

ПРИКЛАДНА МЕХАНІКА

УДК 621.7

DOI: <https://doi.org/10.32515/2414-3820.2024.54.3-11>

В.Я. Ошовський, доц., канд. техн. наук, **І.А. Капура**, канд. техн. наук, **О.В. Шостак**, ст. викл.

*Первомайський навчально-науковий інститут Національного університету кораблебудування імені адмірала Макарова, м. Первомайськ, Україна
e-mail: oshovskyikt@ukr.net*

Перспективність сучасних методів стикового електрозварювання для виготовлення заготовок і ремонту колінчастих валів

Пропонується виготовлення колінчастих валів зварюванням з попередньо виготовлених щік з половинками шийок, або щік і шийок автоматизованими електростиковими методами: невеликих валів - з пульсуючим оплавленням зварюваних поверхонь, а великих з оплавленням керованою дугою, що обертається по спіралі Архімеда під дією радіального магнітного поля соленоїдів. Такі методи підвищать продуктивність і якість виготовлення і ремонту колінчастих валів в умовах машинобудівних та ремонтних підприємств.

колінчастий вал, шийки, щоки, кування, електроконтактне зварювання, зварювання обертовою дугою

Постановка проблеми. Колінчасті вали двигунів внутрішнього згорання працюють порівняно з іншими деталями у важких експлуатаційних умовах. Різні динамічні сили, скручуючі моменти та згин різноманітно діють на окремі частини вала - на щоки та рамові і мотильові шийки. Так, щоки повинні мати достатню міцність та в'язкість, а шийки – високу міцність та зносостійкість поверхонь. Залежно від потужності колінчасті вали можуть мати різну кількість корінних шийок та шатунних, розташованих під кутами 180° , 120° або 90° , а також противаги та фланець, тому їх відносять до самої високої групи складності. Спосіб виготовлення заготовки колінчастого вала вибирають залежно від його матеріалу, конструкції і маси. З конструкційної сталі заготовки виготовляють обробкою тиском.

Вали невеликої маси з розташуванням шатунних шийок під кутами штампують за декілька переходів, спочатку - з розташуванням корінних і шатунних шийок в одній площині, а потім на викрутних пресах розташовують шатунні шийки під кутами. Це сприяє значним геометричним недолікам виготовлення та збільшенню припусків.

Якщо неможливо виконати штампування в одному штампі, то послідовно штампують кожну секцію валу окремо, а потім калібрують всі секції в одному штампі

Заготовки крупних колінчастих валів виготовляють вільним куванням на гідравлічних пресах великої потужності, які є тільки на спеціалізованих підприємствах. Технологічний процес кування складається зі значної кількості переходів – надруб, протягання і обтиску рамових шийок та ін. [1, с. 165]. При цьому кожна шатунна шийка для спрощення кування з'єднується з двома щоками великим напуском, який потім вирізають, що зменшує коефіцієнт використання матеріалу до 0,2...0,25. Окрім

того, вирізання напусків є суттєвим недоліком з-за перерізання волокон, що зменшує втомну міцність колін і може призвести до їх руйнування. Проведено багато досліджень для усунення недоліків кування [2, 3, 4] – відповідно куванням вузькими бойками, дослідження вигину вала та «перевертання плеча», які неможливо попередити і складно усунути при практичному застосуванні.

Недоліками виготовлення крупних колінчастих валів куванням є також необхідність спеціалізованих заготівельних підприємств з потужним унікальним обладнанням та високою кваліфікацією робітників, тому ці вали неможливо виготовляти на підприємствах двигунобудування.

Кожен з методів отримання заготовок колінчастих валів обробкою тиском має свої недоліки – низьку геометричну точність виготовлення, високу трудомісткість та потребу робітників високої кваліфікації і спеціалізованих підприємств, неможливість автоматизації, що не сприяє розвитку сучасних автоматизованих технологій.

Широке використання надійних і продуктивних методів стикового зварювання залізничних рейок і трубопроводів, автоматизованих комп'ютерним керуванням, показує, що ці методи можна впровадити для виготовлення складаних колінчастих валів зварюванням з простих за складністю елементів, які можуть виготовлятися на двигунобудівних підприємствах, а також для ремонту колінчастих валів заміною зношених шийок або інших пошкоджених частин

Тому дослідження надійних, автоматизованих і техніко-економічних способів виготовлення заготовок та ремонту колінчастих валів сучасними методами електростикового зварювання з простих частин, безпосередньо виготовлених на підприємствах двигунобудування, в заміну обробки тиском є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Для електростикового зварювання досліджені і розповсюджені такі основні методи, як зварювання: опором, безперервним і пульсуючим оплавленням та дугою, керованою магнітним полем.

Зварювання опором використовують для деталей перерізом до 300 мм² [5, с. 213]. При більших перерізах не досягається достатня якість з'єднання, тому таке зварювання непридатне для виготовлення заготовок колінчастих валів.

За методом безперервного оплавлення [6] рухому плити зварювальної машини подають тільки у бік зближення стиків. Спочатку на деталі подають напругу, потім їх наближають. При дотику деталей без стиску в окремих точках виступів поверхонь з-за великої щільності струму метал при контакті швидко нагрівається з утворенням рідких перемичок, які потім вибухово руйнуються і утворюються знову. Після утворення на торцях суцільного шару рідкого металу виконують осадку деталей. При цьому частина рідкого і твердого металу разом з поверхневими плівками видавлюється із зони зварювання і утворює потовщення. Під час осадки струм виключається. В роботі [7] відмічено, що при осадці метал на торцях повинен бути у стані розплаву.

Технологія зварювання з безперервним оплавленням, яка відповідає руху однієї заготовки тільки на зближення поверхонь [6, 7], розроблена в інституті електрозварювання (ІЕЗ) ім. Є.О. Патона стала пріоритетною для зварювання газових труб великого діаметра в різних країнах світу. Її переваги – малий час зварювання, 60...200 с на один стик, труб діаметром 114...1420 мм товщиною стінки до 30 мм. Процес зварювання виконувався на спеціальному комплексі автоматизовано за розробленою програмою, що виключає суб'єктивний вплив зварювальника на якість з'єднання. Були проведені також дослідні роботи по виготовленню заготовки крупного, діаметром шийки 200 мм, колінчастого вала із штампованих одноколінних елементів. В з'єднанні після термообробки була така ж міцність, як і основного металу. Зварювання виконувалося при програмному автоматичному регулюванні параметрів. Встановлено,

що зварні колінчасті вали більш економічні, ніж виготовлені куванням. Але відмічено, що недоліком цього способу зварювання був значний розкид струму та нерівномірність нагріву при оплавленні.

Стикове контактне зварювання пульсуючим оплавленням [8, 9] відрізняється тим, що рухома плита зварювальної машини виконує при зближенні зворотнопоступальний рух з частотою 3...45 Гц і амплітудою 0,1...0,8 мм. При зміні зазору між торцями виникає сильне дугоутворення, яке забезпечує рівномірність оплавлення поверхонь. За цим методом можна зварювати поверхні товщиною більше 10000 мм², а необхідна потужність і витрати електроенергії в 3...5 раз менші, ніж при зварюванні опором. В роботі [8] досліджена точність відтворення допустимих параметрів зварювання залізничних рейок для таких допустимих меж основних параметрів: час зварювання 60...100 с; швидкість оплавлення 0,07...0,20 мм/с; припуск на оплавлення 12...18 мм; напруга на оплавленні 250...360 В; напруга до осаджування 355...440 В; швидкість осаджування 30...80 мм/с; припуск осаджування 11,5...17 мм; час осаджування 1...2 с.

На основі досліджень і розробок ІЕЗ [9] Каховський завод електрозварювального устаткування випустив ряд машин для контактного стикового зварювання рейок з метою отримання безстикових залізничних колій. Так, у 2020 році завод поставив Укрзалізниці сучасні мобільні рейкозварювальні комплекси, які дозволили зварювання прямо на залізничному шляху [10].

Високі результати отримані при зварюванні трубчастих деталей дугою керованою магнітним полем [11]. Так, в роботі [12] наведені результати дослідження зварювання обертовою дугою, керованою магнітним полем, труб діаметром до 320 мм завтовшки до 16 мм з високоміцних сталей. Розроблені програми керування дугою для рівномірного нагріву, оплавлення і перемішування розплаву на торцях труб скануванням обертової дуги на площі від внутрішнього до зовнішнього діаметра торців, які забезпечують якісне зварювання без наступної термічної обробки. Експериментально встановлено, що температура розплаву при швидкому переміщенні дуги досягає 1700°C. Тому при осадці в інтервалі кристалізації 1700...1370°C розплавлений метал повністю витискується із зони стику разом з оксидами. Мінімальна товщина розплаву отриманого обертовою дугою складає 0,6 мм. Струм складає 200...250 А, напруга 25 В. Швидкість обертання дуги і температура розплаву до осадки швидко збільшувались. Розплав спочатку утримувався на поверхні торців, а при досягненні певної товщини починав обертатися з невеликою швидкістю в напрямку дуги під дією електродинамічних сил і тиску газу в дуговому зазорі. Це забезпечувало перемішування розплаву перед осадкою. В момент осадки рідкий метал видавлювався зі стику, а зерна металу в зоні термічного впливу роздрібнювались. В роботі [13] визначені оптимальні умови переміщення дуги у вузькому зазорі при виробництві гідроциліндрів діаметром 200 мм при товщині стінки 10 мм. Продуктивність машини зварювання трубчастих деталей МД-205 складала 80 стиків за годину, споживана потужність 40 кВт, маса машини 1500 кг. В роботі [14] з метою економії ресурсів розроблена і досліджена комп'ютерна програма, яка визначала оптимальні параметри зварювання для отримання якісних з'єднань.

Дослідження зварювання рейок і трубчастих деталей підтверджують можливість впровадження деяких удосконалених методів для виготовлення заготовок колінчастих валів з простих частин та ремонту валів заміною дефектних частин в заміну від деяких непродуктивних існуючих технологій.

Постановка завдання. Метою дослідження є аналіз сучасних методів електростикового зварювання перспективних для технологій виготовлення складаних

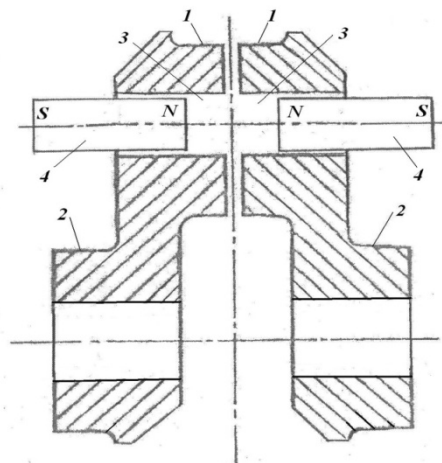
заготовок колінчастих валів, що відзначаються високими продуктивністю, коефіцієнтом використання матеріалу, якістю, надійністю та можливістю виготовлення на двигунобудівних підприємствах за автоматизованими технологіями з комп'ютерним керуванням всіма стадіями процесу.

Виклад основного матеріалу. Аналіз наукових досліджень і накопиченого світового досвіду щодо існуючих видів електростикового зварювання показує, що найбільш ефективними за техніко-економічними показниками для виготовлення заготовки вала з простих частин та ремонту заміною дефектних частин є зварювання з пульсуючим оплавленням та обертовою дугою керованою магнітним полем.

За методом пульсуючого оплавлення струм легко регулюється зміною напруги при переміщенні рухомої частини деталі. До впровадження пульсуючого методу, тобто безперервним оплавленням, потрібна була термічна обробка зони зварювання та її термічного впливу для усунення мікроструктури голчастого мартенситу або бейніту, які сприяють утворенню внутрішніх напружень.

Слід відзначити, що на етапі оплавлення спостерігалось нерегульоване утворення дуг на різних ділянках поверхонь. Дуги звичайно утворюються в першу чергу на самих близьких відстанях між поверхнями, пов'язаними з їх геометричними відхиленнями форми – хвилястості та шорсткості. Нерегульоване утворення дуг зменшує швидкість оплавлення поверхонь, тому що частина їх нагрівається швидко плямами дуг, а частина – за рахунок теплопровідності металу поверхневого шару. Такий нерегульований процес збільшує час нагріву і оплавлення на локальних частках поверхонь, що сприяє утворенню зони термічного впливу.

Пропонується зменшити час і рівномірність оплавлення та підвищити якість зварного шва утворенням між зварюваними поверхнями постійного магнітного поля, наприклад, встановленням неодимових магнітів в технологічні отвори деталей (рис. 1).



1 – половини шатунних шийок; 2 – половини корінних шийок; 3 – технологічний отвір для встановлення магнітів; 4 – неодимові магніти

Рисунок 1 – Схема розташування магнітів у штампованих елементах колінчастого вала для зварювання

Джерело: розроблено авторами

В такому варіанті зварюються елементи вала, кожен з яких містить коліно, та половини шатунної і корінної шийки. Шийки вала 1 і 2 мають технологічні отвори 3 для встановлення неодимових магнітів 4. Неодимові магніти дозволяють в імпульсних розривах рідких і твердих перемичок утворити кругові мікродуги, які будуть більш рівномірно і швидше нагрівати і плавити поверхні стику до осадки.

Вплив поля постійних магнітів на мікроструктуру і механічні властивості зварного шва та на зону термічного впливу підтверджується дослідженням на зразках сталі при їх зварюванні безперервним оплавленням в роботі [15]. Без магнітного поля у шві була отримана структура литої сталі з оксидними включеннями, а з магнітним полем в структурі були зерна фериту і перліту рівновісні з невеликою кількістю відманштеттових. Крупних зерен ЗТО не було. При випробуванні на розтяг зразок зварений без магнітного поля руйнувався в зоні термічного впливу, а з магнітним полем – в основному металі, причому в зоні шва міцність була вище.

Таке зварювання пульсуючим оплавленням високопродуктивне і може виконуватися на двигунобудівних, машинобудівних і ремонтних підприємствах. Всі процеси зварювання можуть виконуватися за спеціальними комп'ютерним програмами, що дозволяє встановлювати оптимальні параметри технологічних процесів зварювання і отримувати заготовки колінчастих валів високої геометричної точності та механічної якості. Окремі елементи вала (коліна з половинками щок або щоки і шийки) можуть виготовлятися штампуванням, литтям та обробкою різанням. Можна також виконувати ремонт колінчастих валів заміною пошкоджених або зношених шийок.

Ще більш ефективним і придатним для з'єднання поверхонь великого перерізу є метод зварювання обертовою дугою, керованою магнітним полем.

Слід відзначити, що ряд властивостей дуги в наш час ще є не досить зрозумілими з-за складності процесів, які в ній відбуваються. Але експериментально доведено, що в радіальному магнітному полі дуга, як і провідник зі струмом, може виконувати обертальний рух.

Так, експериментальні дослідження [12] показують, що радіальні силові лінії магнітного поля, які стиснуті однаковими полюсами намагнічених трубчастих поверхонь, забезпечують обертальний рух стовпа дуги постійного струму.

Якщо припустити, що в загальному радіальне магнітне поле, яке утворюється в зазорі між намагніченими зварюваними поверхнями, діє на дугу, як на провідник зі струмом, то за законами фізики вважають, що дуга обертається під дією двох сил.

Одна з них аксіальна (сила Ампера F_A , дотична), яка рухає дугу, а друга – доцентрова (сила Лоренца, F_L), яка утримує дугу за певним радіусом обертання.

Аксіальна рухома сила F_A залежить від таких параметрів

$$F_A = BIl \sin(\alpha), \quad (1)$$

де B – магнітна індукція;

I – величина струму дуги;

l – довжина дуги (відстань між зварюваними поверхнями);

α – кут між напрямом струму і силовими лініями магнітного поля.

При коловому русі зарядів у магнітному полі доцентрова сила

$$F_L = Bqv = mv^2/R, \quad (2)$$

де q – заряд частинки;

v – швидкість руху зарядженої частинки;

m – маса заряджених частинок;

R – радіус кола по якому рухаються заряди дуги під дією сили Лоренца.

З виразів 1 і 2 видно, що круговий рух дуги, а таким чином і її плям на зварюваних поверхнях в зазорі між зварюваними поверхнями в магнітному полі можна змінювати за радіусом і швидкістю переміщення.

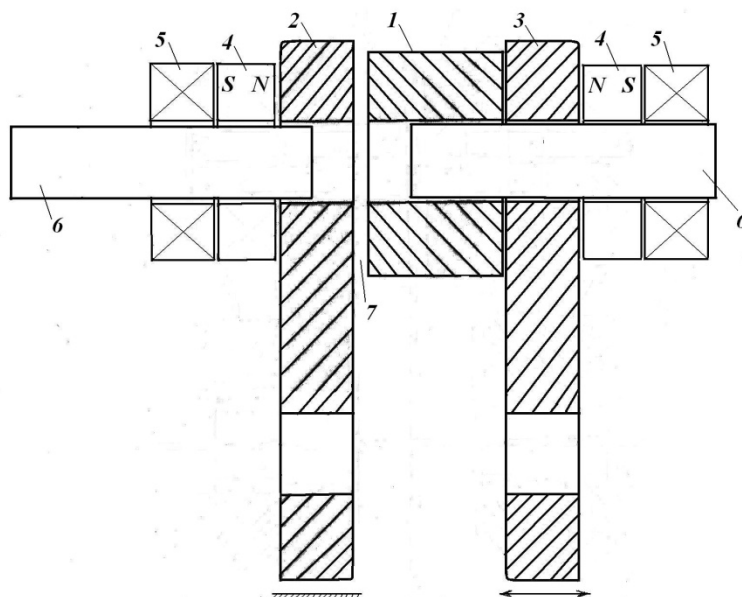
Основними параметрами, які можуть збільшувати або зменшувати швидкість руху дуги є величина струму та довжина дуги, які можуть регулюватися напругою та величиною зазору. Важливим параметром для регулювання є також індуктивність магнітного поля та напрям силових ліній поля. Кут α в основному дорівнює 90° ($\sin\alpha=1$), але при відхиленні від прямолінійності силових ліній магнітного поля може дещо зменшувати швидкість руху дуги.

При зварюванні рухома дуга повинна забезпечувати не тільки рівномірне, а й достатньо швидке нагрівання та оплавлення поверхонь необхідної товщини і температури до осадки тому, що оплавлений шар, який має температуру вище плавлення, у тривалість часу до осадки передає частку теплоти охолодження і кристалізації вглиб поверхні, що сприяє утворенню небажаної зони термічного впливу. Висока щільність і швидкість обертання дуги по архимедовій спіралі дозволить навіть уникнути утворення зони термічного впливу.

Слід врахувати також, що в точці Кюрі (для заліза 768°C) і вище сталь немагнітна, і потік магнітної індукції ослаблюється в декілька разів залежно від товщини немагнітного шару деталей. При створенні магнітного поля соленоїдами це потребує стрімкого збільшення струму в дузі і в соленоїдах при нагріві і плавленні поверхонь, а таким чином і збільшення електричної потужності зварювального обладнання.

У зв'язку з тим, що значну роль має магнітна індукція (вирази (1), (2)) пропонується дію соленоїдів підсилити постійними неодимовими магнітами.

На рис. 2 наведена схема варіанта з'єднання шийки і щік з неодимовими магнітами і соленоїдами при зварюванні обертовою дугою керованою магнітним полем.



1 – шийка шатунна; 2 – щока нерухома; 3 – щока рухома; 4 – неодимові магніти у вигляді шайб;
5 – соленоїди; 6 – стрижні з магнітної сталі; 7 – зазор між поверхнями зварювання

Рисунок 2 – Схема з'єднань при зварюванні шийок і щік

Джерело: розроблено авторами

В технологічний отвір шатунної шийки 1 з рухою щокою 3 та в отвір нерухої щоки 2 встановлені стрижні 6 з магнітної сталі для отримання однакових магнітних полюсів на зварюваних поверхнях та силового магнітного поля в зазорі 7 під дією неодимових магнітів 4, у вигляді шайб, та соленоїдів 5.

Неодимові магніти випускаються у вигляді круглих стрижнів або шайб різних розмірів і силової дії. Стрижневі магніти можна закріплювати в технологічних отворах, а шайби – на торцях протилежних поверхнях зварювання поза зоною температури, яка може вплинути на їх індуктивність. Регулювання індуктивності можна виконувати переміщенням магнітів, а більш точно – зміною напруги на соленоїдах. Неодимові магніти значно підвищують індукцію магнітного поля, а таким чином забезпечать більшу рівномірність і швидкість прогріву і оплавлення поверхонь, зменшать час зварювання та підвищать якість з'єднання.

ІЕЗ проведено ряд досліджень і впроваджень у виробництво автоматизованого зварювання труб керованою обертовою дугою [16, с. 191]. Так в роботі [12] теоретично і експериментально доведено, що при зварюванні товстостінних труб за розробленою програмою, що регулює струм дуги та швидкість її обертання, можна досягти скануючого кругового руху дуги між зовнішньою і внутрішньою поверхнями труби [12, с. 50], тобто руху плям дуги на зварюваних поверхнях по спіралі Архімеда. Розроблена ІЕЗ блок-схема комп'ютерної програми керування технологічним процесом і контролем якості автоматизованого зварювання труб наведена в роботі [14]. Відмічено, що програма забезпечує малий час зварювання, високу продуктивність, низькі витрати енергії і матеріалів, мінімальні припуски на оплавлення і осадку, можливість контролю процесу зварювання та інші переваги.

Неодимові магніти можуть значно підвищити індуктивність магнітного поля, а таким чином забезпечити більшу рівномірність і швидкість прогріву і оплавлення поверхонь, зменшити час зварювання, ліквідувати зону термічного впливу для отримання високої якості з'єднання, попередньо виготовлених елементів заготовки колінчастого вала або заміни дефектних його елементів при ремонті.

Висновки. Таким чином, серед сучасних методів стикового електрозварювання для виготовлення заготовки колінчастого вала з окремо виготовлених простих частин та ремонту валів заміною дефектних частин, найбільш перспективними методами є зварювання з імпульсним оплавленням та зварювання обертовою дугою, керованою магнітним полем соленоїдів при одночасному використанні додаткового магнітного поля неодимових магнітів.

Ці методи мають такі переваги порівняно з існуючими методами виготовлення заготовок та методами ремонту дефектних частин колінчастих валів: високий коефіцієнт використання матеріалу; висока геометрична і механічна якість та надійність валу; висока продуктивність та мала трудомісткість виготовлення; можливість автоматизації технологічного процесу зварювання з використанням сучасних комп'ютерних програм; можливість виготовлення заготовок на двигунобудівних і машинобудівних підприємствах. Приведені методи можуть дати значний техніко-економічний ефект при впровадженні у виробництво і сприятимуть сучасному розвитку двигунобудування.

Список літератури

1. Добрянський С.С., Малафеев Ю.М., Пуховський Є.С. Проектування і виробництво заготовок : підручник. Київ : НТУУ «КПІ», 2014. 353 с.
2. Клемешов Є.С. Розвиток теоретичних та технологічних основ металозаощаджувального процесу кування шатунної шийки великогабаритних колінчастих валів : дис. ... канд. техн. наук : 05.03.05. Дніпро : Нац. металург. акад. Укр., 2018. 158 с.
3. Milenin A., Rec T., Walczyk W., Pietrzyk M. Model of curvature of crankshaft blank during the heat treatment after forging. *Procedia Engineering, AGH Krakow*. 2014. Vol. 81. P. 498-503.
4. Miao, J. Z., Shiyao, G., Baofeng, L. Qun. Study on bending and upsetting forging 305 marine crankshafts. *Advanced Materials Research, Switzerland*. 2010. № 101. P. 337-343. DOI : 10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.337

5. Технологія конструкційних матеріалів : підручник: вид. 2-ге, переробл. і допов. / М.А. Сологуб, І.А. Рожнецький, О.І. Некоз та ін.; за ред. М.А. Сологуба. Київ : Вища шк., 2002. 374 с.
6. Beloev M., Khomenko V.I., Kuchuk-Yatsenko S.I. Selection of welding technologies in construction of large-diameter main pipelines. *The Paton Welding Journal*. 2013. № 10/11. P. 131-134.
7. Kuchuk-Yatsenko S.I., Shvets V.I., Didkovsky A.V., Antipin E.V., Kapitanchuk, L.M. Defects of joints of high-strength rails produced using flash-butt welding. *The Paton Welding Journal*. 2013. № 9. P. 2-8.
8. Кучук-Яценко С.І., Руденко П.М., Дідковський О.В., Антіпін Є.В. Операційний контроль процесу контактного стикового зварювання залізничних рейок методом пульсуючого оплавлення. *The Paton Welding Journal*. 2021. № 5. С. 8-14.
9. Спосіб контактного стикового зварювання оплавленням : пат. 46820 Україна : МПК В23К 11/04 (2006.01) : заявл. 28.07.1998; опубл. 17.06.2002. Бюл. №6.
10. Укрзалізниця отримала перші рейкозварювальні машини на платформі Volvo Trucks. *Rail insider*. 04.06.2020. URL : <https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznyczya-otrymala-pershijkozvaryvalni-mashyny-na-platformi-volvo-trucks/> .
11. Спосіб пресового зварювання дугою, керованою магнітним полем : пат. 46036 Україна, МПК В23К 9/08 (2006.01); заявл. 21.01.1998; опубл. 15.05.2002. Бюл. №5.
12. Kachinsky V.S., Kuchuk-Yatsenko S.I. Joint formation in magnetically-impelled arc butt welding of thick-walled pipes from high-strength steels. *The Paton Welding Journal*. 2017. № 8. P. 39-45.
13. Качинський В.С., Кучук-Яценко С.І., Коваль М.П. Пресове зварювання магнітокерованою дугою високоміцних сталевих трубчастих деталей гідро циліндрів. *The Paton Welding Journal*. 2020. № 1. P. 45-50.
14. Кучук-Яценко С.І., Качинський В.С., Коваль М.П. Розробка технології та обладнання для пресового зварювання трубчастих деталей в умовах виробництва з метою економії ресурсу та підвищення надійності високонавантажених виробів. *The Paton Welding Journal*. 2020. № 10. С. 3-7.
15. Chen Haidong, MA Tiejun, Zhang Yong, Zhang Xiaoyu. Microstructural analysis of mild steel joint by flash butt welding with external magnetic field. *Transactions of the China welding institution*. 2012. (2). 109-112.
16. Спеціальні способи зварювання : підручник / І.В. Кривцун, В.В. Квасницький, С.Ю. Максимов, Г.В. Єрмолаєв; за заг. ред. академіка НАН України, д.т.н., проф. Б.Є. Патона. Миколаїв : НУК, 2017. 346 с.

References

1. Dobrianskyi, S.S., Malafeev Yu.M., & Puhovskyi, Ye.S. (2014). *Design and production of blanks: a textbook*. Kyiv: NTUU «KPI» [in Ukrainian].
2. Klemeshev, Ye.S. (2018). *Development of theoretical and technological foundations of the metal-saving process of forging connecting rod journals of large crankshafts*. Thesis for the degree of candidate of technical sciences. Dnipro: National Metallurgical Academy of Ukraine [in Ukrainian].
3. Milenin, A., Rec, T., Walczyk, W., & Pietrzyk M. (2014). Model of curvature of crankshaft blank during the heat treatment after forging. *Procedia Engineering*, 81, 498-503 [in Poland].
4. Miao, J., Shiyang, Z., Baofeng, G., & Qun L. (2010) Study on bending and upsetting forging 305 marine crankshafts. *Advanced Materials Research*, 101, 337 – 343 [in Switzerland]. DOI : 10.4028/www.scientific.net/AMR.97-101.337
5. Sologyb, M.A., Rozhnetskyi, O.I., Nekoz, O.I., Gorpenyuk M.A., & Preys G.O. (2002). *Technology of structural materials: a textbook*. M.A. Sologyb (Ed). Kyiv: Vycha Shkola [in Ukrainian].
6. Beloev, M., Khomenko, V.I., & Kuchuk-Yatsenko S.I. (2013) Selection of welding technologies in construction of large-diameter main pipelines. *The Paton Welding Journal*, 10/11, 131-134 [in Ukrainian].
7. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Shvets, V.I., Didkovsky, A.V., Antipin, E.V., & Kapitanchuk, L.M. (2013) Defects of joints of high-strength rails produced using flash-butt welding. *The Paton Welding Journal*, 9, 2-8 [in Ukrainian].
8. Kuchuk-Yatsenko, S.I., Rudenko, P.M., Didkovsky, A.V., & Antipin, Ye.V. (2021) Operational control of the process of resistance butt welding of railway rails using the pulsed arc method. *The Paton Welding Journal*, 5, 8-14 [in Ukrainian].
9. The method of resistance butt welding: Patent 46820 Україна : МПК В23К 11/04 (2006.01). (22) : 28.07.1998; (46) : 17.06.2002. Bulletin 6.
10. Ukrainian Railways received the first rail welding machines on the Volvo Trucks platform. *Rail insider*. 04.06.2020 URL : <https://www.railinsider.com.ua/ukrzaliznyczya-otrymala-pershijkozvaryvalni-mashyny-na-platformi-volvo-trucks/> .
11. Method of press welding with a magnetic field controlled arc : patent 46036 Україна, МПК В23К 9/08 (2006.01); (22) : 21.01.1998; (46) : 15.05.2002. Bulletin 5.

12. *Kachinsky, V.S., & Kuchuk-Yatsenko, S.I. (2017) Joint formation in magnetically-impelled arc butt welding of thick-walled pipes from high-strength steels. The Paton Welding Journal, 8, 39-45 [in Ukrainian].*
13. *Kachinsky, V.S., Kuchuk-Yatsenko, S.I., & Koval, M.P. (2020) Press welding of high-strength steel tubular parts of hydraulic cylinders with magnetically controlled arc. The Paton Welding Journal, 1, 45-50 [in Ukrainian].*
14. *Kuchuk-Yatsenko, S.I., Kachunskyi, V.S., & Koval, M.P. (2020). Development of technology and equipment for press welding of tubular parts in production conditions to save resources and improve the reliability of highly loaded products. Paton Welding Journal, 10, 3-7 [in Ukrainian].*
15. *Chen, Haidong, MA, Tiejun, ZHANG, Yong, & ZHANG, Xiaoyu. (2012) Microstructural analysis of mild steel joint by flash butt welding with external magnetic field[J]. Transactions of the China welding institution, 2, 109-112 [in China].*
16. *Krivtun, I.V., Kvasnytskyi, V.V., Maksymov, C.Yu., & Yermolayev, G.V. (2017). Special welding methods: a textbook. B.Ye. Paton (Ed). Mykolayiv: NUK [in Ukrainian].*

Viktor Oshovskyi, Assoc. Prof., PhD tech. sci., **Igor Kapura**, PhD tech. sci., **Oleksandr Shostak**, Senior lecturer

Pervomaisky Educational and Research Institute of Admiral Makarov National University of Shipbuilding, Pervomaysk, Ukraine

Prospects of Modern Methods of Butt Welding for the Manufacture of Blanks and Repair of Crankshafts

The purpose of the study is to analyze modern productive automated methods of electrostatic welding that are promising for technologies for manufacturing blanks or repairing steel crankshafts from prefabricated parts to replace stamping, forging, and other unproductive methods, as well as to increase material utilization, quality, reliability, and the possibility of implementing these methods at engine-building enterprises.

It is noted that the existing stamping methods cause shape deviations when the crankshafts are twisted. And when forging large shafts, due to the need to simplify the workpiece, adjacent jowls and connecting rods are combined with large overlaps, which contribute to a very low material utilization rate, a decrease in reliability due to fiber cutting when they are cut. In addition, there are shape errors in the heat treatment process of crankshafts - bending of the workpiece, which is a very time-consuming and costly operation, "turning the crank arm over" during the settling process, which is determined as the main defect in the shaft shape. The manufacture of large shafts requires specialized enterprises with unique pressing equipment and highly qualified workers. It is proposed to manufacture crankshafts from prefabricated journals with half journals, or journals and journals by modern methods of electrostatic welding, automated by computer control - small shafts with pulsating melting; and large shafts with melting by a controlled arc rotating in an Archimedean spiral under the action of a radial magnetic field of solenoids. To increase efficiency, it is proposed to further enhance the magnetic induction of the field with neodymium magnets.

The proposed methods of manufacturing and repairing crankshafts will increase the material utilization rate to the maximum, reduce shaft shape errors by eliminating heat treatment after manufacturing or repair, obtain high quality and reliability of shafts, and automate the manufacturing process.

crankshaft, journals, jowls, forging, resistance welding, rotating arc welding

Одержано (Received) 28.08.2024

Прорецензовано (Reviewed) 26.11.2024

Прийнято до друку (Approved) 02.12.2024