

ДРОБОТ ОЛЬГА

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-3709-6531>e-mail: [pion12208@gmail.com](mailto:pion12208@gmail.com)

НЕСТЕР АНАТОЛІЙ

Хмельницький національний університет

<https://orcid.org/0000-0002-1276-6068>e-mail: [nesteranatol111@gmail.com](mailto:nesteranatol111@gmail.com)

ПІДГАЙЧУК СВІТЛАНА

Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького

<https://orcid.org/0000-0002-9868-6447>e-mail: [svitlankayar@gmail.com](mailto:svitlankayar@gmail.com)

## ВИКОРИСТАННЯ ІНДУКЦІЙНОГО ГАРТУВАННЯ ДЛЯ ЗМІЦНЕННЯ ДЕТАЛЕЙ АВТОМОБІЛЯ

*Робота присвячена удосконаленню технологічних процесів відновлення та зміцнення деталей автомобільної та військової техніки на ремонтних виробництвах в умовах військового стану. Ефективність авторемонтного виробництва визначається кількістю деталей, які відновлені і продовжують виконувати свої функції ще з кращими показниками, ніж до відновлення.*

*Ключові слова: автомобілі, карбюратор, цементация, коромисло, покриття, майстерня, двигун.*

DROBOT OLGA, NESTER ANATOLIY

Khmelnytskyi National University

PIDHAICHUK SVITLANA

National Academy of the State Border Service of Ukraine named after B. Khmelnytskyi

### USING INDUCTION HARDENING TO STRENGTHEN CAR PARTS

*The war waged by the Russian state against independent Ukraine posed new difficult tasks for society in the production and repair of damaged military equipment. In the conditions of a shortage of military equipment, carrying out repairs becomes a task that must be performed quickly and efficiently in order to replenish the armed forces of the state.*

*In such difficult conditions, methods of high-speed processing should be used, including methods of surface strengthening of machine parts.*

*The work is devoted to the improvement of technological processes of restoration and strengthening of parts of automobile and military equipment at repair factories under conditions of martial law. The efficiency of auto repair production is determined by the number of parts that are restored and continue to perform their functions with even better indicators than before restoration.*

*Most parts have a residual resource and can be reused as a result of carrying out a relatively small amount of work on their restoration.*

*The main methods of surface strengthening of machine parts are chemical and thermal treatment (cementation, nitriding, nitro-cementation), surface plastic deformation, application of electrolytic coatings and surface hardening - laser and induction using high frequency current. The processes of chemical and thermal treatment are long-term and are not relevant in repair production in wartime. Modern mobile repair workshops prefer equipment and tools that are not metal-intensive and are able to perform technological processes in a short period of time. The most expedient at present is the introduction of technological processes using installations that produce high-frequency current and processes based on it.*

*In the work, the authors conducted research and developed an inductor for hardening the rocker arm made of steel 45. The choice of the type of inductor and its calculation are based on the relevant conditions described in the work.*

*In the work, the authors conducted research and developed an inductor for hardening the rocker arm made of steel 45. The choice of the type of inductor and its calculation are based on the relevant conditions described in the work.*

*Key words: cars, carburetor, cementation, rocker arm, coating, workshop, engine.*

### Постановка проблеми у загальному вигляді та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

В ремонтному виробництві, яке призначене для відновлення чи заміни деталей, що вийшли з ладу, використовують механічну обробку (усувають зношений шар), а відновлені деталі зміцнюють тим чи іншим способом термічної, хіміко-термічної обробки, наплавленням, нанесенням електролітичних покриттів. Ефективність авторемонтного виробництва визначається кількістю деталей, які відновлені і продовжують виконувати свої функції ще з кращим показниками, ніж до відновлення [1].

Більшість деталей має залишковий ресурс і може бути використано повторно в результаті проведення порівняно невеликого об'єму робіт по їх відновленню. Одним із способів зміцнення деталей є цементация - хіміко-термічна обробка, яка основана на дифузійному насиченні поверхневого шару сталевих деталей атомами вуглецю при температурі 900-950°C різноманітними способами нагрівання. При виконанні цементации поверхневий шар деталі збагачується вуглецем до концентрації, яка визначається величинами 0,8-1,1% і дозволяє отримати після гартування, достатньо високу твердість та підвищену зносостійкість поверхневого шару металевого виробу при збереженні характеристик в'язкої серцевини [2].

При проведенні цементации карбюратором (джерелом вуглецю) можуть бути деревне вугілля, яке має зернистість 3,5...10 мм або кам'яновугільний напівкокс, отриманий шляхом карбонізації з торф'яним коксом, до яких додають активатор  $\text{BaCO}_3 + \text{NaCO}_3$ . Технологія процесу наступна. Деталі завантажують у спеціальний сталевий чи чавунний ящик, деталі пересипають карбюратором з усіх боків, вони не повинні стикалися між собою чи стінками ящика. Ящик з деталями закритими піщаним затвором або з вогнетривкою

глиною, завантажується в піч де витримується при температурі 920°C, тривалістю з розрахунку 1 година витримки (після прогріву ящика завантаженого деталями) на 0,1 мм отриманої товщини шару цементатії (для отримання шару, товщиною 1 мм — потрібна витримка в печі 10 годин). При прискореному режимі цементатія проводиться при 980°C. Витримка при такій температурі зменшується у два рази і для отримання шару товщиною 1 мм потрібно 5 годин. Але при цьому утворюється цементитна сітка, яку доведеться прибирати багаторазовою нормалізацією, що продовжує процес підготовки деталей для подальшої обробки та експлуатації, погіршує структуру і властивості сталі [3, 4].

#### **Аналіз останніх досліджень і публікацій**

В умовах проведення військових операцій та постійної роботи по відновленню автомобільного транспорту, бойових машин піхоти, транспортних засобів, гусеничних тягачів і їх агрегатів та іншої бойової техніки такі довготривалі операції по своїх технологічних характеристиках не можуть сприйматись задовільно через постійний дефіцит часу та техніки на позиціях [5]. Але література підготовлена вітчизняними авторами готувалась в умовах мирного часу та не передбачала критичних ситуацій військового стану [6].

#### **Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.**

Враховуючи ситуацію військового часу та проведення бойових дій з військами Російської Федерації у важких кліматичних умовах в Україні в основному виходить література про військові дії підрозділів. Технічна література по організації технічного обслуговування та ремонту в умовах військового часу практично відсутня або стосується дій спеціальних підрозділів не пов'язаних з технічним забезпеченням військ [7, 8]. На основі викладеного та зважаючи на широкий спектр військової техніки різних країн, робота авторів направлена на виправлення ситуації запропонованою статтею.

#### **Формулювання цілей статті**

Метою статті є формування узагальненого технічного обриса рухомої майстерні універсального призначення для технічного обслуговування і ремонту зразків автомобільної техніки (АТ) та бойової техніки (БТ) з високим ступенем їхньої уніфікації базового шасі, та кузовів-фургонів-контейнерів.

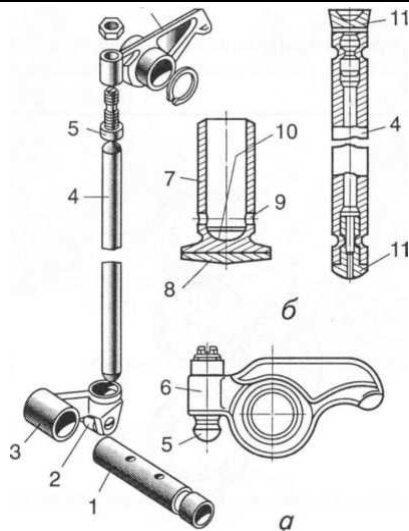
#### **Виклад основного матеріалу**

Серед таких деталей, які активно використовуються в двигунах та достатньо серйозно напружені і можуть втрачати свої властивості є важелі – коромисла газорозподільного механізму автомобіля [9]. Коромисло є ланцюгом пластичного механізму, який утворює обертову пару з нерухомою віссю представлено на рис.1. Коромисло знаходиться в досить напруженому стані, під час передачі зусилля від штанги до клапана, змінюючи напрямок переданого руху, воно піддається дії сил інерції та зносу. Найбільшому зносу піддається бойок коромисла. Під час ремонту в майстерні зношений шар видаляється, а зміцнення відновленої поверхні здійснюють цементатією з наступним гартуванням та низьким відпуском, якщо коромисла, виготовлені із сталі 20. Якщо коромисла виготовлені з середньовуглецевих сталей, таких як сталі 40, 45, 40X, 45XP, то після шліфування бойка, зміцнення поверхні можна здійснювати гартуванням струмом високої частоти. Після цементатії зміцнений шар має глибину 0,5 – 2 мм. Високі показники твердості такі деталі набувають після гартування та низького відпуску. Поверхневий шар деталі має твердість HRC 58-62, серцевина HRC 26 – 38 [10, 11].

В основних вузлах та механізмах автомобіля (особливо військового) є значна кількість деталей, які піддають поверхневому зміцненню (шийки колінчатого валу, розподільного валу, коромисла, осі тощо) для забезпечення експлуатаційних характеристик. Відповідно надійна робота коромисла може бути забезпечена високими показниками міцності  $\sigma_{0,2}$ ,  $\sigma_{0,6}$ , утомної міцності  $\sigma_{-1}$ , ударної в'язкості та високої твердості матеріалу, з якого виготовлене коромисло та деталі представлені на рис.1 [12].

Для реалізації великої кількості різноманітних режимів термічної та комбінованих обробок у різних галузях виробництва використовують широкий спектр обладнання для нагріву, охолодження та інших технологічних операцій для металовиробів різної геометрії, ваги, хімічного складу металів та сплавів. Вибір типу устаткування та його конструктивно-технологічних особливостей для термічної або комбінованих обробок металовиробів визначається у більшій мірі характером виробництва (одиничне, серійне або масове). При індивідуальному характері виробництва деталі виготовляють одиничними екземплярами й мають різні конструктивні форми й розміри. При такому виробництві доцільно застосовувати універсальне обладнання. При серійному виробництві однотипні деталі виготовляють партіями або серіями. Залежно від чисельності однотипних деталей у партії або серії серійне виробництво підрозділяється на дрібносерійне, середньосерійне й багатосерійне. При серійному виробництві витрати на термічну обробку зменшуються у порівнянні з індивідуальним виробництвом. Термічні цехи, наприклад, машинобудівних та інструментальних заводів відносять до багатосерійного виробництва. У цих цехах використовують напівавтоматичні й автоматичні агрегати й лінії. При масовому виробництві однотипні деталі виготовляють безперервним потоком і мають стандартну форму, розміри, вагу й, відповідно, матеріал. Термічна обробка цих деталей також ведеться безперервним потоком. При масовому виробництві необхідно мати спеціалізоване устаткування високої продуктивності з повною автоматизацією процесу. Але ремонт техніки, особливо військової, як правило, повинен виконуватись на військових заводах або в пересувних майстернях, але тут не повинно бути великих партій та обмежений час для підготовки та проведення власне ремонту-армія потребує сучасної техніки, без котрої неможливо проводити бойові дії [13].

Для розгляду відповідних технологічних проблем з ремонтом розглянемо одну з деталей військової автомобільної техніки, коромисло.



А — ЯМЗ; б — КамАЗ; 1 — вісь; 2 — ролик; 3, 7 — штовхачі;  
4 — штанга; 5 — регулювальні гвинти; 6 — коромисла;  
8 — торцева поверхня штовхача; 9 — отвір для зливання  
оливи; 10 — сферична поверхня штовхача;  
11 — сферичні наконечники

Рис. 1. Деталі приводу клапанів дизельних двигунів.

Поверхнєве гартування дозволяє зміцнювати окремі ділянки деталі, процес відбувається швидко, що запобігає окисненню, та деформації виробів.

Технічне обслуговування і ремонт машин у ході проведення маршу на великі відстані, підготовки до бойових дій і під час бойових дій вимагає у першу чергу рух машин без відставання від колони підрозділу і готовність їх до бойового застосування. При цьому повинна бути забезпечена безвідмовна робота механізмів двигуна та ходової частини. Однією з найбільш важливих деталей можна взяти коромисло, яке знаходиться під дією високих динамічних навантажень, від надійності роботи якого залежить надійна робота двигуна бойової техніки - машин піхоти, автомобілів та іншої техніки, що забезпечує виконання завдань на полі бою [15].

Зміцнення бойка коромисла із сталі 45 поверхнєвим гартуванням струмом високої частоти є актуальним і доцільним у ремонтному виробництві автомобільної та бойової техніки. Сталь 45 за показниками міцності задовольняє умовам роботи коромисла. Зміцнення поверхнєвим гартуванням забезпечить високу твердість поверхні бойка і його зносостійкість. Сталь 45 за своєю вартістю та доступністю є поширеним матеріалом для виготовлення деталей військової техніки. Для визначення пропозиції використання швидкісного методу поверхнєвого нагріву деталей в умовах військового часу проведемо необхідні розрахунки для порівняння та прийняття рішень.

В наших розрахунках необхідно визначити конструкцію індуктора та розрахувати його електричні характеристики для нагрівання бойка коромисла одночасним способом, розміром 60x35 (два бойка одночасно), товщиною 30 мм на глибину 3 мм.

Для надійної роботи деталі «коромисло» потрібно забезпечити різні властивості серцевини і поверхні. Сформувати достатню в'язкість і міцність серцевини можна проведенням нормалізації (нагріванням деталі до 840 °С з наступним охолодженням на повітрі). Після нормалізації сталь буде мати такі властивості (табл. 1):

Таблиця 1

Властивості сталі 45 після нормалізації

Властивості					
Межа текучості $\sigma_{0,2}$ , МПа	Межа міцності $\sigma_b$ , МПа	Відносне видовження, $\delta$ , %	Відносне звужування, $\psi$ , %	Твердість, НВ	Ударна в'язкість, Дж/см <sup>2</sup>
360	610	16	40	240	50

Для підвищення твердості та зносостійкості поверхні бойка вибираємо гартування струмом високої частоти. Таке гартування дозволяє одержати твердість загартованої поверхні вищу, ніж після цементації на 2-4 HRC, практично попередити деформацію та окиснення. Змінюючи електричні характеристики нагрівача (частоту струму, потужність) можна в деталях отримувати зміцнений шар товщиною, що змінюється в широких межах.

Після поверхнєвого гартування забезпечується додаткове зміцнення за рахунок створення у виробі сприятливого розподілу залишкових напружень (формування напружень стиску).

Основним обладнанням для виконання гартування вибираємо машинний генератор, який дозволяє нагрівати на глибину до 10 мм. Робочий інструмент, який в нагріванні відіграє головну роль – індуктор.

Конструкція індуктора залежить від поверхні, яку потрібно нагрівати, тому вони за конструктивним виконанням мають різну форму, приклади якої представлені на рис. 2.

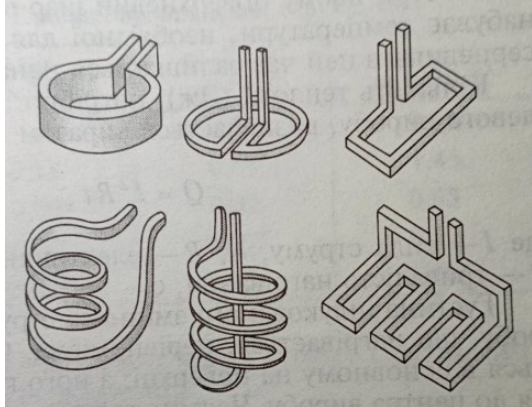


Рис. 2. Основні типи індукторів для нагрівання різних поверхонь (плоских, циліндричних)

Гартування струмом високої частоти має переваги і недоліки. Основними перевагами є те, що нагрівається тільки потрібна частина виробу, що скорочує витрати тепла (у порівнянні з об'ємним нагріванням у печі). Короткочасна дія тепла не викликає перегрівання сталі, знеуглецювання та окиснення. Режими поверхневого високочастотного гартування дозволяють сформувати в поверхневому шарі стискаючі напруження, які підвищують характеристики міцності сталі.

Властивості поверхні вуглецевих сталей після високочастотного нагрівання не поступаються властивостям легованих сталей, що дозволяє замінити леговані сталі більш дешевими вуглецевими, які піддають гартуванню з нагріванням струмом високої частоти.

Трудомісткі процеси хіміко-термічної обробки – цементації, ціанування можуть бути замінені короткочасним процесом поверхневого гартування. Операція поверхневого нагрівання триває в межах 2-15 сек. Основним недоліком індукційного гартування є потреба в розробці та виготовленні індуктора для кожної деталі і проведення експериментальних досліджень для вибору оптимального режиму обробки.

Для виконання завдання нашого дослідження авторами проведені розрахунки (представлені нижче) та розроблено індуктор для гартування бойка коромисла (вибраного як приклад), виготовленого із сталі 45. Вибір типу індуктора і його розрахунок викладені з відповідних умов приведені нижче.

Властивості серцевини і належна структура коромисла сформовані попередньою термічною обробкою. Нами вибрана нормалізація. Для надання поверхні бойка високої твердості та зносостійкості призначаємо після відновлення коромисла гартування з нагріванням струмом високої частоти. Це забезпечить поєднання твердості і міцності поверхневого шару з в'язкою серцевиною. Після гартування в поверхневому шарі буде створена структура, яка здатна чинити ефективний опір зносу. В серцевині та суміжних ділянках не будуть відбуватись зміни структури та властивостей, сформованих попередньою термічною обробкою. Зміцнений поверхневим гартуванням шар позитивно має впливати на загальну міцність деталі, особливо на контактну витривалість.

Знос коромисла відбувається внаслідок здійснення тертя кочення. Структура металу в поверхневому шарі має забезпечити опір зносу. Під час тертя кочення в зоні контакту діють нормальні зусилля, які сприяють виникненню в поверхневому шарі дотичних напружень. Ці напруження стають причиною появи мікротріщин - контактної втоми, сприяють відшаруванню та викрихчуванню невеликих об'ємів металу в поверхневих шарах. Переважно місцями виникнення зон руйнування є поверхня і ділянки, де діють найбільші дотичні напруження. Як правило, глибина цієї зони знаходиться в межах 1 мм. Тому поверхневий шар відповідає за зносостійкість і для підвищення контактної витривалості потрібно підвищувати міцність і твердість матеріалу деталі в межах цього шару. Порівняно з хіміко-термічною обробкою (цементацією, ціануванням) поверхневе гартування не поступається за якістю сформованих властивостей поверхневих шарів. Температура нагрівання коромисла для індукційного гартування (870–910°C) вибрана згідно рекомендацій табл. 2.

Таблиця 2

Температура нагрівання деяких марок сталей при поверхневому гартуванні, °C

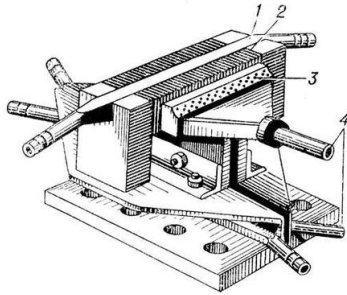
Марка сталі	Попередня термічна обробка	Температура при нагріванні у печі, °C	Температура, °C		
			10	3	1
35	Відпал нормалізація	840 – 860	880 – 900	900 – 940	940 – 980
			860 – 880	880 - 920	920 - 960
45	Відпал	810 – 830	850 - 870	870 - 910	910 - 950
50	Нормалізація поліпшення		830 -850	850 – 890	890- 930
			810 - 830	830 -870	870 -910

Охолодження нагрітої деталі має забезпечуватись спреєром, який монтується разом з індуктором. Для рівномірного розподілу води по поверхні нагрітої деталі передбачені похилі отвори, які направляють воду під кутом до поверхні. Нами використано індуктор – спреєр, який є нерухомим відносно поверхні, яку загартовують. В таких випадках після гартування можливе утворення мікротріщин. Як правило, вони неглибокі та тонкі. Поверхневий шар з подібними дефектами видаляють шліфуванням.

Вибір режиму відпуску загартованих деталей. Як уже зазначалось, особливістю відпуску після гартування з нагріванням струмом високої частоти є те, що більша частина перетворень, які мають місце під

час відпуску, відбувається у процесі охолодження під час гартування та після його закінчення. Враховуючи цей факт, температуру та тривалість відпуску потрібно скоротити. Дослідженнями встановлено, що структура виробів після високочастотного гартування в більшій степені відповідає структурі відпущеної сталі, ніж загартованій при звичайному нагріванні. Отже, сталь 45 не має внутрішніх напружень, які потрібно усувати під час відпуску тому після гартування коромисло піддавати відпуску не будемо.

Запропонований авторами індуктор та його загальний вигляд представлено на рис.3



- 1 – індукуючий дріт, який створює магнітне поле, потрібне для індуктування струму в деталі, яку нагрівають;  
2 – шини, що підводять струм; 3 – колодки, які призначені для з'єднання індуктора з понижувальним трансформатором; 4 – пристрою для подачі води, яка охолоджує індуктор та нагріту деталь (для її гартування).

Рис. 3. Загальний вигляд індуктора для нагрівання плоских поверхонь

У ремонтному виробництві струми середньої і високої частоти застосовуються для наскрізного і поверхневого нагрівання деталей з чавуну і сталі для гартування, перед гарячою деформацією. Індуктор є основним елементом високочастотної нагрівальної установки, він багато в чому визначає якість гартування і економічність процесу. Можна виділити наступні типи індукторів: для зовнішніх циліндричних поверхонь, для плоских поверхонь, для внутрішніх циліндричних поверхонь, індуктори для тіл складної форми.

Будь-який індуктор містить індукуючий дріт, який створює магнітне поле, шини для підводу струму, контактні колодки для приєднання трансформатора, пристрій (спрейер) для подачі води, що охолоджує індуктор і нагріту поверхню. Ширина індукуючого дроту при нагріванні всієї деталі чи окремого її елемента береться приблизно рівною ширині зони нагрівання. Якщо нагрівається ділянка деталі, то ширина дроту вибирають на 10-20% більшою за ширину ділянки, що дозволяє компенсувати тепловідвід у сусідні зони і ослаблення магнітного поля у країв індуктора. Для підвищення електричного ККД, а також cosφ зазор між індуктуючим дротом і поверхнею нагрівання повинен бути мінімальним.

Всі струмоведучі елементи повинні виготовлятися з міді – матеріалу високої електропровідності.

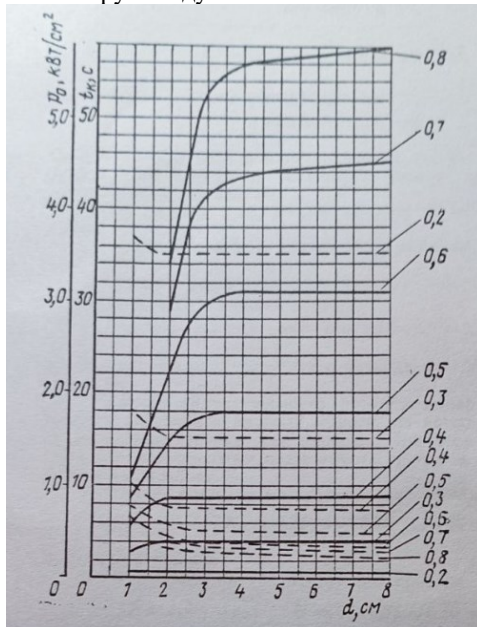


Рис. 4. Залежність тривалості нагрівання  $t_k$  (суцільні лінії) і питомої потужності  $p_0$  (штрихові лінії) від товщини плоскої деталі  $d$  при частоті 2500 Гц. Цифри на кривих показують глибину загартованого шару, см

Розрахунок проводимо для гартування деталі одночасним способом плоского тіла з розмірами 60x35 мм та товщиною 30 мм на глибину 3 мм при частоті 2500 Гц.

Основною частиною індуктора є індукуючий дріт, конструкція якого і визначає результат гартування. Проведемо для прикладу орієнтовний розрахунок індуктора для нагрівання деталі.

Індукційне нагрівання засноване на поглинанні електромагнітної енергії металевими тілами, які розміщені в змінному магнітному полі. Згідно закону електромагнітної індукції в тілі (заготівці, виробі) наводиться електрорушійна сила (ЕРС), під дією якої в тілі виникають вихрові струми, що нагрівають тіло. Основні елементи установок індукційного нагрівання – це джерело живлення та робочий орган (індуктор).

Установки індукційного нагрівання поширені на ремонтних підприємствах держави.

Охолодження індуктора здійснюється наступним способом: у індуктор рідина пропускається крізь трубки, припаяні до струмоведучих шин і приєднувальних колодок, і далі через отвори в дротах надходить на поверхню загартовування. Необхідно, щоб трубки і порожнини для подачі рідини перекривали всі деталі індуктора, в яких виділяється тепло, таким чином, щоб за час охолодження температура всіх елементів знизилася до вихідної. Найбільшого поширення набули індуктори циліндричного, овального та щілинного типу.

Циліндричні індуктори найбільш прості по конструкції, надійні, володіють високим повним ККД і забезпечують мінімальне окислення заготовок внаслідок слабого доступу повітря в зону нагрівання. Цей тип індуктора найбільш поширений на практиці.

Щілинні індуктори мають більш низькі енергетичні показники і їх застосовують у тих випадках, коли зручність транспортування заготовок має особливе значення. Керуючись усім вищевикладеним, вибираємо індуктор нагрівальний періодичної дії.

Для початку розрахунку приймемо ккд індуктора  $\eta=80\%$  [1]. Напряга на 1 см довжини індукуючого провідника при питомій потужності 1 кВт/см<sup>2</sup> буде дорівнювати  $U_o=0,75$  В/см, а струменева - 1 см ширини пазу в магнітопроводі при питомій потужності 1 кВт/см<sup>2</sup> дорівнює  $I_o=3400$ А/см.

1. З рисунку 4 знаходимо час нагрівання  $t_k^1$  та питому потужність  $p_o$ . Відповідно вибрані:

$$t_k^1 = 4c \text{ та } p_o=0,4 \text{ кВт/см}^2.$$

2. Знаходимо ширину пазу в магнітопроводі

$$a=0,64 \cdot P_{\tau} / l_n p_o$$

де  $P_{\tau}$ - потужність генератора. Задаємо потужність 50 кВт.

$l_n$ - довжина загартованої полоси, яка приблизно дорівнює довжині магнітопроводу, см, тобто  $l_n = 60$  мм

Підставивши значення, отримаємо з розрахунку ширину пазу:

$$a=0,64 \cdot P_{\tau} / l_n p_o = 0,64 \cdot 50 / 6 \cdot 0,4 = 32 / 2,4 = 13,33 \text{ см}$$

3. Знаходимо ширину індукторного дроту (при ізоляції по 0,15 см з кожної сторони)

$$b=a-2 \cdot \Delta b$$

де  $b$  - ширина дроту, що індукуює, см;  $\Delta b$  - товщина ізоляції, см

$$\text{Отримуємо } b=a-2 \cdot \Delta b=13,33 - 2 \cdot 0,15=13,03 \text{ см}$$

4. Висота проводу, що індукуює, вибирається виходячи з сортаменту круглих мідних трубок, з яких виготовляється прямокутна трубка. При цьому беремо до уваги, що для пропускання охолоджуючої води трубка в світловому прорізі повинна мати не менше 0,5 см. Виберемо трубку з стандартним розміром 9,53 мм.

5. Визначаємо ширину черевика магнітопроводу  $c=(0,3 \dots 0,75) a=(0,3 \dots 0,75) 13,33=3,99 \dots 9,9975$  см

Вибераємо ширину черевика  $c = 9$  см

6. Визначаємо напругу індукторного проводу з виразу:

$$U \approx I_n \cdot U_o \cdot \sqrt{p_o}$$

Підставивши значення, отримуємо:

$$U \approx 6 \cdot 0,75 \cdot \sqrt{0,4} = 6 \cdot 0,75 \cdot 0,63 = 2,835 \text{ В}$$

7. Струм в індукторі визначимо за формулою:

$$I_n \approx a \cdot I_o \cdot \sqrt{p_o}$$

$$I_n \approx 13,33 \cdot 3400 \cdot \sqrt{0,4} = 13,33 \cdot 3400 \cdot 0,63 = 28552,86 \text{ А}$$

8. Визначаємо реактивний опір шин, що підводять струм, з розмірами

$$l_{ш}=6 \text{ см} \quad b_1=4 \text{ см} \quad b_2=18,5 \text{ см}$$

Останній розмір визначається довжиною контактної колодки понижуючого трансформатора. При частоті  $f = 2500$  Гц довжина колодки зазвичай дорівнює 18,5 см

$x_{ш}$  - реактивний опір шин для передачі струму, Ом;  $f$  - частота, Гц

$l_{ш}$  - довжина шин для передачі струму, см

$\Delta_1$  - глибина проникнення струму в мідь, см

$b^1$  - еквівалентна ширина шини

$$b^1 = (18,5+4)/2=11,25 \text{ см}$$

$$x_{ш} = 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot f \cdot l_{ш} \cdot (2,5 \lg \frac{4 \cdot l_{ш}}{b^1 + \Delta_1} + 0,5)$$

Підставивши значення отримуємо:

$$x_{ш} = 2,5 \cdot 10^{-8} \cdot 2500 \cdot 6 \cdot (2,5 \frac{4 \cdot 6}{11,39 + 0,14} + 0,5) = 0,21 \cdot 10^{-3} \text{ Ом}$$

9. Падіння напруги на шинах для передачі струму

$$U_{ш} = x_{ш} \cdot I_n$$

Запишемо цифрові значення, отримуємо:

$$U_{ш} = 0,21 \cdot 10^{-3} \cdot 28552,86 = 5,9961 = 6 \text{ В}$$

10. Напряга на індукторі

$$U_n = U + U_{ш}$$

$$U_n = 2,835 + 6 = 8,835 \text{ В}$$

11. Потужність, яка підводиться до індуктора

$$P_n = p_o \cdot l_n \cdot a / \eta_n = 0,4 \cdot 6 \cdot 13,33 / 0,8 = 39,99 \text{ кВт}$$

$$\cos \varphi = P_n \cdot 10^3 / U_n I_n = 39,99 \cdot 10^3 / 8,835 \cdot 28552,86 = 0,15$$

Проведені таким чином розрахунки дозволять достатньо швидко з невеликими витратами часу визначити основні параметри процесу індукційного нагріву деталей.

### Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

Індукційне нагрівання деталей для гартування у порівнянні з нагріванням у печах має багато переваг, що є причиною більш широкого його впровадження у ремонтному виробництві.

У зв'язку з тим, що термічна обробка є одним з найбільш ефективних видів фінішної а саме такими ситуаціями є війни та інші екстремальні-обробки готових металовиробів, її роль надзвичайно підвищується в період найбільш важких ситуацій для народів і держав у ситуації, які вимагають величезної кількості високоякісного металу і виробів з нього. І в наш час для підтримки достатньої обороноздатності армії України

потрібна високоміцна броня і якісні металовироби для танків, надводних і підводних суден, літаків, космічних апаратів та іншої військової і цивільної техніки.

### Література

1. Абрамчук Ф. І., Гутаревич Ю. Ф., Долганов К. Є., Тимченко І.І. Автомобільні двигуни : підручник. К. : Арістей, 2006. 476 с. ISBN 966-8458-26-5.
2. Відновлення деталей машин та конструкцій: конспект лекцій. Уклад. І.В. Смирнов. К. : НТУУ «КПІ», 2012. 147 с.
3. Будник А. Ф. Типове обладнання термічних цехів та дільниць : навч. посіб. Суми : СумДУ, 2008. 212 с. ISBN 978-966-657-185-7
4. Дяченко С. С., Дошечкіна І. В., Мовлян А. О., Плешаков Е. І. Матеріалознавство : підручник. Х. : ХНАДУ, 2007. 440 с.
5. Ткачук П.П., Русіло П.О., Костюк В.В. Арміські автомобілі. Ремонт військової автомобільної техніки : навчальний посібник . Львів : Академія сухопутних військ, 2013. 522 с.
6. Кальченко В.І., Кальченко В.В., Венжега В.І. Відновлення деталей автомобілів : Навчальний посібник. Чернігів : ЧНТУ, 2013. 192 с. ISBN 966-311-003-1.
7. Кузьмінський Р.Д., Шарибура А.О. Технічний сервіс. Ремонт електрообладнання тракторів і автомобілів. Львів : Сполом, 2017. 376 с. ISBN 978-966-919-290-5.
8. Сукач М.К. Технічний сервіс машин : Навчальний посібник. К. : Ліра, 2017. 288 с.
9. Формальчик Є. Ю., Качмар Р. Я. Основи технічного сервісу транспортних засобів : навч. посіб. Друге видання, змінене та доповнене. Львів : Львівська політехніка, 2017. 324 с.
10. Дробот О. С., Підгайчук С. Я., Яворська Н. М., Нестер А. А., Багрій О. В. Використання термоциклічного оброблення для підвищення втомної міцності цементованих деталей. Металофізика та новітні технології, 2023. Т. 45, вип. 5. С. 647-661. ISSN 1024-1809.
11. Батигін Ю.В., Сабокар О.С., Стрельникова В.А. Устаткування для практичної реалізації індукційного нагріву в сучасних технологіях машинобудування. Вінниця : Вісник Вінницького політехнічного інституту. 2017; 4 (133) : 70 – 4.
12. Павлише В. Т. Основи конструювання та розрахунок деталей машин : підручник. 2-е вид., перероб. Львів : Афіша, 2003. 560 с.
13. Старцев В.В., Рогозін І.В., Литовченко Д.М. Перспективи створення сучасної рухомої автомобільної ремонтної майстерні вітчизняного виробництва. Системи озброєння і військова техніка: Харків : ХУПС, 2016. № 2(46). С. 150–154.
14. Дробот О.С., Підгайчук С.Я., Боровик Л.В. Технологія конструкційних матеріалів і основи матеріалознавства в технічних системах охорони державного кордону : навч. посіб. Хмельницький : НАДПСУ, 2019. 264 с.
15. Русіло П. О., Костюк В. В., Калінін О. М., Варванець Ю. В. Сучасний стан та перспективи розвитку рухомих засобів технічного обслуговування і ремонту автомобільної та бронетанкової техніки. Харків : Вісник Національного технічного університету «ХПІ». 92 Серія: Транспортне машинобудування, № 29 (1305) 2018. С. 92-99.

### References

1. Abramchuk F. I., Hutarevych Yu. F., Dolhanov K. Ye., Tymchenko I.I. Avtomobilni dvyhuny : pidruchnyk. K. : Aristei, 2006. 476 s. ISBN 966-8458-26-5.
2. Vidnovlennia detalei mashyn ta konstrukttsii: konspekt lekttsii. Uklad. I.V. Smyrnov. K. : NTUU «KPI», 2012. 147 s.
3. Budnyk A. F. Typove obladdannia termichnykh tsekhiv ta dilynys: navch. posib. Sumy: SumDU, 2008. 212 s. ISBN 978-966-657-185-7
4. Diachenko S. S., Do-shchechkina I. V., Movlian A. O., Pleshakov E. I. Materialoznavstvo : pidruchnyk. Kh. : KhNADU, 2007. 440 s.
5. Tkachuk P.P., Rusilo P.O., Kostyuk V.V. Armiiski avtomobili. Remont viiskovoi avtomobilnoi tekhniki : navchalnyi posibnyk . Lviv : Akademiia sukhoputnykh viisk, 2013. 522 s.
6. Kalchenko V.I., Kalchenko V.V., Venzheha V.I. Vidnovlennia detalei avtomobiliv : Navchalnyi posibnyk. Chernihiv : ChNTU, 2013. 192 s. ISBN 966-311-003-1.
7. Kuzminskyi R.D., Sharybura A.O. Tekhnichniy servis. Remont elektroobladdannia traktoriv i avtomobiliv. Lviv : Spolom, 2017. 376 s. ISBN 978-966-919-290-5.
8. Sukach M.K. Tekhnichniy servis mashyn : Navchalnyi posibnyk. K. : Lira, 2017. 288 s.
9. Fornalchik Ye. Yu., Kachmar R. Ya. Osnovy tekhnichnoho servisu transportnykh zasobiv : navch. posib. Druhe vydannia, zminene ta dopovnene. Lviv : Lvivska politekhnika, 2017. 324 s.
10. Drobot O. S., Pidhaichuk S. Ya., Yavorska N. M., Nester A. A., Bahrii O. V. Vykorystannia termotsyklichnoho obrobлення dlia pidvyshchennia vtomnoi mitsnosti tsementovanykh detaliv. Metalofizyka ta novitni tekhnolohii, 2023. T. 45, vyp. 5. S. 647-661. ISSN 1024-1809.
11. Batyhin Yu.V., Sabokar O.S., Strelnikova V.A. Ustatkuvannia dlia praktychnoi realizatsii induktsiinoho nahrivu v suchasnykh tekhnolohiiakh mashynobuduvannia. Vinnytsia : Visnyk Vinnytskoho politekhnichnoho instytutu. 2017; 4 (133) : 70 – 4.
12. Pavlyshche V. T. Osnovy konstruiuvannia ta rozrakhunok detalei mashyn : pidruchnyk. 2-e vyd., pererob. Lviv : Afisha, 2003. 560 s.
13. Startsev V.V., Rohozin I.B., Lytovchenko D.M. Perspektyvy stvorennia suchasnoi rukhomoi avtomobilnoi remontnoi maisterini vitchyznianoho vyrobnytstva. Systemy ozbroiennia i viiskova tekhnika: Kharkiv : KhUPS, 2016. № 2(46). S. 150–154.
14. Drobot O.S., Pidhaichuk S.Ia., Borovyk L.V. Tekhnolohiia konstrukttsiinykh materialiv i osnovy materialoznavstva v tekhnichnykh systemakh okhorony derzhavnogo kordonu : navch. posib. Khmelnytskyi : NADPSU, 2019. 264 s.
15. Rusilo P. O., Kostyuk V. V., Kalinin O. M., Varvanets Yu. V. Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku rukhomykh zasobiv tekhnichnoho obsluhovuvannia i remontu avtomobilnoi ta bronetankovoi tekhniki. Kharkiv : Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». 92 Serii: Transportne mashynobuduvannia, № 29 (1305) 2018. S. 92-99.