

## Оптимізація процесу охолодження гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання при їх термопластичному деформуванні

В статті розглянуто і проаналізовано фізичні процеси що протікають при різних способах охолодження в періоді термопластичного деформування поверхонь деталей. Запропоновано раціональний спосіб охолодження для впровадження на ремонтних підприємствах при серійному і багатосерійному типах відновлення деталей термопластичне деформування, процес охолодження, теплообмін, фазові перетворення

Як відомо, кожна термічна операція складається з нагрівання і охолодження. Сьогодні в ремонтному виробництві використовують традиційні (нагрівання в полум'яних печах) та сучасні (індукційні, електроконтактні, плазмові, дугові, лазерні та інші) методи нагрівання.

Охолодження є важливим етапом процесу термообробки сталі, особливо при нагріванні вище температури фазових перетворень. Воно може здійснюватись в печах, на повітрі, в газових середовищах, за допомогою металевих плит, в розплавах металів і сплавів, солей і лугів, а також зануренням у спокійну воду, масло, потоком води та водяним душем.

Вибір охолоджуючого середовища та способів подачі її на загартовувану поверхню обумовлюються як необхідністю отримати задану структуру металу, так і конкретними умовами технологічного процесу термообробки.

Охолодження у воді є найбільш простим методом і у зв'язку з цим він найбільш широкого застосовується в машинобудуванні в цілому і в ремонтному виробництві зокрема.

Розглянемо фізичний процес охолодження нагрітої деталі при зануренні її у воду. Перші порції води, потрапляючи на охолоджувану поверхню призводять до появи на ній розділу «тверде тіло - рідина» великої кількості парових бульбашок.

Мінімальна робота утворення бульбашки може бути розрахована з залежності:

$$L_{\min} = -\Delta p \cdot V + \sigma_F, \quad (1)$$

де  $\Delta p$  – перепад тиску;

$V$  – об'єм бульбашки;

$F$  – площа поверхні бульбашки;

$\sigma_F$  – робота по утворенню міжфазової поверхні  $F$ .

На рисунку 1 відображені складові виникнення бульбашки пару на поверхні нагріву при умові, що рідина змочує цю поверхню нагріву, а також крайовий кут змочування  $\theta_{\text{крит}} < \pi/2$ .

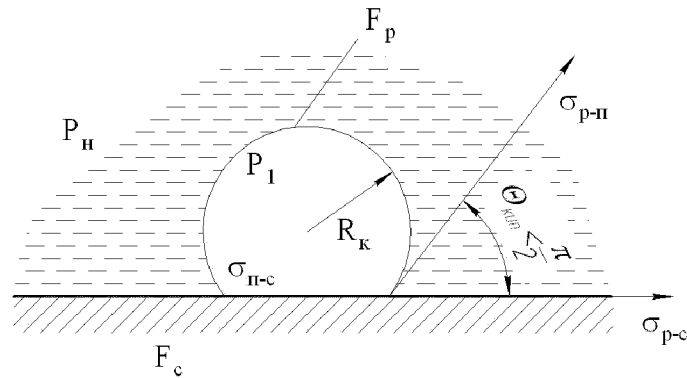


Рисунок 1 – Визначення мінімальної роботи утворення бульбашок критичного розміру

Повна площа поверхні бульбашки  $F$  складається із частини  $F_p$ , на якій пар торкається рідини та основи бульбашки  $F_c$ . Визначимо роботу утворення нових поверхонь розділу фаз при появі такої бульбашки на поверхні теплообміну. До появи бульбашки поверхні  $F_p$  не було, а ділянка  $F_c$  змочувалась рідиною.

Поверхнева енергія на цій ділянці була  $\sigma_{p-n} \cdot F_c$ . Після виникнення бульбашки утворилася поверхня  $F_p$  для чого була виконана робота  $\sigma_{p-c} \cdot F_p$ , крім цього на поверхні  $F_c$  відбулася заміна рідини паром. На цей процес необхідна енергія, яка може бути визначена як (робота адгезії):

$$\sigma_A = \sigma_{n-c} \cdot F_c - \sigma_{p-c} \cdot F_p. \quad (2)$$

В результаті робота утворення нових поверхонь, при появі бульбашки на поверхні твердого тіла дорівнює:

$$\sigma_F = \sigma_{n-c} \cdot F_p + (\sigma_{n-c} - \sigma_{p-c}) \cdot F_c. \quad (3)$$

Згідно рисунку 1 отримаємо:

$$\sigma_{n-c} - \sigma_{p-c} = \sigma_{p-n} \cdot \cos \theta. \quad (4)$$

Тоді

$$L_{\min} = -\Delta p \cdot V + \sigma F \left[ 1 - \frac{F_c}{F(1 - \cos \theta)} \right]. \quad (5)$$

Після утворення, бульбашки миттєво випаровуються і вкривають поверхню охолодження тоненькою плівкою пару, яка щільно прилягає до поверхні тіла зануреного в охолоджувальну рідину (перша криза тепловіддачі).

Товщина цієї парової плівки залежить від швидкості руху тіла в охолоджуючій рідині та початкової температури тіла.

Таким чином, на першій стадії передача тепла від виробу до охолоджуючої рідини (води) проходить через плівку пару. Коли температура на поверхні тіла знижується до  $450 \dots 400 \text{ } ^\circ \text{C}$  стійкість парової плівки, за теплофізичних умов, порушиться.

Досягнувши критичної товщини, відповідної відривним розмірам парових бульбашок на стадії ядерного кипіння, плівка розривається і швидкість охолодження різко збільшується (друга криза тепловіддачі) (рис. 2).

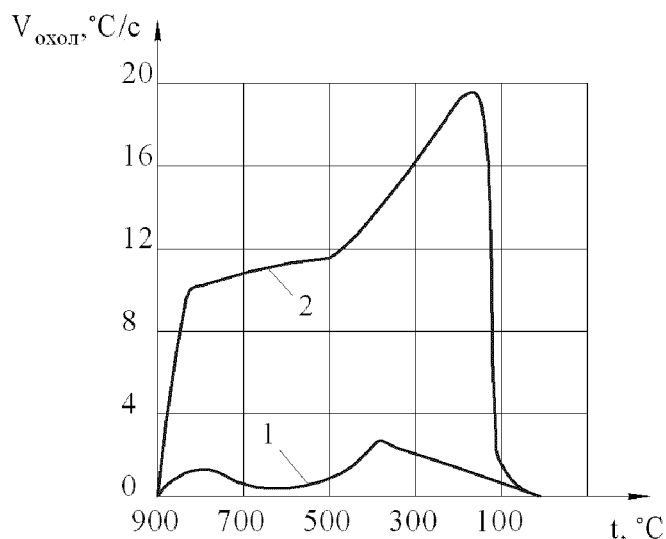


Рисунок 2 – Характеристичні криві для швидкостей охолодження зануренням у воду (крива 1) і струменями водяними під тиском 0,75 МПа (крива 2)

Так як, розрив плівки на різних ділянках поверхні тіла виникає не одночасно, то цей процес може стати причиною напруження між цими ділянками і, як наслідок – виникнення тріщин.

При бульбашковому кипінні швидкість тепловідводу залежить від енергії витраченої на виникнення бульбашок пару з рідини та їх росту до відривних бульбашок. Більш енергоємним є процес виникнення парових бульбашок. В умовах занурення тіла у воду бульбашки відриваються від поверхні тіла тільки тоді, коли досягнуть достатніх розмірів, тому швидкість охолодження залежить, головним чином, від цього процесу, а більш енергоємний процес виникнення нових бульбашок відіграє другорядну роль. При температурі 200...250°C бульбашкове кипіння припиняється, тому, що енергія, яку передає тіло у воду недостатня для виникнення бульбашок. При цьому виникає конвективний теплообмін між рідиною і виробом (третя криза тепловіддачі). При подальшому охолодженні інтенсивність процесу тепловіддачі знижується.

Виходячи з вищевикладеного можемо зробити висновок, що охолодження методом занурення у воду має ряд суттєвих недоліків. Це повільна швидкість охолодження в початковий період (вплив парової плівки); підвищена схильність до утворення тріщин від нерівномірності охолодження поверхні; сповільнене охолодження на стадії конвективного теплообміну.

Цих недоліків позбавлений струменевий спосіб охолодження (водяний душ), який здійснюється за допомогою спеціальних пристроїв – спреєрів.

Струменевий спосіб подачі води на загартовану поверхню зберігає три-стадійний характер охолодження, властивий воді, як середовищу, що змінює свій агрегатний стан при зміні температури. Проте при струменевому охолодженні теплообмін поверхні виробу з оточуючим середовищем значно інтенсивніший, так як він відбувається в умовах примусового руху рідини, в той час, як при охолодженні зануренням тільки сам процес охолодження створює деякий рух води відносно поверхні тіла.

На стадії плівкового кипіння швидкість струменевого охолодження значно вища швидкості охолодження при зануренні у воду, так як плівка пару під дією інтенсивних водяних струменів деформується, стає тонкою та руйнується.

На стадії бульбашкового кипіння струмені води запобігають росту бульбашок, збиваючи їх з поверхні тіла, майже зразу після утворення, тому в цьому випадку вирішальну роль відіграє процес зародження бульбашок і інтенсивність охолодження різко зростає.

Незважаючи на різке підвищення швидкості охолодження, при струменевому методі, не була відмічена схильність до утворення тріщин, оскільки тріщини, як відмічалось, виникають не від різкого, а від нерівномірного охолодження поверхні тіла. При інтенсивному

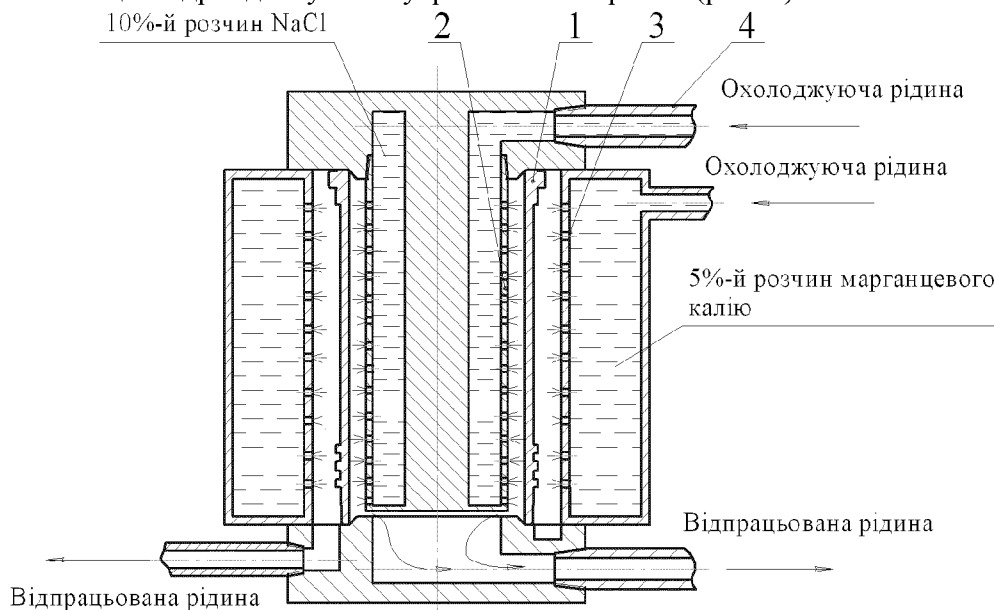
струменевому охолодженні спостерігається більш рівномірне охолодження і, як наслідок, більш рівномірний розподіл напружень в поверхні, що зменшує деформацію тіла.

На стадії конвективного теплообміну струменевий метод охолодження також більш ефективний, оскільки поверхня тіла постійно омивається свіжими порціями води.

Як показує досвід, інтенсивність струменевого охолодження залежить від декількох факторів: витрат води, тиску, швидкості струменю в мить його попадання на поверхню, діаметру і частоти розташування отворів, умов відведення охолоджувальної рідини.

Недоліком струменевого охолодження є те, що загартування кожного нового виробу іншої форми і розмірів, потребує розробки і виготовлення відповідного спреєра.

Виходячи з вищевикладеного, можливі наступні висновки, що, незважаючи на деяку складність у виготовленні спреєрів, струменеве охолодження має ряд істотних переваг перед охолодженням зануренням і може бути використане для впровадження на ремонтних підприємствах при серійному і багатосерійному типах відновлення деталей, наприклад при відновленні гільз циліндрів двигунів внутрішнього згорання (рис. 3).



1 – гільза циліндра; 2 – спреєр внутрішній; 3 – спреєр зовнішній; 4 – трубопровід  
Рисунок 3 – Схема розміщення зовнішнього та внутрішнього спреєрів при охолодженні гільзи циліндра

## Список літератури

1. Исаченко В.П., Теплопередача / В.П.Исаченко, В.А.Осипова, А.С.Сукомел – 2-е изд.,- М., Энергия, 1969. – 440с.
2. Аулін В.В. Зміцнення при відновленні поршневих пальців і гільз циліндрів ДВЗ електроконтактним нагріванням та комбінованим спреєрним охолодженням./ В.В.Аулін, Ф.М.Капелюшний, Є.К.Солових, М.М.Калита, [та ін.] //Проблеми трибології (Problems of tribology). Хмельницький: ХНУ, 2005. – №2 – С.123-131.

*Ф.Капелюшний, Н.Калита, С.Катеринич*

**Оптимизация процесса охлаждения гильз цилиндров двигателей внутреннего сгорания при их термопластическом деформировании**

В статье рассмотрены и проанализированы физические процессы, протекающие при различных способах охлаждения в период термопластического деформирования поверхностей деталей. Предложен рациональный способ охлаждения для внедрения на ремонтных предприятиях серийного и массового типа восстановления деталей

*Ф.Капелюшний, Н.Калита, С.Катеринич*

**Optimisation of process of cooling of sleeves of cylinders of internal combustion engines at their thermoplastic deformation**

To article are considered and analysed physical processes coolings proceeding at various ways in thermoplastic deformation of surfaces of details. The rational way of cooling for introduction on repair shops and mass type restoration details is offered.

Одержано 21.05.10