

УДК 669.35: 665: 620.1

## ЗМІЦНЕННЯ ШИЙОК ВЕЛИКОГАБАРИТНИХ КОЛІНЧАСТИХ ВАЛІВ<sup>1</sup>

*А. С. Кириченко*

*Національний технічний університет України*

*„Київський політехнічний інститут”*

Наведена електролітно-плазмова технологія для зміцнення локальних поверхонь шийок колінчастих валів для дизельних машин.

Приведена электролитно-плазменная технология для укрепления локальных поверхностей шеек коленчатых валов для дизельных машин.

Electrolyte-plasma technology is resulted for strengthening of local surfaces of necks crankshafts for the diesels machines.

В якості опори колінчастих валів дизелів використовують підшипники ковзання. Найбільш навантажені підшипники у момент запуску і виключення двигуна, коли на поверхнях, що зношуються, відсутній розділовий змащувальний шар і має місце безпосередній контакт поверхонь шийки валу і вкладиша. Це пред'являє високі вимоги до антифрикційних властивостей поверхонь шийки валу.

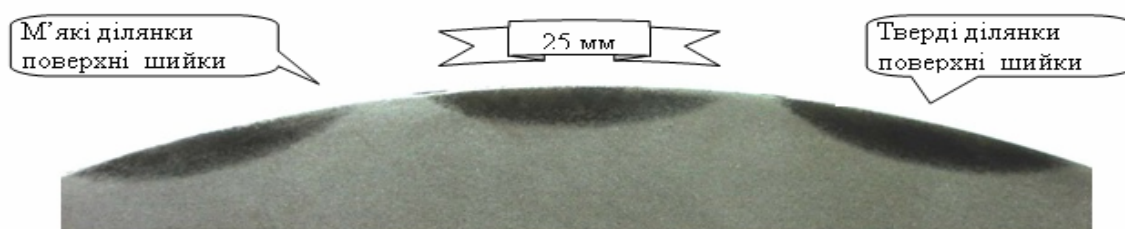


Рис. 1. Макрошліф перетину валу, після електролітної плазмової обробки

В інституті Електрозварювання ім. Е.О.Патона НАНУ і АООТ «ПЕРВОМАЙСКДИЗЕЛЬМАШ» розробили і виготовили електролітно-плазмову технологію зміцнення шийок колінчастих валів для дизельних машин. По цій технології на робочій поверхні шийки валу створюють тверді ділянки, шириною 25 мм, які періодично чергуються з м'якими ділянками поверхні, рис.1. Тверді ділянки поверхні мають мікросталічну структуру з

<sup>1</sup> Робота виконувалась під керівництвом: - доктора технічних наук, професора Д.Ф.Чернеги, НТУУ «КПІ» і доктора технічних наук Тюріна Ю.М., ІЕЗ ім. Е.О.Патона НАНУ

плавним переходом до структури основного металу, рис.2. Твердість зміцненої ділянки поверхні 55-60 HRC. Товщина зміцненого шару 5 мм.

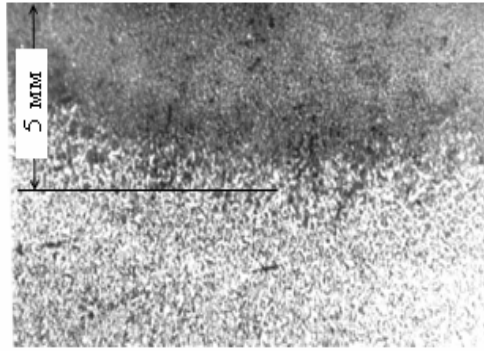


Рис. 2. Мікроструктура зміцненої ділянки валу

Тверді ділянки мають нижчу оброблювальність, ніж м'які, що після абразивної обробки, забезпечує формування спеціального рельєфу, см.рис.1, що складається з твердих, зносостійких виступів і западин, які мають глибину до  $R_z=15$  мкм при ширині  $B=20\dots25$  мм.

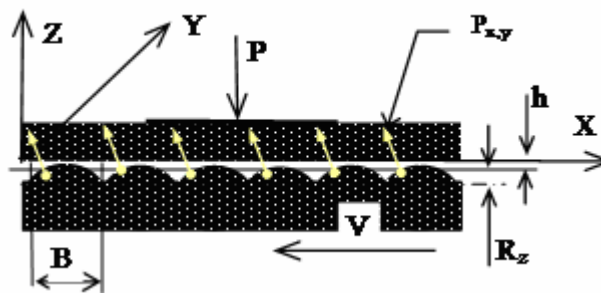


Рис. 3. Схема розрахунку гідродинамічної підйомної сили в підшипнику ковзання колінчастого валу, де на поверхні виконаний спеціальний рельєф

При експлуатації колінчастих валів зазор підшипника заповнюється мастилом.

Западини на поверхні шийки валу виконують роль гідродинамічних клинів, вантажопідйомність яких залежить, в основному, від в'язкості змащувальної рідини, швидкості ковзання і кута підйому гідродинамічного клину. Ізотермічний рух в'язкого нестискуваного мастила в западинах рухомого рельєфу і плоскій поверхні нерухомого вкладиша, рис.3, розглядали у вигляді системи нелінійних диференціальних рівнянь в частних похідних другого порядку [1]. Рішення цих рівнянь здійснювалося методом послідовного наближення. Після ряду припущень була виведена залежність між геометричними характеристиками рельєфу поверхні шийки валу, параметрами навантаження, швидкості ковзання, в'язкості мастила і товщини змащувального шару. Товщина змащувального шару в якій-небудь точці поверхні рельєфу на поверхні шийки валу (рис. 3) записується рівнянням:

$$h = h_o + \frac{R_z}{2} \left(1 - \cos \frac{\pi}{B} x\right) \quad (1)$$

де  $h_0$  - мінімальна товщина змащувального шару на вершині рельєфу, м;  $Rz$  - висота рельєфу, м;  $B$  - ширина рельєфу по напрямку руху, м;  $x$  - змінна координата по напрямку переміщення поверхні шийки валу, м.

$$h_0 = B \sqrt{\frac{V\mu}{L \times P} \rho^*} \dots\dots\dots(2)$$

де  $\rho^*$  - безрозмірні параметри навантаження;  $V$  - швидкість ковзання поверхні, м/с;  $\mu$  - динамічний коефіцієнт в'язкості масла, кГс/м<sup>2</sup>; при температурі 40 °С;  $L$  - довжина вершин рельєфу по поверхні шийки валу, м;  $P$  - середній тиск в шарі мастила, Па. Безрозмірний параметр навантаження розраховуються з урахуванням відносних величин ширини западини - гідродинамічного мікрокліну.

Розрахунки по приведеній формулі показують, що товщина змащувального шару, над вершиною рельєфу може бути від 10 до 20 мкм і залежить від параметрів рельєфу і швидкості ковзання. Спеціальний рельєф забезпечує рідинний режим тертя навіть при невеликих швидкостях обертання валу. В даному випадку мастило захоплюється западинами рельєфу і перемішається в навантажену зону підшипника, що виключає режими тертя без мастила, знижує втрати на тертя, температуру поверхні і знос.

Формування спеціального рельєфу забезпечується нагрівом ділянок поверхні шийки валу електричними розрядами в плазмовому шарі.

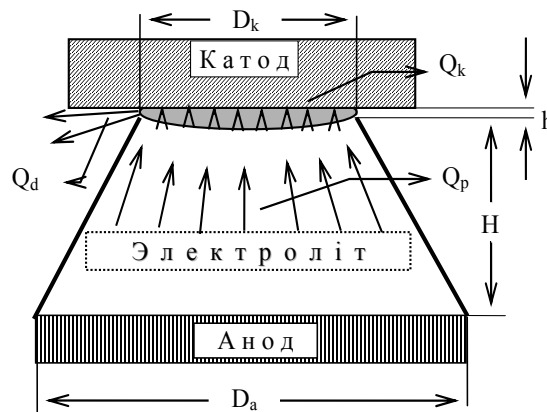


Рис. 3.Схема нагрівача для зміцнення ділянок поверхні валу

Плазмовий шар утворюють між поверхнею виробу і рідким електродом з водного розчину солі лужного металу (електролітом) [2-3]. Охолодження нагрітої поверхні здійснюється тим же електролітом. Пристрій для нагріву містить корпус з діелектричного матеріалу і металевий анод з характерними розмірами  $D_a$ , рис.3. У аноді виконані отвори, через які протікає електроліт до катода (поверхні, що нагрівається). Електропровідність електроліту між сітчастим анодом і парогазовим шаром містить струм провідності або “міграційний струм” – іони рухаються під дією електростатичних сил і гідродинамічну складову струму [4]. Це знижує резистивні втрати  $Q_p$ .

Енергія, в основному витрачається на нагрів катода  $Q_k$  – поверхні виробу. Розсіювання енергії  $Q_d$  мале, що обумовлене малою товщиною шару  $h$  (2...3 мм), в порівнянні з активною площею нагріву, обмеженою діаметром вихідного сопла нагрівача  $D_k$  (периметр  $S = 300-600$  мм). Зміна геометричних співвідношень нагрівача  $D_a/D_k$ ,  $h/H$  і електричних режимів технологія забезпечує управління швидкістю нагріву і охолодження поверхні виробу в діапазоні 20-500 °С/сек, при питомій потужності нагріву поверхні 103-104 Вт/см<sup>2</sup> [3].

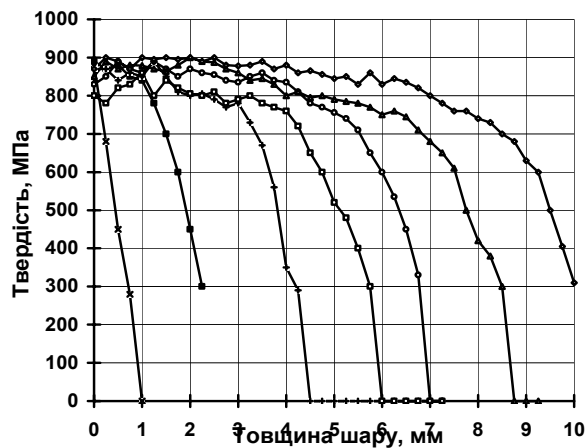


Рис.4. Твердість і товщина зміцненого шару на виріб із сталі 0,5% С.

Електролітно-плазмова технологія забезпечує товщину зміцненого шару від 1 до 10 мм на поверхні виробу із сталі 0,5% С (рис. 4).

Зміна часу нагріву при електролітно-плазмовій обробці змінює товщину, за час нагріву 40 секунд, шар прогривається на глибину до 10 мм, а за 7 сек. до 1 мм (рис. 4). Максимальна твердість зміцненого шару (900 кг/мм<sup>2</sup>) не залежить від його товщини і плавно знижується від максимальної до твердості основи і, як правило, не залежить від часу нагріву [2].

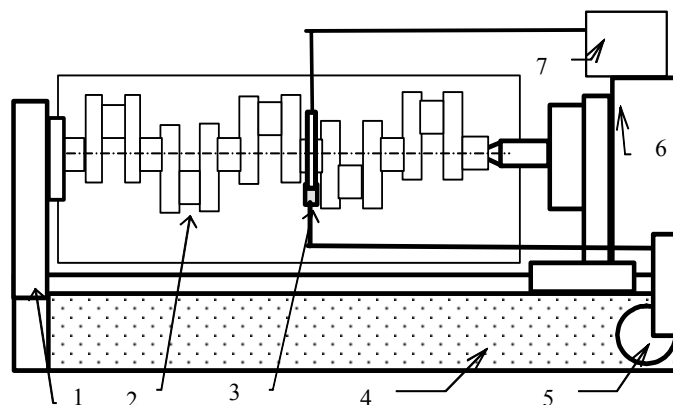


Рис. 5. Схема пристрою для зміцнення шатунних і корінних шийок колінчастих валів.

Для зміцнення шийок колінчастого валу була виготовлена установка (рис. 5), яка базується на основі устаткування для обертання валу 1.

Колінчастий вал 2 закріплюється стандартними пристроями і періодично перевіряється на величину - відстань між зміцненими ділянками.

Обробка здійснюється спеціальним навісним нагрівачем 3, який встановлюється на шийки колінчастого валу. Установка має бак 4 для електроліту, а також насосну станцію 5. Установка комплектується джерелом електричного живлення 6 і системою контролю температурою 7. Навісний пристрій для обробки робочих поверхонь шийок важких колінчастих валів фіксується на циліндричній шийці валу. Електроліт і електричний струм підводяться до нагрівача, який розміщений усередині корпусу з діелектричних матеріалів. У нагрівачі вбудований фотоприймач, який уловлює випромінювання поверхнею, що нагрівається і відповідно подає управляючий сигнал на систему регулювання потужності електричного живлення нагрівача. Залежно від режимів обробки система змінює потужність нагріву ділянок поверхневого шару і швидкість охолодження. Для зниження напруги в термозміцнюючому шарі, система забезпечує короточасний циклічний нагрів загартованих ділянок до температури відпуску.

Технологія здійснюється в наступному порядку. Нагрівач навішується на шийку валу. По команді з пульта включається технологічна напруга, яка забезпечує нагрів ділянки поверхні вище температури фазової напруги. При досягненні температури 950-1000 °C напруга відключається, здійснюється охолодження поверхні електролітом. Після охолодження здійснюється циклічний нагрів ділянок поверхні до температури 150-200 °C. В процесі періодичного повторення технології нагрів/охолодження поворот на поверхні шийки валу формується система твердих ділянок. Залежно від технологічних вимог і розмірів шийки валу забезпечується нагрів і гартування ділянок поверхні у вигляді прямокутника. При нагріві протягом 25-35 секунд і охолодженні електролітом на поверхні шийки валу формуються тверді прямокутні ділянки 20×50 мм, глибина твердого шару до 5 мм, твердість до 60 HRC (рис. 1, 2). Як робоче тіло при здійсненні технології використовують електроліт на основі водного розчину кальцинованої соди, з масовою часткою  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  до 15%.

Окрім підвищення працездатності підшипників ковзання в дизельних машинах, пропонована технологія є ресурсозберігаючою. Техніко-економічне обґрунтування показало, що за стандартною технологією великогабаритний колінчастий вал ( $\approx 1500-2000$  кг) проходить процес термічної обробки в камерній електропечі типу СНА 13.45.16/6м. Витрати електричної енергії складають 6,075 кВт×год. Товщина зміцненого шару досягає 0,5 мм. Електролітно-плазмова обробка здійснюється при істотно менших витратах енергії, 30 кВт×год. Товщина зміцненого шару досягає 5 мм.

Порівняльний аналіз ефективності зміцнення за електролітно-плазмовою технологією і азотування в шахтній печі приведений в таблиці 1.

Аналіз результатів промислового використання електролітно-плазмової технології при зміцненні великогабаритних колінчастих валів показав, що технологія є енергозберігаючою і екологічно чистою, 70-80

% електричній енергії витрачається безпосередньо на нагрів ділянок поверхні без нагріву всього виробу. Форма зміцненої ділянки поверхні шийки валу визначається конфігурацією вихідного сопла нагрівача, а товщина зміцненого шару визначається часом обробки.

Таблиця.1 Порівняльний аналіз ефективності зміцнення за електролітно-плазмовою технологією і азотування в шахтній печі

Використана технологія для зміцнення валу	Марка сталі	Споживання електроенергії кВт×год.	Час обробки, хв.	Зміцнюючий шар	
				Твердість, НРС	Товщина шару, мм
Електролітно-плазмова	40	30	5	60	5
В камерній електропечі типу СНА 13.45.16/6м	34ХН1М	6,075	24	60	0,5

Загартовані ділянки поверхні створює стискуючі напруження в поверхневому шарі виробу і після абразивної обробки, утворюють спеціальний рельєф, який забезпечує гідродинамічне мастило шийок колінчастого валу. Не оброблені ділянки поверхні забезпечують релаксацію напруги.

Електролітно-плазмове зміцнення забезпечує мінімальну напругу в зміцнених шарах шийок валу, що знижує витрати на правку валу після зміцнюючої обробки.

#### Висновки

1. Електролітно-плазмова термоциклічна технологія зміцнення робочих поверхонь великогабаритних виробів ефективніша, ніж використання в промисловості технології зміцнення. ЕП ТЦТ забезпечує необхідну твердість і товщину зміцненого шару при менших витратах електричної енергії.

2. Дослідження показують, що висока працездатність виробів після ЕП ТЦТ досягається за рахунок формування локальних твердих ділянок, які створюють стискуюче напруження в поверхневому шарі виробів.

3. Тверді ділянки поверхні протистоять зносу, а не загартовані ділянки поверхні служать для релаксації напруги.

#### Література

1. *Тюрин Ю.Н.* Теоретическое и экспериментальные исследование, разработка и внедрение узлов валов с гидродинамической смазкой, Автореферат дис. на соиск. учен. степени канд. техн. наук, Ростов-на-Дону, 1977 г. 21 с.
2. А.С. СССР № 1312974 // МКИ<sup>4</sup> С 21 D 1/78. Способ термической обработки изделий. Приор. от 11.04.84.
3. *Тюрин Ю.Н., Погоребняк А.Д.* Electric heating using a liquid electrode // Surface and Coatings Technology С.142-144, С. 293-299. (2001)
4. *Остроумов Г.А.* Взаимодействие электрических и гидродинамических полей. М.: «НАУКА». 1979. 310 с.
5. Райзер Ю.П. Физика газового разряда. М.: Редакция физ.-мат. Лит.-ры. 1992. 535 с.