

а



б

Рис. 3 – Фрагменти біметалевих та тришарових виробів, одержаних із застосуванням попереднього індукційного нагріву сталевієї заготовки: а – потужність 5200 Вт, час нагріву 120 с, відстань від індуктора до заготовки 15 мм; б – потужність 4630 Вт, час нагріву 290 с, відстань від індуктора до заготовки – 20 мм.

УДК 669.26:6217.06

В. В. Тихонович¹, О. М. Грипачевський¹, Ю. Г. Квасницька², В. Г. Новицький²

¹Інститут металофізики ім. Г. В. Курдюмова НАН України, Київ

²Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

tvv@imp.kiev.ua

ВПЛИВ ДОДАТКОВОГО ЛЕГУВАННЯ ЛИТИХ ХРОМИСТИХ СТАЛЕЙ МОЛІБДЕНОМ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ДЕТАЛЕЙ НАСОСНОГО УСТАТКУВАННЯ

Для надійної роботи вузлів тертя в агресивних середовищах при наявності великих питомих навантажень повинні використовуватися пари тертя, що мають високу міцність, стійкість до агресивних речовин і відповідні трибологічні властивості. Тому для вузлів тертя спеціальних насосів, що працюють в екстремальних умовах експлуатації для подачі води в парові котли та парогенератори ТЕЦ і АЕС, переміщення мастильно-охолоджуючих рідин, нафти та нафтопродуктів були розроблені пари тертя на базі хромистих сталей. Зокрема литі хромисті сталі типу 120X15 зарекомендували себе як зносостійкі матеріали, що володіють комплексом необхідних механічних і спе-

ціальних властивостей. Але широке застосування насосів в провідних галузях виробництва критично потребує подальшого підвищення зносостійкості деталей їх проточної частини. Додаткове легування сталі 120X15 невеликою кількістю Al та V суттєво покращило зносостійкість обертових втулок та кілець ущільнювачів проточної частини насосів [1, 2].

Дана робота присвячена дослідженню механізму впливу додаткового легування литої сталі 130X17 молібденом на зносостійкість пари тертя зі сталей 130X17 (колодка-ущільнення) і 20X13 (диск-роторна деталь), яка може бути використана для виготовлення різних ущільнень статорних деталей насосів.

Випробовування контактної пари на тертя проводились у водоповітряному середовищі на стандартній машині тертя 2070СМТ-1 в умовах тертя ковзання при нормальному навантаженні $5 \cdot 10^6$ Н/м² та швидкості ковзання 1 м/с за схемою колодка-диск. Отримані після лиття сплави піддавалися додатковому термічному обробленню, детально описаному в роботі [3].

На рисунку 1 наведені залежності вагового зносу кожного з тіл пари тертя сталь 130X17 – сталь 20X13 від концентрації Мо в сталі 130X17. Видно, що додаткове легування сталі 130X17 молібденом підвищує її зносостійкість. Однак при цьому зростає зношування сталі 20X13. У випадку відсутності додаткового легування сталі 130X17 молібденом знос цієї сталі більше ніж у два рази перевищує знос сталі 20X13. Нерівномірне зношування тіл, що утворюють вузол тертя, знижує його довговічність та коефіцієнт корисної дії. Додаткове легування сталі 130X17 0,8 ваг.% молібдену робить знос цих тіл однаковим, а їх сумарний знос мінімальним.

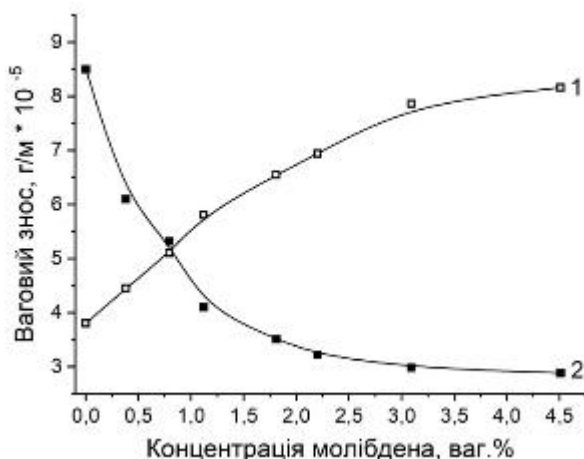


Рис. 1 – Залежності величини вагового зносу тіл пари тертя зі сталей 130X17 (крива 2) і 20X13 (крива 1) від вмісту в сталі 130X17М молібдену.

Аналіз під час роботи динаміки структурно-фазових перетворень в зоні контактної взаємодії тіл, що труться, свідчить про те, що перехід пари тертя в стаціонарний режим роботи з мінімальними зносом і коефіцієнтом тертя відбувається завдяки самоорганізації на поверхнях контакту обох тіл зносостійких наддрібнодисперсних покриттів [3]. На рисунку 2 їм відповідають зони А. Кількість покриттів має бути достатньою для повного екранування під час роботи деформованого на етапі припрацювання пари тертя вихідного металу. Цей ефект спостерігається як без легування, так і з додатковим легуванням сталі 130X17 молібденом.

В роботі [3] було показано, що самоорганізовані зносостійкі покриття утворені з якісно нового ультрадисперсного та наноструктурованого матеріалу, який може містити до 25 % атомів кисню та вуглецю, більшість з яких не утворюють хімічних сполук з атомами металу. Зносостійкі покриття складаються з шарів тертя, кожен з яких є результатом окремого акту нашарування мікровиступів металу на робочу поверхню тіл в результаті їх адгезійної взаємодії. Виникнення на окремих ділянках робочих поверхонь сильних адгезійних зв'язків може призводити до локального руйнування металу і його перенесення між тілами, які утворюють вузол тертя. Тому мікрооб'єми металу, нашарування яких на поверхні контакту призводить до утворення зносостійких шарів тертя, можуть формуватися з матеріалу різних тіл. А самоорганізовані зносостійкі покриття будуть складатися з окремих шарів тертя, сформованих з металу різних сталей.

Матеріал самоорганізованих зносостійких покриттів має високі в порівнянні з деформованим вихідним металом твердість і пружність і більш стійкий до зовнішніх циклічних термомеханічних навантажень. Це знижує ймовірність утворення між тілами, що труться, сильних адгезійних зв'язків і сприяє переходу системи в стаціонарний режим роботи з мінімальними коефіцієнтом тертя і зносом. Знос тіл при терті відбувається внаслідок викришування окремих ділянок самоорганізованих зносостійких покриттів через утворення втомних тріщин. Після цього на цих ділянках можуть знову формуватися нові покриття.

На підставі приведених даних можна припустити, що для розуміння механізму впливу легування сталі 130X17 молібденом на трибологічні властивості пари тертя слід дослідити як саме молібден впливає на процес самоорганізації на поверхнях контакту обох тіл зносостійких наддрібнодисперсних покриттів.

Дані отримані за допомогою трансмісійної електронної мікроскопії свідчать, що зміна зносу тіл при легуванні сталі 130X17 молібденом не пов'язана з мікроструктурою та фазовим складом поверхневих шарів тертя.

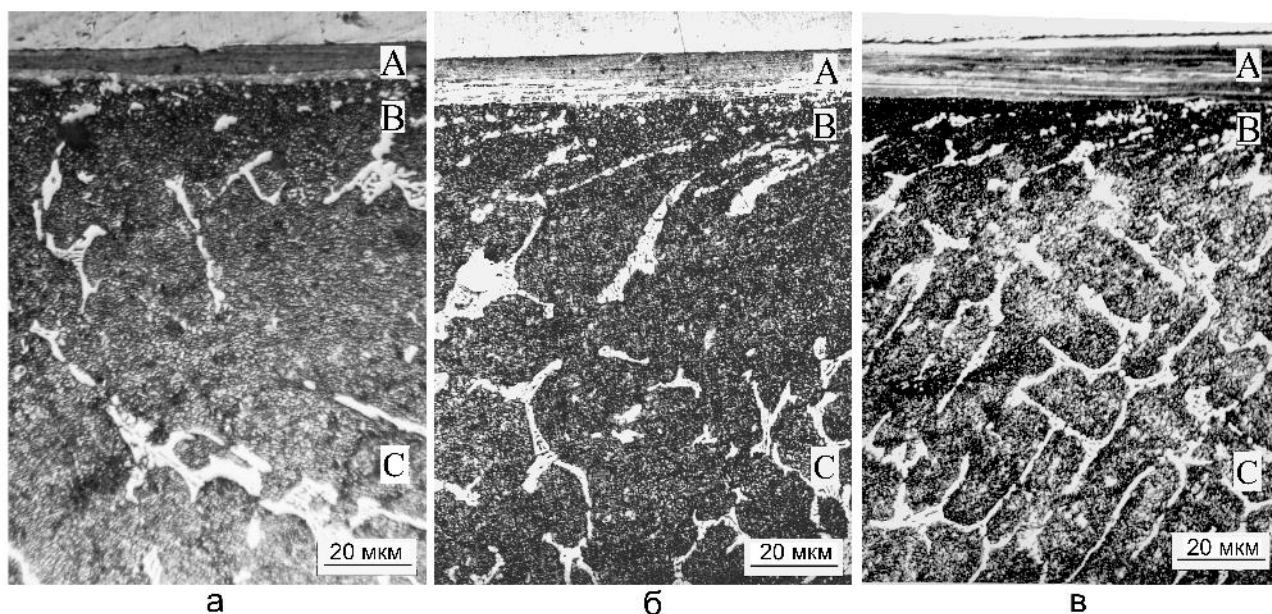


Рис. 2 – Структура зони контактної взаємодії сталі 130X17 без додаткового легування (а) та додатково легованої 0,4 (б) і 1,8 (в) ваг.% молібдену. Торцевий шліф. А - зносостійкі самоорганізовані покриття, В – деформований вихідний метал, С – недеформований вихідний метал.

Хімічний склад окремих шарів тертя, що входять до складу зносостійких самоорганізованих покриттів, і розташованих під ними деформованого та недеформованого вихідних металів досліджувався методом локального рентгеноспектрального аналізу. Аналіз хімічного складу поверхневих шарів тертя свідчить, що без легування молібденом матеріал сталі 130X17 вносить домінуючий внесок у формування шарів тертя самоорганізованих зносостійких покриттів обох сталей. Додаткове легування сталі 130X17 молібденом збільшує внесок металу сталі 20X13 у формування цих покриттів. Якщо концентрація молібдену в сталі 130X17 перевищує 2,5 ваг.%, самоорганізовані зносостійкі покриття обох сталей переважно сформовані з металу сталі 20X13.

Додаткове легування сталі 130X17 молібденом збільшує кількість вторинних карбідів і робить сітку первинних евтектичних карбідів більш щільною та рівномірно розподіленою в об'ємі сплаву (рис. 2). Разом з тим, металева матриця сплаву зміцнюється внаслідок зміни її хімічного складу [4]. Тому збільшення вмісту молібдену в сталі 130X17 призводить до збільшення твердості та пружності її вихідного та деформованого матеріалу (рис. 3).

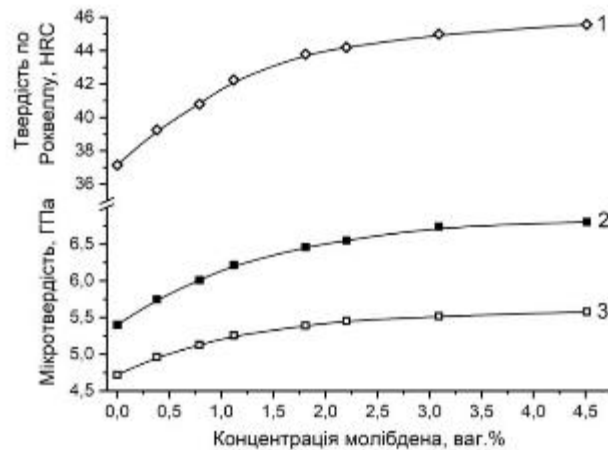


Рис. 3 – Вплив додаткового легування сталі 130X17 молібденом на її твердість за шкалою Роквелла (HRC) (крива 1) та мікротвердості H_d (крива 2) і H_h (крива 3) деформованого на етапі припрацювання пари тертя металу, виміряні відповідно по діагоналі залишкового пластичного відбитка та глибині впровадження індентора.

Твердість за Роквеллом вихідного металу сталі 20X13 складає 40,7 HRC. Мікромеханічні випробування методом динамічного впровадження індентора показали, що твердість деформованого під час припрацювання пар тертя металу сталі 20X13, виміряна по діагоналі залишкового пластичного відбитка та глибині впровадження індентора, дорівнює відповідно $H_d=5,98$ ГПа та $H_h=5,09$ ГПа.

У випадку роботи пари тертя у воді на поверхнях контакту тіл утворюється лише тонка плівка оксидів $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$, яка легко руйнується та не перешкоджає утворенню сильних адгезійних зв'язків між ними. Тому при самоорганізації на поверхнях тертя зносостійких покриттів спостерігається суттєве масоперенесення металу між тілами, що труться. Без додаткового легування молібденом вихідний та деформований метал сталі 130X17 має нижчу твердість і пружність у порівнянні з вихідним та деформованим металом сталі 20X13. Тому при формуванні на робочих поверхнях шарів тертя спостерігається переважне масоперенесення сталі 130X17 на поверхню сталі 20X13. А самоорганізовані зносостійкі покриття обох сталей утворюються переважно з матеріалу сталі 130X17. Через це знос сталі 130X17 майже в двічі сильніший ніж сталі 20X13. Додаткове легування сталі 130X17 молібденом збільшує її твердість і пружність. Завдяки цьому внесок металу сталі 20X13 у формування шарів тертя самоорганізованих зносостійких покриттів зростає. Якщо концентрація молібдену в сталі 130X17 перевищує 2,5 ваг.%, самоорганізовані зносостійкі покриття обох сталей пере-

важно формуються з металу сталі 20X13. Тому в цьому випадку її знос у 2,6 раза перевищує знос сталі 130X17. Нерівномірний знос тіл, що утворюють вузол тертя, знижує ресурс його роботи та є неприпустимим. Рівномірний знос тіл пари тертя спостерігається при додатковому легуванні сталі 130X17 0,8 ваг.% молібдену. В цьому випадку твердість і пружність вихідного та деформованого металу сталей 130X17 і 20X13 майже збігаються, а внесок кожної сталі у формування самоорганізованих зносостійких покриттів є однаковим. Завдяки рівномірному зносу тіл пари тертя, її сумарний знос стає мінімальним.

Список літератури

1. Новицкий В. Г., Шипицын С. Я., Лахненко В. Л., Локтионов-Ремизовский В. А., Кальчук Н. А., Грибов Н. Н. Применение литой стали 120X15Ю для деталей проточной части насосного оборудования // Литво. Металургія. 2019 (Харків: НТУ «ХПІ»: 2019). - 2019. – С. 151-153.

2. Новицький В. Г., Квасницька Ю. Г., Лахненко В. Л., Тихонович В. В., Олександренко І. В., Лиховей Д. І. Застосування литих хромистих сталей для деталей насосного устаткування в енергетиці та нафтопереробній промисловості // Литво. Металургія. 2024 (Харків: НТУ «ХПІ»: 2024). -2024. – С. 185-189.

3. Тихонович В. В. Формування зносостійкого ультрадисперсного та наноструктурованого матеріалу на поверхнях тертя хромистих криць. Ч. 1. Механізм формування та фізико-механічні властивості // Металофізика та новітні технології. – 2022. – Том 44. – № 12. – С. 1595–1629.

4. Тихонович В. В. Влияние легирования хромистых сталей молибденом на формирование износостойких сверхмелкозернистых покрытий при работе узлов трения в разных технологических средах // Металофізика та новітні технології. – 2019. – Том 41. – № 9. – С. 1231–1260.