УДК 67.017

ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕМОНТУ ТА ЗМІЦНЕННЯ ДИЗЕЛЬНОЇ ГАЗОВИПУСКНОЇ СИСТЕМИ, ЗАСТОСУВАВШИ ВИСОКО РОЗПОВСЮДЖУВАНИЙ ВИСОКОТЕМПЕРАТУРНИЙ СИНТЕЗ ОТРИМАННЯ СПЛАВІВ

Е. П. Богомолов
Одеський національний морський університет

***Анотація**: Відповідно до вимог стратегії економічного розвитку України і висвітлення процесів до економічних підходів трансформації національної економіці у різних галузях промисловості, представляємо окрему методику у сфері відновлення та ремонту суднових транспортних засобів. Основний напрямок удосконалення судноремонтного виробництва є скорочення тривалості, підвищення якості та зниження вартості ремонту суден. Такі фактори впливу на виробництво та ремонт, як матеріальне забезпечення та енергоспоживання, можна зменшити на 10–20 відсотків, якщо застосувати новітні технологічні впровадження, які вже розроблені і удосконалені в дослідженнях як українських, так і закордонних вчених.*

***Ключові слова**: ремонт, захисні покриття, клапана газорозподілу, газова корозія, відновлення, плазмове наплавлення, екзотермічна суміш, флюси.*

IMPROVING THE EFFICIENCY OF REPAIR AND STRENGTHENING OF THE DIESEL EXHAUST SYSTEM BY USING A HIGHLY COMMON HIGH-TEMPERATURE SYNTHESIS OF ALLOYS

E. P. Bogomolov
Odessa National Maritime University

***Annotation:** In accordance with the requirements of the Ukraine strategy of economic development and coverage of processes economic approaches to the transformation of the national economy in various industries, we present a separate methodology in the field of restoration and repair of marine vehicles. The main direction of improving shipbuilding production is to reduce the duration, improve the quality and reduce the cost of ship repair. Such factors influencing production and repair as material supply and energy consumption can be reduced by 10–20 percent if we apply the latest technological implementations that are already developed and improved in the research of both Ukrainian and foreign scientists.*

***Keywords:** Repair, protective coatings, gas distribution valve, gas corrosion, restoration, plasma surfacing, exothermic mixture, fluxes.*

Усім відомо, що забезпечення потреб суднових машин і механізмів у період експлуатації та технічного обслуговування в запасних частинах здійснюється за рахунок придбання нових або відновлення деталей, що вийшли з ладу. В умовах ремонтно-відновлювальних робіт велика увага має приділятися економному використанню матеріальних засобів, витрат на трудові ресурси, розвитку технологічних робіт, виготовлення оснастки відновлення деталей. Вартість відновлення, як правило, на 30–50 % нижче витрат на виробництво нових

аналогічних виробів. Тому пропонуються перспективні технологічні процеси, обладнання та матеріали для відновлення та зміцнення суднових деталей, а також результати випробувань відновлених деталей.

У процесі експлуатації суднових дизелів деталі газовипускної системи, а саме випускні клапана, є найбільш напруженими і відповідальними за ресурс працездатності двигуна. Клапани та сідла, як найбільш напружені елементи дизеля, працюють в умовах значних градієнтів та різких змін температури, а також хімічних та механічних впливів. Вони піддаються впливу циклічних ударних навантажень у місці контакту з ущільнювальною поверхнею сідла клапана, крім того вихлопні гази нагрівають клапан, а високі температури викликають значні температурні деформації.

Великий вплив на стан випускних клапанів надають характеристики палива: коксівність, зольність, кислотність, підвищений вміст сірки, води та механічних домішок. Зола разом з коксовими відкладеннями, яка утворюється при згорянні палива сприяють абразивному зносу поверхонь тарілок клапанів. Найбільш шкідливими зольними елементами, що викликають корозію, є пентоксид ванадію, оксид заліза та оксид сірки. У зоні високих температур відбувається безпосередня дія оксидів на метал, що спричиняє газову корозію. Механічний вплив сірки проявляється у вигляді абразивного зношування, яке посилюється, так як продукти конденсації сірчистих сполук концентруються у нагарах та відкладеннях, що призводить до абразивного зношування робочих поверхонь.

Характерні несправності:

1) розвиток втомних тріщин, викликаних механічними ударними впливами та температурними напругами;

2) короблення, корозійне ушкодження, вигоряння тарілок;

3) зношування, наклеп фасок;

4) корозія та механічні пошкодження сідел.

У даний час ведуться дослідження з розробки методів зміцнення при наплавленні пояса зношеного клапана, так і виготовленого на заводі.

Задля більшої працездатності клапана зміцнюють наплавленням ущільнювального поясу тарілки жароміцними сплавами на основі кобальту або нікелю (стеліти). Сплави типу «стеліти» на основі кобальту, з вмістом хрому, вольфраму та вуглецю є традиційними сплавами для наплавлення поясу тарілки клапану. Матеріали на основі нікелю з додаванням хрому також відрізняються високою стійкістю до корозії у різних середовищах та мають широке застосування задля зміцнення тарілок клапанів. Для забезпечення оптимальних властивостей наплавленого металу раніше застосовували ручне аргонодугове наплавлення стелітом марок В2К, В3К, а також Сормайт. Закордоні судноремонтні підприємства застосовують для зміцнення поясків тарілок клапанів матеріал марок стеліт-1, стеліт-6, стеліт-12, які відрізняються між собою змістом вуглецю, хрому і вольфраму.

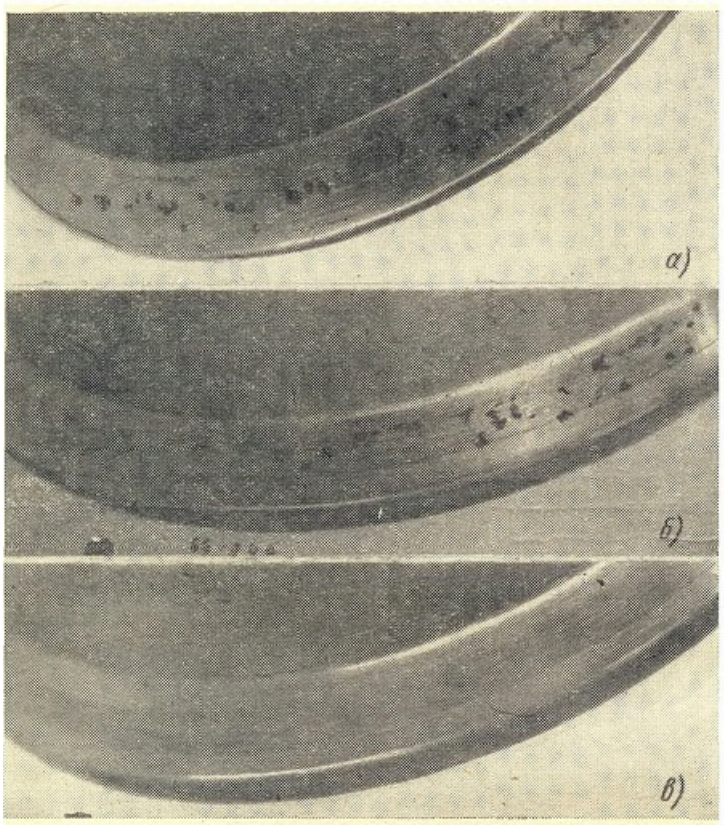

Рисунок 1 – Характерні пошкодження на поверхні тарілки клапана

Аналіз характерних пошкоджень клапанів в умовах експлуатації двигунів, а також зіставлення результатів досліджень провідних дизельних виробників, показує, що основною причиною передчасного виходу з ладу відновлених клапанів є недостатня корозійна стійкість наплавлення стелітом тарілок клапанів при використанні важких сортів палива, які мають високий вміст ванадію та натрію. При цьому слід зазначити, що вагове співвідношення натрію до ванадію в паливі, яке переважає 1:3, сприяє зниженню точки плавлення ванадієвої золи, яка в розплавленому стані має високу корозійну агресивність. У зв'язку з цим французька фірма «Пілстік» при використанні тяжкого палива не рекомендує використання марки стеліт-12, а пропонує виконувати наплавлення стелітом-20, а випускні клапани виготовляти зі сплаву Німонік-80А.

Одним з найбільш ефективних способів відновлення зношених та пошкоджених деталей є електродугове та порошкове наплавлення під захистом інертних газів. Надійний процес автоматичного плазмового наплавлення самофлюсуючим порошком ПР-Н77Х15С3Р2 (1) розроблено і впроваджено для зміцнення поверхні тарілок клапанів, з шлакоутворюючими сполученнями. Але для виконання ресурсозбереження та наукового обґрунтування показників, що забезпечують підвищення продуктивності, економії матеріальних, трудових та фінансових ресурсів у сфері ремонтного виробництва не станеться без застосування перспективних технологічних процесів.

Плазмову наплавку здійснюють на установці УПН-303 за наступних параметрів режиму: струм дуги прямої полярності 120–150А, напруга дуги 26–37В, витрата порошку 2–3кг/год, швидкість наплавлення 7–8 м/год, витрати

плазмо утворюючого газу – 4,5–5,0 л/хвл. Порошок вдмухається в плазму. Наплавлення виконується з поперечними коливаннями плазмотрону. Як плазмо утворюючий, захисний і транспортуючий газ використовується аргон. Перед наплавленням тарілку клапана нагрівають ацетилено-кисневим полум'ям до температури 200–250 ºС.

Забезпечення мінімальної частки основного металу та дотримання необхідних термічних умов є найважливішими особливостями технологічного процесу наплавлення кобальтових сплавів.

При наплавленні жароміцного сплаву необхідно прагнути мінімального переходу заліза з основного металу в наплавлений, інакше властивості останнього різко погіршуються. Наплавлений метал схильний до утворення холодних та кристалізаційних тріщин, тому наплавлення ведуть з попереднім і часто супутнім підігрівом клапану до температури 600–700 ºС. При такому нагріванні частка основного металу велика (до 30 %), тому для отримання мінімального вмісту заліза наплавлення доводиться виконувати у три шари. Це збільшує витрати дуже дорогого наплавного матеріалу, споживання електричної енергії і підвищує трудомісткість робіт.

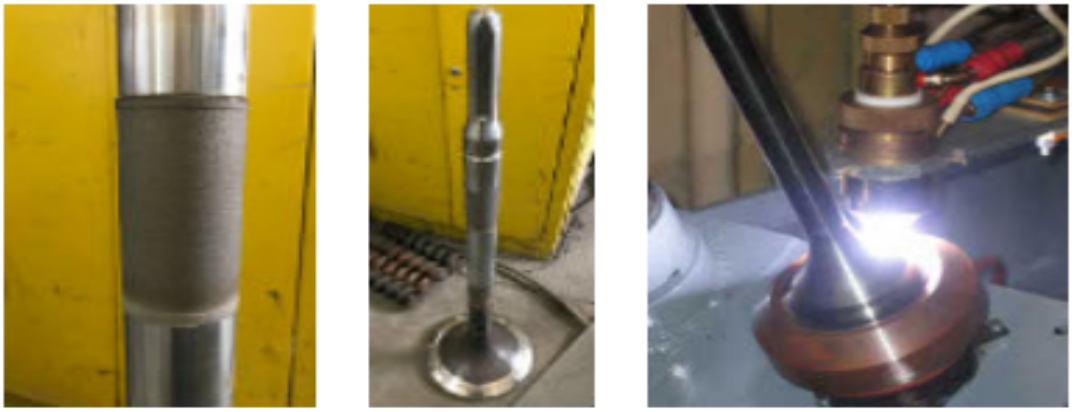

Рисунок 2 – Плазмове наплавлення самофлюсуючим порошком у складі екзотермічного флюсу

Так плазмове наплавлення самофлюсуючим порошком забезпечить відновлення пошкодженої поверхні тарілки клапану і збільшить працездатність двигуна, але не зменшить зазначені вище витрати. У якій спосіб можна модернізувати процес наплавлення, щоб збільшити масову частку метала та скоротити витрати дорогого флюсу і зменшити споживання електроенергії. Для досягнення такої мети було розглянуто дослідження розробок наукових праць та технологій промисловості на основі застосування високо розповсюджуваного високотемпературного синтезу отримання сплавів. Застосування екзотермічних компонентів у складі покриття електродів та у флюсах при електрошлакових процесах, яке забезпечує підвищення продуктивності ручного дугового зварювання та електрошлакових процесів, ресурсозбереження, на основі використання ефекту екзотермічних реакцій при їх розплавленні у дослідженнях Донбаської державної машинобудівельної академії виконуються

вже давно. «Дослідження, розробка екзотермічних флюсів стосовно електрошлакового переплаву сталей 9ХФ, 9Х2МФ та 60Х2СМФ з метою збільшення виходу придатного металу та економії електроенергії» (№ ГР 185.0007457) та інше.

На прикладі автоматичного плазмового наплавлення самофлюсуючим порошком ПР-Н77Х15С3Р2 після додавання у суміш флюсу екзотермічних компонентів можна досягти додаткового легування і збільшення виходу годного металу на 2–10 % за рахунок відновленого металу в процесі високотемпературного синтезу та отримати метал, який відповідає фізико-хімічним та механічним властивостям марочного складу. До загальних характеристик Ni-Cr-B-Si-C сплавів, до яких належить сплав, що утворює на поверхні тарілки клапану тверде зносостійке покриття, відноситься також властивість зберігати твердість і опір абразивного зношування після відпустки з нагріванням до 600 °С. Твердість сплавів при підвищених температурах («гаряча» твердість), наприклад при 650 °С, може скласти 70–80 % від виміряної при кімнатній температурі. Тому слід підвищити продуктивність плазмового напилення за рахунок вводу у склад флюсу, крім термітних компонентів легуючих добавок. На властивості наплавленого сплаву, виконаним спіканням термітного та нікелевою сумішшю, позитивний вплив мають рідкісноземельні метали, а також до 2–5 % оксиду натрію (Na_2O) та кремнію (SiO_2). Останній утворює над сумішшю кислий шлаковий покрив, що розчиняє вільний закис заліза (FeO) і формує її в силікат $FeO{\cdot}SiO_2$, який не розпадається при температурі. Оскільки натрій значно знижує температуру затвердіння шлаку, його захисний вплив довго зберігається при охолодженні.

Тому фазові перетворення, які протікають в системі залізо-вуглець із зміною обсягу, створюють небезпеку розтріскування покриття на сталевих підкладках при охолодженні. У зв'язку з цим, охолодження виробів з нанесеним покриттям із сплавів, що самофлюсуються, рекомендується проводити в уповільненому темпі. Інтервал рекомендованих швидкостей охолодження становить, наприклад, для сталі, з якої вироблені вихлопні клапана, 40Х9С2 та 40Х10С2М менше 5 °С/с, а шлаковий покрив, який утворюється на поверхні наплавленого сплаву, сприяє такому охолодженню.

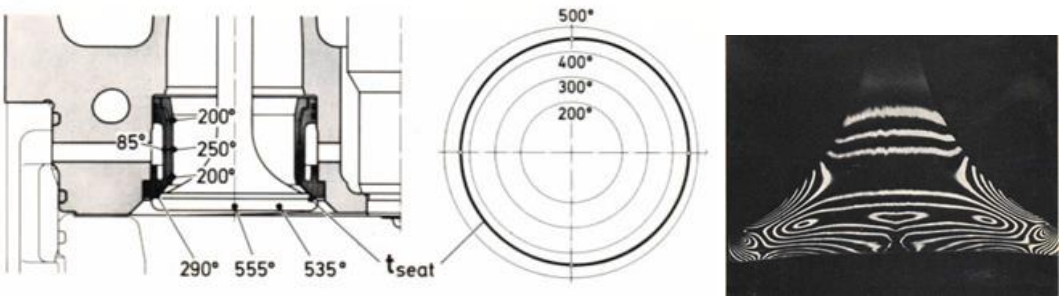

Рисунок 3 – Температурні поля, які під час роботи впливають на фазові перетворення

Властивості термітної суміші багато в чому залежать від її гранулометричного складу. Кращі результати отримані при пористості суміші, що дорівнює 50 %, і що менше різниця у розмірі зерен, тим рівномірніше у часі та обсязі протікають екзотермічні реакції.

Використання суміші порошку, що сам офлюсуються і виробляються розпиленням розплаву газом, піддаються розсіву на вузькі за розмірами частинок фракції для різних технологій напилення та наплавлення покриттів: газопорошкового наплавлення, газополум'яного та плазмового напилення, лазерного та електроіскрового наплавлення, плазмового та індукційного наплавлення. Фракції порошків для плазмової та індукційної технологій отримання покриття складає 63–125, 80–160, 94–280, 140–280 мкм. Тому екзотермічна суміш повинна мати фракцію не більше ніж 5 % різниці від загального порошку-флюсу. У цій роботі екзотермічний флюс являє собою механічну суміш залізної окалини, алюмінієвого порошку, феротитану та легуючих елементів у вигляді феросплавів. Маса шару, що містить в екзотермічній металофлюсовій суміші легуючі елементи (Mo, Cr, V, Si, Mn та ін.), береться в кількості, яка забезпечила б отримання заданого обсягу якісного наплавленого металу за один прохід.

Таблиця 1 – Використаний склад екзотермічного флюсу для підвищення продуктивності наплавленого покриття

компоненти комплексної суміші	***дисперсність, мкм***	***вміст наплавленої сталі, мас. %***	
		12Х13Н2	14Х17Н2
Залізна окалина (Fe_3O_4)	260–500	56–58	54–56
Алюміній	260–500	23–25	23–25
Окис хрому (Cr_2O_3)	5–100	11–13	14–17
Окис нікелю (NiO)	5–100	0,9–2,1	1,0–1,2
Фторид кальцію (CaF_2)	5–50	4,5–8,5	4–6
Хлорид лантану ($LaCl_3$)	5–50	0,05–0,1	0,05–0,1
Кальцій	260–250	0,01–0,2	0,01–0,02

Пропонований спосіб дозволяє отримати корозійностійкій і жаростійкій захисній шар металу, що представляють складнолеговані сталі, а також тугоплавкі метали та сплави. Зокрема, для отримання захисного шару на вуглецеву леговану сталь звичайної якості (40Х9С2) вироблено наплавлення високолегованих сталей марок 12Х13Н2 та І4ХІ7Н2 в результаті спільного відновлення оксидів хрому та нікелю та хлориду лантану, що йде в процесі наплавлення. При цьому відновлення оксидів хрому і нікелю здійснюється алюмінієм, а хлорид лантану відновлюється кальцієм. Для зменшення втрат легуючих елементів і виключення технологічних дефектів відповідно до запропонованого способу далі здійснюється зближення масових швидкостей горіння основної (3FeO+8Al) і легуючих сумішей за рахунок зміни дисперсності

оксидів і відновлювача. Для збільшення масової швидкості горіння легуючої суміші Cr_2O_3+2Al використовують оксид хрому максимальної дисперсності (5–50 мкм), що забезпечує збільшення швидкості з 0,11 до 0,65 г/см^2×с, а алюміній марки АСД-1 в якості активуючої суміші разом з сумішшю перхлорату калію ($KClO_4$) повинні мати дисперсність (50–100 мкм), а щільність суміші повинна бути 0,8 г/см^3. Склад активуючої суміші розраховано з умовою повного розплавлення оксиду алюмінію і відновленого хрому. Для виконання такої умови у складі суміші слід мати аморфний бор 1,2–2,2 %, який разом з кремнієм утворюють з нікелем легкоплавкі евтектики з температурою плавлення 950–1080 °С, а також відновлюють окисні плівки (AlO_3) на поверхні підкладки з утворенням боросилікатних шлаків (самофлюсування) у присутності рідкої фази та покращують змочуваність підкладки «материнського» металу рідким металом. Крім того, в результаті протікання екзотермічної реакції при плавленні нікелевого покриття з екзотермічною сумішшю, відновлене залізо, що утворюється, надходить у спав, підвищуючи продуктивність процесу наплавлення, а тепло, що виділилося, сприяє прискоренню плавлення покриття.

Продуктивність розплавлення флюсового металу при наплавленні разом з екзотермічним флюсом можна розрахувати за формулою:

$$G_{p(m-\partial)} = g_p \times (1 + K_{ф} \times \rho_{м.п} + K_{ф\times} \times \rho_{е.с} \times K_{в.м}),$$

де g_p – продуктивність розплавлення загального нікелевого залізного порошку, кг/с;

$K_{ф}$ – відносна маса розплавленого флюсу, кг;

$\rho_{м.п}$ – частка металевих присадок у складі флюсу;

$\rho_{е.с}$ – частка екзотермічної суміші;

$K_{в.м}$ – коефіцієнт виходу відновленого металу з термітної суміші, яка входить у склад флюсу.

Збільшення відносної маси розплавленого флюсу *Кф* з підвищенням напруги плазмової дуги призводить до зростання продуктивності наплавлення для флюсів, яка має найбільше значення при наплавленні під флюсом, коли у складі флюсу одночасно містяться термітна суміш і металевий порошок. З підвищенням концентрації термітної суміші у складі флюсу відносні маси розплавленого флюсу *Кф* і шлаку *Кш*, що утворюється, а також продуктивність наплавлення збільшуються. Продуктивність термітно-дугового процесу наплавлення під екзотермічним флюсом у порівнянні зі звичайним процесом під флюсом-порошком Н77Х15С3Р2 збільшується в 1,5–2,5 рази.

Тепловий ефект екзотермічних реакцій можна регулювати за рахунок вмісту екзотермічної складової в наповнювачі, а встановивши оптимальний склад і вміст цієї складової в наповнювачі, регулювати швидкість плавлення нікелевого та залізного самофлюсуючого сплаву та наповнювача, забезпечуючи їхню рівномірність.

Висновок. Застосування екзотермічних сумішей (флюсів) відповідного складу та запропонованих нових способів розплавлення робочого флюсу дозволяє підвищити вихід придатного металу до 5 %, знизити витрату електроенергії на 10 % та зменшити витрати робочого нікелевого та залізного флюсу відповідно на 20 %. Перспективи розвитку технологій, в яких застосовуються само розповсюджуваний високотемпературний синтез *(Self-propagating high-temperature synthesis* (SHS)), швидко поширюються по всій земній кулі і дають можливість економити коштовні матеріали, трудові ресурси та зменшують енергозалежність.

ЛІТЕРАТУРА

1. Рыкалин Н. Н. Расчеты тепловых процессов при сварке / Н. Н. Рыкалин. – М.: Машгиз, 1951. – 197 с.
2. Глущенко А. С. Определение производительности термитно-дугового сварочного процесса под экзотермическим флюсом / А. С. Глущенко // Сварочное производство. – 1980. – № 9.– С. 25–27.
3. Брыков Н. Н. Повышение срока службы деталей при абразивном изнашивании / Н. Н. Брыков, Ю. М. Ткаченко // В кн. Износостойкость сплавов, восстановление и упрочнение деталей машин. – Запорожье: Мотор Сич. – 2006. – С. 109–124.
4. Чигарев В. В. Исследование показателей горения экзотермических смесей / В. В. Чигарев, Д. А. Зареченский // Вісник Пріазовського державного технічного університету: Збірник наук. праць. – 2006. – № 16. – С. 1–4.
5. Лапшин О. В. Влияние стадии нагрева на условия воспламенения порошковой смеси никеля с алюминием / О. В. Лапшин, В. Е. Овчаренко // Физика горения и взрыва. – 2000. – Т. 36, № 5. – С. 22–26.
6. Кувшинова Н. Н. Энергосберегающая технология наплавки стальных деталей / Н. Н. Кувшинова // Сварочное производство. – 2010. – № 1. – С. 24–28.
7. Власов А. Ф. Развитие научных и технологических основ повышения эффективности применения экзотермических смесей при электродуговой сварке и электрошлаковых процессах /Диссертация. – 2016. – С. 172–214.
8. Doria J. G. Welding consumables: Market trends / J. G. Doria. – Istanbul: Europe-an Welding Association, 2001. – 20 p.
9. Лебедев Б. В., Богомолов Э. П. Аналитическое определение количества теплоты, необходимого для сварки стальных конструкций на воздухе экзотермическими стержнями / Проблемы техники. – 2017. – С. 21–29.
10. Кувшинова Н. Н. Технология устранения дефектов стального литья экзотермической наплавкой // Автореферат диссертации на правах рукописи. – 2004. – С. 8–15.

Богомолов Едуард Пантелійович – старший викладач кафедри «Технологія матеріалів» Одеського національного морського університету. boginerged@gmail.com.