



УКРАЇНА

(19) **UA** (11) **45133** (13) **U**
(51) МПК (2009)
C21D 5/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ**ОПИС**
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту**(54) ПРОЦЕС ЗМІЦНЕННЯ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ**

1

2

(21) u200905440

(22) 29.05.2009

(24) 26.10.2009

(46) 26.10.2009, Бюл.№ 20, 2009 р.

(72) ІСЯК КОСТЯНТИН ПЕТРОВИЧ, ЛОБАНОВ
ВІКТОР КОСТЯНТИНОВИЧ, ПАШКОВА ГАЛИНА
ІВАНІВНА(73) ДЕРЖАВНЕ ПІДПРИЄМСТВО "ЗАВОД ІМЕНІ
В.О. МАЛИШЕВА"

(57) Процес зміцнення колінчастих валів, переважно з високоміцного чавуну з перлітно-феритною

структурою, що включає індукційний нагрів до гартівних температур, гартування і відпуск, який **відрізняється** тим, що перед індукційним нагрівом проводять попередній підігрів поверхневих шарів шийок вала до температури 350-400 °С, гартування проводять на повітрі шляхом самовідводу тепла в тіло вала, а відпуск проводять при температурі 370±10 °С, після чого виконують остаточну механічну обробку і поверхнєве пластичне деформування галтелей і поверхні шийок вала.

Корисна модель відноситься до термічної та деформаційної обробки металів, переважно великогабаритних деталей, і може бути використана в машинобудуванні при виготовленні деталей типу вал.

Відомий процес обробки колінчастих валів, що включає поверхнєве гартування шийок, шліфування шийок з радіусом галтельних переходів 0,1-0,5мм, холодну пластичну деформацію галтелей по радіусу 0,01-0,025 діаметра шийки і остаточну електромеханічну обробку загартованих ділянок шийок і галтельних переходів [Авт.свід. СРСР №585224, МПК: C21D9/30, C21D7/14, опубл. 25.12.1977].

Недоліком цього процесу є неможливість обробки великогабаритних деталей, типу вал, виготовлених з високоміцного чавуну, а також можливість утворення в деталі тріщин по причині наявності в процесі охолодження розігрітої деталі макроскопічних напружень.

Найбільш близьким технічним рішенням, яке прийнято за прототип, є процес термічної обробки деталей з високоміцного чавуну переважно з феритно-перлітною структурою, що включає індукційний нагрів до гартівних температур, підстуження на повітрі до температури вище A_c^K на 15-25°С, охолодження водяним душем при температурі 18-30°С, самовідпуск при 250-300°С і охолодження на повітрі [Авт.свід. СРСР №1475935, МПК: C21D5/00, опубл. 30.04.1989].

Однак, і при такому температурно-часовому режимі проведення термообробки деталей утворюються макроскопічні напруження, які призводять до погіршення якості поверхні по причині з'явлення тріщин та інших непередбачуваних порушень поверхні деталі. Також цей процес не дає можливості обробки великогабаритних деталей (валів), тому що не забезпечує необхідний рівень характеристик міцності та негативно позначається на їхньому опорі утомі й зносостійкості.

В основу корисної моделі поставлено завдання вдосконалення процесу зміцнення колінчастих валів з високоміцного чавуну, в якому зміна умов обробки струмами високої частоти (СВЧ) дозволить збільшити глибину зміцненого шару, що суттєво підвищить поверхнєву твердість і зносостійкість колінчастих валів, а використання пластичного деформування поверхні дозволить забезпечити необхідний рівень опорі утомі.

Поставлене завдання досягається тим, що в процесі зміцнення колінчастих валів, переважно з високоміцного чавуну з перлітно-феритною структурою, що включає індукційний нагрів до гартівних температур, гартування і відпуск, відповідно до корисної моделі перед індукційним нагрівом проводять попередній підігрів поверхневих шарів шийок вала до температури 350-400°С, гартування проводять охолодженням на повітрі шляхом самовідводу тепла в тіло вала, а відпуск проводять при температурі 370±10°С, після чого виконують оста-

(13) **U**
(11) **45133**
(19) **UA**

точну механічну обробку і поверхнєве пластичне деформування (ППД) галтелей і поверхні шийок вала.

Використання процесу, що заявляється, у порівнянні з найближчим аналогом, забезпечує необхідний рівень міцності, зносостійкості й опору утоми колінчастих валів транспортних дизелів типу 10Д100, що підтверджують результати експериментальних досліджень, проведених у лабораторних умовах.

Процес, що заявляється, здійснюється наступним чином.

Приклад.

Як матеріал при проведенні досліджень використовували модифікований магнієм (Mg) високоміцний чавун з кулястою формою включень графіту такого хімічного складу, мас. %: 2,8...3,8 C; 1,8...2,2 Si; 0,5...1,45 Mn; 0,4...0,6 Ni; $\leq 0,15$ Cr; $\leq 0,1$ P; $\leq 0,025$ S; 0,04...0,1 Mg; основа -Fe. При виготовленні колінчастих валів виплавку чавуну здійснювали в електричній дуговій печі типу ДС-6Н1 ємністю до 6 тонн. Відлив колінчастих валів виконували у двомісних опоках при температурі початку заливки 1360-1340°C. Через 7 годин після заливки форми розкривали і здійснювали інтенсивне охолодження відливок аераторами. Після вибивки з форми відливки відпускали при температурі 680±20°C протягом 6 годин. Піддані обробці й очищенню відливки направляли для γ -графірування на установці «Гаммарид-192» з метою виявлення внутрішніх дефектів, проводили дослідження структури й рівня механічних властивостей, після чого механічно обробляли.

Механічно оброблені вали розрізали на відсіки й робили зміцнювальну обробку за режимами, запропонованими у прототипі, а також у процесі, що заявляється.

Перший відсік відповідно до прототипу піддавали індукційному нагріву до температури 980°C зі швидкістю 20-550°C/с, потім здійснювали підступування на повітрі до температури вище A_c^k на 15-25°C, охолодження водяним душем при 18-30°C, самовідпуск при 250-300°C і охолодження на повітрі. Потім робили остаточну механічну обробку відсіку.

Другий відсік термічно зміцнювали за режимом, запропонованим у процесі, що заявляється.

Перед індукційним нагрівом до гартівної температури 980°C здійснювали попередній підігрів поверхневих шарів шийок відсіку вала до температури 350-400°C, гартування робили на повітрі шляхом самовідводу тепла в тіло вала. З метою зменшення залишкових напружень у загартованому струмами високої частоти шарі здійснювали відпуск відсіку вала за режимом: нагрів до температури 80°C, підйом температури до 370±10°C і витримка протягом 12 годин, охолодження з піччю до 200°C і подальше охолодження на повітрі.

Після остаточної механічної обробки виконували поверхнєве пластичне деформування обкатуванням роликками галтельних переходів від шийки до щік і загартованої поверхні шийок. Зміцнення ППД загартованих СВЧ колінчастих валів здійснювали по оптимальній технологічній схемі. Діаметр роликів для обкатування циліндричної поверхні корінних шийок становив 57,5мм, профільний радіус поперечного перерізу деформуючого елемента прийнятий 17,3мм. Для шатунних шийок відповідні параметри були рівні 48,5мм і 14,5мм. Зусилля обкатування становило 42...48 кН, частота обертання вала - 10-15хв⁻¹. Один з роликів мав лівий напрямок спіралі, другий - правий. Третій ролик був підтримуючим і мав циліндричну робочу поверхню.

Оброблені таким чином відсіки досліджували з метою вивчення мікроструктури, розподілу твердості, глибини зміцненого шару й визначення характеристик зносостійкості.

У зв'язку з тим, що однією з визначальних експлуатаційних характеристик колінчастих валів є опір утомі, досліджували розподіл залишкових напружень по довжині шийок і утомні характеристики валів. Зокрема, встановлювали взаємозв'язок значень обмежених границь витривалості відсіків колінчастих валів з величиною залишкових напружень у них.

Для дослідження структури і твердості матеріалу застосовували методи металографічного аналізу, випробування на зносостійкість проводили на машині тертя СМЦ-2 за схемою «ролик-колодка» в парі з алюмінієвим сплавом АМО 1-20.

Визначення залишкових макронапружень у шийках колінчастих валів виконували методом рентгенівської дифрактометрії ($\sin^2\psi$ -метод) на дифрактометрі ДРОН-3М у фільтрованому випромінюванні Cr-анода.

Опір утомі при згині відсіків валів вивчали з використанням універсальної випробувальної машини типу МУП-100, що забезпечує знакопостійний цикл навантаження у площині одного з кривошипів колінчастого вала. База випробувань становила 5·10⁶ циклів, коефіцієнт асиметрії циклу 0,3. Частота навантаження 7,5Гц.

Отримані результати представлені у таблицях 1 і 2.

З наведених у таблиці 1 даних випливає, що застосування запропонованого процесу зміцнення колінчастих валів у порівнянні з прототипом забезпечує поліпшення структури, підвищення значень поверхневої твердості, зносостійкості та збільшення глибини зміцненого шару. Поверхнєве пластичне деформування загартованих поверхонь призводить до додаткового росту поверхневої твердості й підвищенню характеристик зносостійкості.

Таблиця 1

Досліджуваний параметр	Спосіб зміцнення колінчастих валів		
	відомий (по прототипу)	що заявляється	
		до ППД	після ППД
Мікроструктура	мартенсит дрібногочастий та безгочастий	мартенсит безгочастий	мартенсит безгочастий
Твердість HRC ₃	35...40	42...49	47...54
Глибина загартованого шару, мм	3-4	4,5-5	4,5-5
Зносостійкість	зношування ролика, г	0,0020	0,00110
	зношування колодки, г	0,006	0,00322
Глибина зміцненого ППД шару, мм	-	-	0,2...0,25
Рівень залишкових напружень, МПа	+ 300...+850	+ 100...+ 550	-400...-130

Таблиця 2

№ п/п	Спосіб зміцнення	Величина залишкових напружень, МПа	Границя обмеженої витривалості, МПа
1	Без зміцнення	-190...+ 85	90
2	Загартування СВЧ на глибину 4 мм, відпуск при 370 ± 10°C	+ 100...+ 550	70
3	Загартування СВЧ, відпуск при 370 ± 10°C, ППД обкатуванням роликами галтелей і шийок	-400...-130	170

Однак загартування СВЧ при зміцненні як по прототипу, так і в процесі, що заявляється, призводить до утворення в поверхневих шарах відсіків чавунних колінчастих валів залишкових напружень розтягування (див. табл.1) і, отже, до зниження опору утомі (див. табл.2).

ППД обкатуванням роликами загартованих СВЧ поверхонь викликає виникнення в поверхневих шарах стискувальних залишкових напружень, що забезпечує підвищення опору утомі в 2,4 рази (див. табл. 2).

Необхідність попереднього підігріву валів перед нагрівом під загартування обумовлена їх великими геометричними розмірами й масою, оскільки в результаті нагріву з високою швидкістю поверхневих шарів шийок до температури 800-900°C формуються значні внутрішні напруження, які призводять до виникнення тріщин у загартованому шарі. Експериментальні дослідження показали, що попередній підігрів відсіків валів до температури 300°C супроводжується появою тріщин після загартування на трьох відсіках з 10-ти. При попередньому нагріві до температури 450°C досягається ефект відсутності тріщин після загартування, але час нагрівання збільшується на 6с, а відповідно зростають на 15% витрати електроенергії.

Таким чином, оптимальним температурним інтервалом попереднього підігріву поверхневих шарів вала перед загартуванням СВЧ є область температур 350-400°C.

Експериментальні дослідження, проведені на зразках діаметром 70,8мм, виготовлених з висо-

комічного чавуну для колінчастих валів, показали, що охолодження після загартування СВЧ водняним душем через щільний кільцевий спреєр забезпечує поверхневу твердість зразків у межах 49...59 HRC₃ і глибину зміцнення порядку 6мм. При охолодженні на повітрі поверхнева твердість становить 50...57 HRC₃ при глибині загартованого шару 6-7мм. Таким чином, для відливок колінчастих валів з високомічного легованого чавуну охолодження водняним душем після загартування не потрібно, тому що здійснення охолодження на повітрі за рахунок тепловідводу в масу вала й навколишнє середовище забезпечує необхідні структурні перетворення в чавуні й одержання заданої поверхневої твердості.

Металографічне дослідження високомічного чавуну відсіків колінчастих валів після поверхневого загартування струмами високої частоти показало, що структура матриці на глибині до 5мм являє собою мартенсит різної гочастості, в основному безгочастий, місцями є структура з характерним рисунком вихідного перліту. Глибина зміцненого шару становить 4...5мм, твердість поверхні після загартування перебуває в межах 48...53 HRC₃.

Вибір температури відпуску після загартування в межах 370±10°C обумовлений необхідністю одержання значень твердості, що відповідають вимогам ТУ на виготовлення колінчастих валів з високомічного чавуну (42...49 HRC₃), і зниження рівня залишкових напружень, які виникли в результаті загартування СВЧ.

Результати дослідження наведені в таблиці 3.

Таблиця 3

№ пп	Температура відпуску, °С	Значення твердості HRC _с	Величина залишкових напружень, МПа
1	350	49...51	+ 180...+ 650
2	360	46...49	+ 100...+ 550
3	370	48...49	+ 100...+ 500
4	380	44...48	+ 80...+450
5	390	38...40	+ 50...+350

Результати металографічного дослідження і виміру твердості свідчать про те, що оптимальне сполучення значень твердості й залишкових напружень у шийках валів досягається при температурі відпуску 360...380°С.

Використання запропонованого процесу термічної обробки колінчастих валів з високоміцного чавуну з перлітно-феритною структурою забезпечує необхідну глибину загартованого шару, характеристики мікроструктури, значення поверхневої твердості й зносостійкості, що відповідають вимогам ТУ на виготовлення колінчастих валів транспортних дизелів.

Наступне ППД обкатуванням роликми галтелей і циліндричної частини шийок, яке забезпечує формування стискувальних залишкових напру-

жень, призводить до суттєвого підвищення опору утомі (в 2,4 рази в порівнянні з варіантом без зміцнення ППД).

Експлуатаційні випробування валів на розгорнутих двигунах підтвердили результати лабораторних досліджень.

Досягнуто підвищення ресурсу роботи двигуна до першого перебирання в 2 рази (з 200 тис. км пробігу тепловоза до 400 тис. км).

Таким чином, процес зміцнення колінчастих валів, що пропонується, дозволяє досягти технічного результату, а саме підвищити поверхневу твердість і зносостійкість колінчастих валів при одночасному забезпеченні необхідного рівня опору утомі.