залишається в частині скоби, де є нарізь (рис. 2 в, г; рис. 3 а, б). Таке руйнування було типовим (зі значною частотою руйнувань) під час водіння БМП-2 у зазначений вище період часу. Натомість, у попередні роки, коли використовували болти фіксації вузла кріплення пальців

траків БМП-2 з комплекту № 2, частота руйнування була набагато меншою.

Руйнування може виникати внаслідок невідповідності матеріалу експлуатаційним умовам [9]. Тому провели спектральний хімічний аналіз болтів за допомогою оптико-емісійного спектрометра Metavision 1008i. Встановлено, що відповідно до вимог ДСТУ 7806:2015 [10] (табл. 1), матеріал болта №1 відповідає марці конструкційної сталі 30ХМ, а болт № 2 – сталі 33ХС.

Таблиця 1

Результати хімічного аналізу матеріалу болтів № 1 та № 2 [10, 11]

Зразок	Масова частка хімічних елементів, % (Fe - решта)								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Болт фіксації № 1 (сталь марки 30ХМ)	0,302	0,180	0,733	0,003	0,009	1,050	0,075	0,170	0,163
Болт фіксації № 2. (сталь марки 33ХС)	0,303	1,230	0,505	0,003	0,008	1,650	до 0,005	0,023	0,163
Сталь марки 38ХС *	0,34-0,42	1,00-1,40	0,30-0,60	до 0,035	до 0,035	1,30-1,60	до 0,30	—	до 0,30

*Примітка: рекомендований матеріал, з якого виготовляють болт фіксації та скобу, відповідно до [2]

Обидві сталі належать до середньовуглецевих малолегованих конструкційних якісних сталей. Сталь марки 30ХМ призначена для шпильок, гайок, труб та інших деталей паропроводів, які працюють за температур (450÷500) °С, має добру прогартовуваність [10, 11]. Сталь марки 33ХС використовують для дрібних деталей, зокрема: шестерень, муфт, пальців, що мають велику міцність, пружність та зносотривкість, але корозійна тривкість цієї сталі мала, і вона схильна до відпусної крихкості [10, 11].

Болти фіксації № 1 та № 2 працюють в умовах складнонапруженого стану, що зумовлений кліматичними та експлуатаційними чинниками. Зокрема болти фіксації перебувають під дією: розтягувальних напружень, що зумовлені зусиллям затягування болта в скобі; згинальних напружень, які виникають в процесі експлуатації болта.

Дана конструкція з'єднання нарізі болта та скоби навантажена в площині стику болта та скоби з нарізною, тобто навантаженнями, що розташовані перпендикулярно до осі болта [12]. Тому під час поворотів БМП-2 може відбуватися зрізування болта фіксації під дією напружень зсуву. Оскільки болт фіксації № 2 має наскрізний шестигранний отвір з розміром «під ключ» 17 мм, а болт № 1 має ступінчастий отвір – вгорі (від верху головки досередини отвору за глибиною) з розміром «під ключ» 17 мм, а внизу –гладкий циліндричний діаметром \varnothing 20,9 мм, то у цьому місці є зменшення площі поперечного перерізу, відтак, болт фіксації за інших рівних умов мав би тут руйнуватися.

Рекомендовано для деталей: болт фіксації скоби 675-35-15 та скоби – 675-35-14 використовувати сталь марки 38ХС [2]. Проте встановлено, що в комплекті №1 для болта використали сталь 30ХМ, а для комплекту № 2 – 33ХС. Малолегована конструкційна сталь марки 33ХС краще підходить для виготовлення болта фіксації скоби вузла кріплення пальців траків, ніж сталь марки 30ХМ [10, 11]. Для цих сталей, з метою одержання необхідних експлуатаційних властивостей (конструкційна міцність, пружність тощо), доцільно було б застосувати термічну обробку, що полягає у гартуванні та середньотемпературному відпуску, який слід проводити за режимами, рекомендованими для кожної марки сталі.

Макроаналізом поверхні зламу болта фіксації № 1 встановили, що поверхня руйнування гладка, розташована в межах двох витків нарізі (рис. 4). Тобто, він зруйнувався за механізмом зрізування.

Під час затягування з'єднання нарізі тіло болта перебуває під дією обертового моменту. Обертальний момент виникає під дією сили тертя у витках гайки (в нашому випадку скоби) та болта. Коефіцієнт тертя такої фрикційної пари залежить від матеріалів, стану їхньої поверхні, числа затягувань, наявності та марки мастильного матеріалу тощо [12]. Якщо матеріали фрикційної пари пластичні, то в стержні болта виникають розтягувальні напруження.

Мікроструктуру болтів фіксації № 1 та № 2 досліджували на поперечних мікрошліфах, що були розташовані вздовж осі обертання (рис. 5; рис. 6).

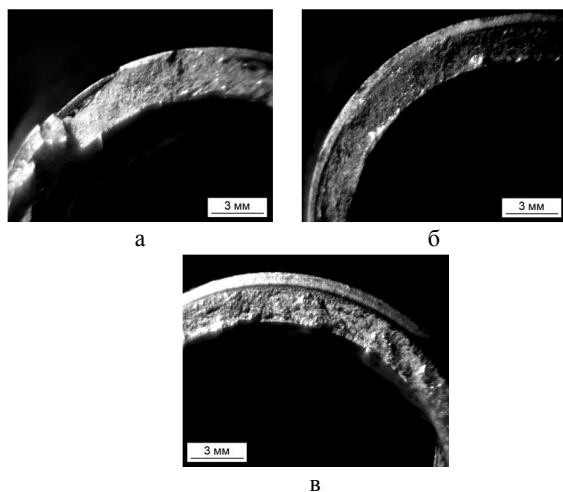


Рис. 4. Макроструктура поверхні руйнування болта фіксації

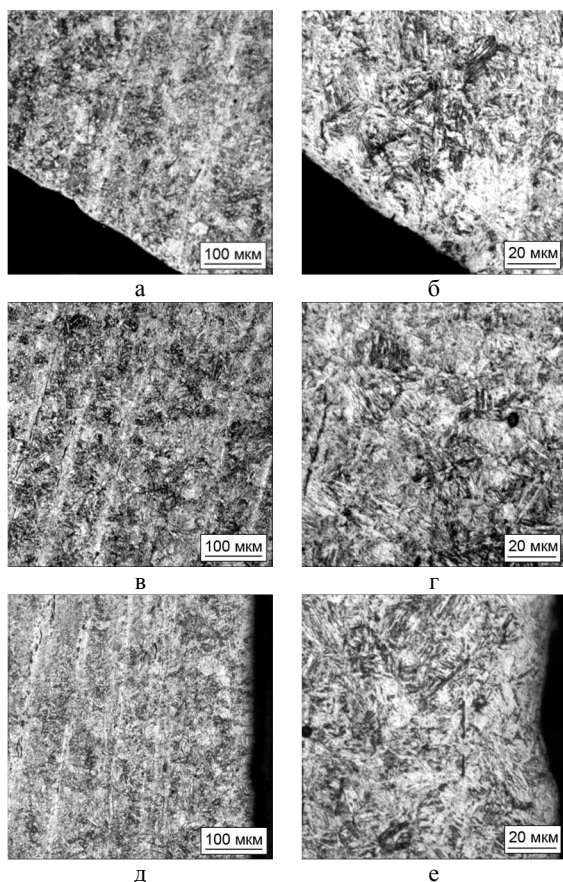


Рис. 5. Мікроструктура болта фіксації № 1 скоби гусеничної стрічки БМП-2: а, б – область витка нарізі; в, г – у сердцевині; д, е – біля центрального отвору

Мікроструктура болта фіксації № 1 показала, що він виготовлений з прутка, що після гарячого вальцювання має рядковість. Після термообробки рядкова структура складається з рядків малолегованого фериту та малолегованого мартенситу відпуску (рис. 5). Витки нарізі виготовлені способом обробки матеріалу різанням на металорізальних верстатах (рис. 5 а, б). Рядковість в мікроструктурі болта № 1 спостерігали не лише з боку нарізі, але й у

мікроструктурі центральної частини болта (рис. 5 в, г) і в околі центрального отвору болта (рис. 5 д, е). Треба зазначити, що усією товщиною деталі, переважно на рядках легованого фериту, розташовані вертикальні переривчасті тріщини, поява яких зумовлена неякісно проведеною термічною обробкою (швидше за усе гартуванням).

Мікроструктура болта фіксації № 2 складається з легованого фериту та легованого троститу відпуску (рис. 6). Тобто, для болта фіксації № 2 застосували гартування та середньотемпературний відпуск. Структурні складові та фази розподілені в площині мікрошліфа рівномірно. Ливарні дефекти, дефекти вальцювання та вади термічної обробки мікроаналізом не виявили.

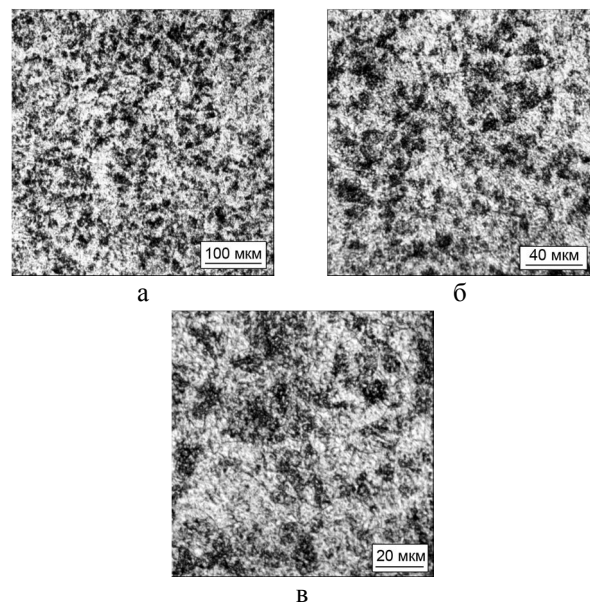


Рис. 6. Мікроструктура болтів фіксації № 2 скоби гусеничної стрічки БМП-2 з наскрізним шестиграним отвором

Таким чином, мікроаналізом встановили, що болт фіксації № 1 має дефекти ливарні та дефекти вальцювання (рядковість), що спричинили розтріскування розшарування) під час проведення гартування. Відпуск після гартування болтів, для забезпечення пружності та конструктивної міцності мав бути середньотемпературним, а не низькотемпературним [12, 13]. Натомість в мікроструктурі болта фіксації № 2 дефектів не виявили (рис. 6).

Густину матеріалу болтів фіксації № 1 та № 2 вимірювали гідростатичним методом. Встановлено, що густина фіксуєного болта № 1, виготовленого з конструкційної сталі марки 30ХМ становить $7,7743 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$, та є меншою від стандартного значення на $0,046 \text{ г}\cdot\text{см}^{-3}$ (табл. 2).

Таке відхилення значень густини матеріалу вказує на присутність внутрішніх дефектів структури матеріалу фіксуєного болта № 1, що підтверджено мікроструктурними дослідженнями (рис. 5 б, г, е).

Густина болта фіксації № 2, виготовленого з конструкційної сталі марки 30ХС, становить 7,6783 г/см³, та є більшою від стандартного значення на 0,038 г/см³ (табл. 2)

Таблиця 2

Результати випробування густини матеріалу болтів № 1 та № 2

Номер зразка	Вага зразка в повітрі, г	Вага зразка в Н ₂ О, г	Густина зразка, г/см ³		
			біжуче	середнє	[10, 11]
Болт фіксації № 1 (сталь марки 30ХМ)	17,2833	15,0619	7,7681	7,7743	7,820
	17,2852	15,0683	7,7857		
	17,2869	15,0654	7,7691		
Болт фіксації № 2. (сталь марки 33ХС)	18,0168	15,6728	7,6746	7,6783	7,640
	18,0176	15,6762	7,6838		
	18,0190	15,6754	7,6766		

Мікротвердість матеріалу болтів фіксації та скоб досліджували методом Віккерса за навантаження 9,8 Н.

Встановили, що середні значення мікротвердості матеріалу болта № 2 становлять 490 НV, на відміну від матеріалу болта № 1, твердість якого становить 460,5 НV (табл. 3).

Мікротвердість матеріалу скоби № 1 та болта № 1 є близькі за величиною (табл. 3). Такі співмірні

значення твердості не можуть бути причиною руйнування нарізкового з'єднання за механізмом зрізування [12]. Тому найімовірнішою причиною виходу болта № 1 з ладу є погано підібрані марка сталі (30ХМ) та невдала конструкція болта — ступінчастий отвір в центральній частині, що зменшує площу перерізу стінки болта, відтак, конструкційну міцність.

Таблиця 3

Результати випробування мікротвердості матеріалу комплектів №1 та № 2

Номер комплекту	Деталь	Навантаження, Н	Довжина діагоналі, мкм		Число твердості за Віккерсом, НV	
			в одному напрямку	у перпендикулярному	біжуче	середнє
Комплект № 1	Болт фіксації № 1	9,80	63,8	64,2	452,7	460,5
			63,5	63,3	461,7	
			63,2	62,8	467,2	
	Скоба № 1	9,80	64,5	63,7	450,9	448,0
			63,7	64,0	454,5	
			66,3	64,0	440,6	
Комплект № 2	Болт фіксації № 2	9,80	61,3	62,0	488,3	490,3
			61,5	61,3	492,3	
			61,3	61,7	490,3	
	Скоба № 2	9,80	75,0	74,5	330,9	323,5
			75,0	77,5	318,9	
			74,0	78,0	320,8	

Мікротвердість матеріалу скоби № 2 становить 323,5 НV (табл. 3). Це вказує на те, що для болта та скоби з комплекту № 2 застосовували різні матеріали або режими термічної обробки, що є порушенням технологічного процесу виготовлення вищезначених деталей.

Висновки

У роботі застосували спектральний аналіз, макрота мікроаналізи, вимірювання мікротвердості та густини. Це дало змогу встановити наступне:

- матеріал болта № 1 відповідає марці конструкційної сталі 30ХМ, а матеріал болта № 2—сталі 33ХС. Обидві марки сталі відрізняються від рекомендованої сталі марки 38ХС;

- поверхня руйнування болта фіксації № 1 гладка розташована в межах двох витків нарізі та одержана за механізмом зрізування;

- болт фіксації № 1 має дефекти ливарні та дефекти вальцювання (рядковість), що спричинили розтріскування (розшарування) під час проведення гартування. Натомість в мікроструктурі болта фіксації № 2 дефектів такого типу не виявили;

- густина матеріалу болта фіксації № 1 становить 7,7743 г·см⁻³. Вона на 0,046 г·см⁻³ менша за стандартне значення густини сталі марки 30ХМ, що підтверджує наявність внутрішніх дефектів структури матеріалу фіксуєчого болта № 1.

Таким чином, можна припустити, що найімовірнішою причиною виходу болта № 1 з ладу є невірно підібрана марка сталі (30ХМ) та невдала конструкція болта, що зумовила втрату його конструкційної міцності.

Список літератури

1. БМП-2. Гусеница БМП-2. URL: <https://www.lstrackshoe.co.kr:8003/products/detail.html?category=2&pidx=45> (дата звернення: 17.08.2021).
2. Боевая машина пехоты БМП-2. Руководство по войсковому ремонту. Часть 2. Технические требования на дефектация и ремонт основных сборочных единиц и деталей. Москва : Военное издательство, 1985. с. 127.
3. Duan W. Experimental and Strength Analysis of the Trapezoidal Threaded Connection of Large-scale Steel Tie Rod. *Advanced Materials Research*. 2011. Vol. 211-212. pp. 1152-1156. DOI: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.211-212.1152>
4. Kazantsev A.G., Petrov O.M. Influence of the Accumulated Error in Thread Pitch on the Stress–Strain State and Cyclic Strength of Threaded Joints. *Inorganic Materials*. 2015. Vol. 51. № 15. pp. 1490–1495. DOI: <http://doi.org/10.1134/S002016851515008X>
5. Krenevičius A., Kačianauskas R., Leonavičius M., Hui D., Feo L. Increasing the cyclic strength of threaded joints through the unloading of cracked sections. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall*. 2012. Vol. 48. № 2. pp. 291–307. DOI: <http://doi.org/10.2298/JMMB.111205029K>
6. Wentzel H., Huang X. Experimental characterization of the bending fatigue strength of threaded fasteners. *International Journal of Fatigue*. 2015. Vol. 72. pp. 102–108. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.11.005>
7. Winklbergera M., Heftberger P., Sattlerkerb M., Schagerla M. Fatigue strength and weight optimization of threaded connections in tie-rods for aircraft structures. *Procedia Engineering*. 2018. Vol. 213. pp. 374-382. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.02.037>
8. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Slavin A.V., Ivanova Y.S., Tkachenko Y.V., Borisenko O.V. Structure and Microhardness of the Tubing Thread After Finishing Electromechanical Surface Quenching. *Metal Science and Heat Treatment*. 2020. Vol. 62. pp. 161–167. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11041-020-00552-x>
9. Alavi Nia A., Omidvar H., Nourbakhsh S. H. Investigation of the effects of thread pitch and water cooling action on the mechanical strength and microstructure of friction stir processed AZ31. *Materials & Design*. 2013. Vol. 52 pp. 615–620. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.094>
10. ДСТУ 7806:2015 Прокат із легованої конструкційної сталі. Технічні умови. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 47 с.
11. В.Г. Сорокин и др.: науч. ред. В.Г. Сорокин, М.А. Гервасьев. Стали и сплавы. Марочник : Справ. изд. Москва: «Интернет Инжиниринг», 2001. 608 с.
12. Биргер И.А., Иосилевич Г.Б. Резьбовые и фланцевые соединения. Москва : Машиностроение, 1990. 368 с.
13. ДСТУ ISO 898-1:2015 Механічні властивості кріпильних виробів, виготовлених з вуглецевої і легованої сталі. Частина 1. Болти, гвинти і шпильки (ISO 898-1:2013, IDT). Київ : ДП «УкрНДНЦ», 2015. 59 с.

References

1. IFV-2. Track IFV-2. "BMP-2. Gusenitsa BMP-2" [BMP-2. Caterpillar BMP-2. Available]. URL:

<https://www.lstrackshoe.co.kr:8003/products/detail.html?category=2&pidx=45>. (Accessed 17 august 2021). [in Russian]

2. Guide to military repair (1985), "Boevaia mashyna pekhoty BMP-2. Rukovodstvo po vojskovomu remontu. Chast 2. Tekhnicheskie trebovaniya po defektacii I remont osnovnyh sborochnyh edenits i detaley" [Infantry fighting vehicle IFV-2. Technical description and operating instructions. Part 2]. Moskva : Military publishing house, 325 p. [in Russian].

3. Duan W. (2011), Experimental and Strength Analysis of the Trapezoidal Threaded Connection of Large-scale Steel Tie Rod. *Advanced Materials Research*. Vol. 211-212. pp. 1152-1156. DOI: <http://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMR.211-212.1152>

4. Kazantsev A.G. and Petrov O.M. (2015), Influence of the Accumulated Error in Thread Pitch on the Stress–Strain State and Cyclic Strength of Threaded Joints. *Inorganic Materials*. Vol. 51. № 15. pp. 1490–1495. DOI: <http://doi.org/10.1134/S002016851515008X>

5. Krenevičius A., Kačianauskas R., Leonavičius M., Hui D. and Feo L. (2012), Increasing the cyclic strength of threaded joints through the unloading of cracked sections. *J. Min. Metall. Sect. B-Metall*. Vol. 48. № 2. pp. 291–307. DOI: <http://doi.org/10.2298/JMMB.111205029K>

6. Wentzel H., Huang X. Experimental characterization of the bending fatigue strength of threaded fasteners. *International Journal of Fatigue*. 2015. Vol. 72. pp. 102–108. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.ijfatigue.2014.11.005>

7. Winklbergera M., Heftberger P., Sattlerkerb M. and Schagerla M. (2018), Fatigue strength and weight optimization of threaded connections in tie-rods for aircraft structures. *Procedia Engineering*. Vol. 213. pp. 374-382. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.proeng.2018.02.037>

8. Fedorova L.V., Fedorov S.K., Slavin A.V., Ivanova Y.S., Tkachenko Y.V. and Borisenko O.V. (2020), Structure and Microhardness of the Tubing Thread After Finishing Electromechanical Surface Quenching. *Metal Science and Heat Treatment*. Vol. 62. pp. 161–167. DOI: <http://doi.org/10.1007/s11041-020-00552-x>

9. Alavi Nia A., Omidvar H. and Nourbakhsh S.H. (2013), Investigation of the effects of thread pitch and water cooling action on the mechanical strength and microstructure of friction stir processed AZ31. *Materials & Design*. Vol. 52 pp. 615–620. DOI: <http://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.05.094>

10. State standart of Ukraine (2015), "7806:2015 Prokat is legovanoi konstrukciynoy stali. Tehnicni wumogu" [7806: 2015 Rental of alloy structural steel. Specifications]. *Derzhstandart Ukraine*, Kyiv, 47 p. [in Ukrainian]

11. Sorokin W.G. and Gerwasew M.A. Catalogue "Stali I splawy. Marochnik:katalog" Supervisors: [Steels and alloys. Vintage: Reference]. *Internet Engineering*, Moscow, 608p. [in Russian].

12. Briger I.A. and Ioselewih G.B. (1990), "Rezbowye I flancewye soedinenija" [Threaded and flanged connections]: Mechanical engineering, Moscow, 368p. [in Russian].

13. State standart of Ukraine (2015), "898-1:2015 Mehanichni wlastywosty kripylnyh wyrobiw, wygotowlenyh iz wuglecewoi I legovanoi cnfls. Cas.1. bolty, gwynty i chpylky (ISO 898-1:2013, IDT)" [DSTU ISO 898-1: 2015 Mechanical properties of fasteners made of carbon and alloy steel. Part 1. Bolts, screws and studs. (ISO 898-1:2013, IDT)]. *Derzhstandart Ukraine*, Kyiv, 59 p. [in Ukrainian]

INVESTIGATION OF CONSEQUENCES OF VIOLATION OF TECHNOLOGY OF MANUFACTURE OF INDIVIDUAL ELEMENTS OF BMP-2 TRACK TAPE

R. Kuzmenko, M. Kovba, O. Popovchenko, T. Kovbasiuk, S. Shvachko

The operation of the BMP-2 infantry fighting vehicle was accompanied by periodic failures of the tracked belts. This is due to the breakage of the fixing bolts of the track pins fastening bracket, and thus the military equipment became stationary. Establishing the causes of the destruction of the bolt fixing the staple of the track fingers of the tracked belt of military equipment was carried out using a complex of instrumental materials science research. In particular, the chemical composition of the material from which the bolts and staples were made was determined by the spectral analysis; the fracture surface of the fixing bolt was investigated by the macroanalysis; the microstructure of the bolts was examined using optical microscopy; the microhardness and density of the bolt material was measured. The bolts were made from steel grades 30XM and 33XC, and not from the recommended steel grade 38XC. The macrostructure of the broken bolt corresponds to the shearing structure. The microstructure showed rolling and heat treatment defects. Density measurement confirmed the presence of heat treatment defects. The imperfection of the applied heat treatment was confirmed by measuring the microhardness. A complex of metallurgical research has established the main cause of the destruction of the bolts. It consists in an unsuccessful design of bolts and brackets, an incorrectly selected steel grade with defects in rolling and heat treatment.

Keywords: bolt for fixing the track pins, military tracked vehicles, caterpillar tracks, materials science research, microstructure, chemical composition, structural carbon steel

ИССЛЕДОВАНИЕ ПОСЛЕДСТВИЙ НАРУШЕНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ИЗГОТОВЛЕНИЯ ОТДЕЛЬНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ ГУСЕНИЧНОЙ ЛЕНТЫ БМП-2

Р.В. Кузьменко, М.В. Ковба, О.М. Поповченко, Т.М. Ковбасюк, С.Г. Швачко

Эксплуатация БМП-2 сопровождалась периодическими выходами из строя гусеничных лент. Это произошло из-за поломки болтов крепления кронштейна крепления гусениц, в результате чего военная техника стала неподвижной. Установление причин разрушения болта крепления скоб гусеничных пальцев гусеничного ремня военной техники проводилось с использованием комплекса инструментальных материаловедческих исследований. В частности, с помощью спектрального анализа определили химический состав материала, из которого изготовлены болты и скобы; исследовали с помощью макроанализа поверхность излома фиксирующего болта; микроструктура болтов исследована с помощью оптической микроскопии; измерили микротвердость и плотность материала болта. Болты были изготовлены из стали марок 30XM и 33XC, а не из рекомендованной марки стали 38XC. Макроструктура сломанного болта соответствует структуре сдвига. На микроструктуре обнаружены дефекты прокатки и термообработки. Измерение плотности подтвердило наличие дефектов термообработки. Несовершенство примененной термообработки подтверждено измерением микротвердости. Комплекс металлургических исследований установил основную причину разрушения болтов. Она заключается в неудачной конструкции болтов и кронштейнов, неправильно подобранной марке стали с дефектами прокатки и термообработки.

Ключевые слова: болт для крепления гусениц, гусеничные машины военного назначения, гусеницы, материаловедческие исследования, микроструктура, химический состав, конструкционная углеродистая сталь.