

## *Гідроімпульсна герметизація виливків при провокуванні змін напружено-деформованого стану*

П. В. Русаков, кандидат технічних наук

Фізико-технологічний інститут металів та сплавів НАН України, Київ

*Розглянуто процес гідроімпульсної герметизуючої обробки, який забезпечує поєднання операції зниження залишкових напружень і операції просочення пор в структурах чавунних деталей. Металеву поверхню деталі навантажують імпульсним гідравлічним тиском через шар речовини – герметика, яку заздалегідь наносять на оброблювану ділянку металевої поверхні. Процес передбачає збільшення амплітуди імпульсів тиску до моменту збудження дисипативного стану в структурі оброблюваної деталі. Досліджено механізм циклічної дії імпульсів тиску на релаксацію залишкових напружень, і показники герметичності у перетині стінки водяного охолодження блок-картера СМД 22/23.*

Формування поверхневого шару щільної металевої структури відбувається в процесі лиття та на завершальних операціях виготовлення деталей і цілком закономірно, що у виливках з тонкими стінками значно складніше забезпечити необхідну гідравлічну щільність. Зазначимо, що породження пористості в деталях також відбувається внаслідок протікання незворотних пластичних деформацій в матеріалі при перебудові напружено-деформованого стану (НДС). Залишкові напруження, що утворюються при литті та охолодженні, наприклад, у чавунних блоках циліндрів, суттєво занижують експлуатаційні показники двигунів. Проведений розрахунок та дослідження НДС корпусу блока циліндрів 301.1002015-01 (чавун СЧ25) дозволили визначити максимальні напруження, що виникають на циліндричній поверхні блоків (рис. 1).

Залежно від способу формовки в точці Т1 (рис. 1 а) отримано криві максимальних напружень поверхні блоку циліндрів двигуна (рис. 1 б): 1 – жорстка піщана форма, 2 – форма з піщаним сипучим наповнювачем, 3 – максимальні розрахункові напруження за умовами охолодження в жорсткій піщаній формі, 4 – максимальні розрахункові напруження за умовами тепловідбору у формі з сухим піщаним сипучим наповнювачем.

Формування динамічних навантажень також посилює вірогідність збільшення транзитної пористості при експлуатації двигунів [1, 2]. Як превентивний захід конструктори виконують потовщення стінок в місцях формування каналів транзитної пористості. Але не завжди такими діями вдається вплинути на ситуацію [3, 4]. В більшості інженерних рішень запроваджують технологічні операції для зняття залишкових напружень і герметизації литих деталей [5 – 7]. Ресурс експлуатації оброблених деталей залежить від багатьох чинників, зокрема, адгезійної міцності поверхні, яка розділяє метал та композитний наповнювач, співвідношення пружних характеристик цих матеріалів, геометрії пор, міцності герметика в твердому стані (короткочасної та довготривалої), зміни об'єму флюїдного наповнювача під час його

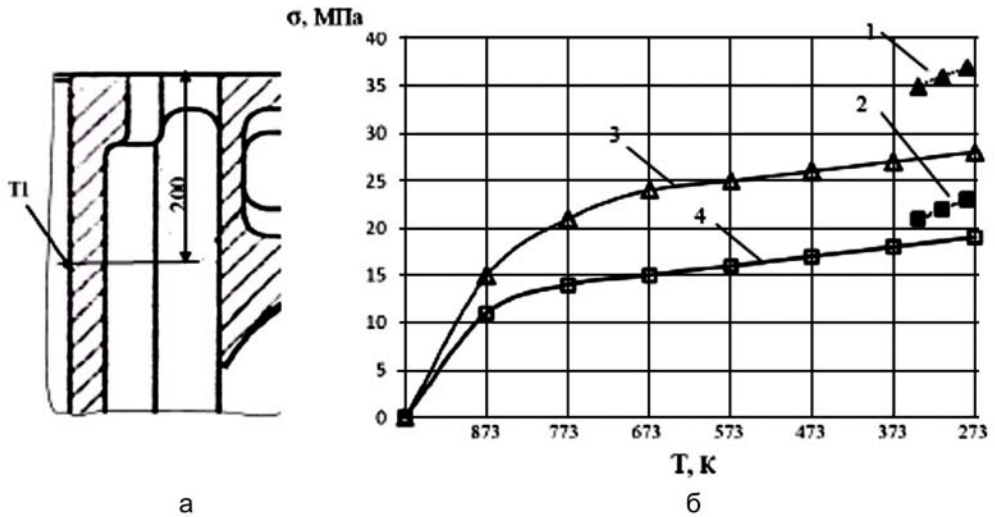


Рис. 1. Залишкові напруження на циліндричній поверхні блоку циліндрів. а – місце Т1 дослідження напружень, б – криві формування напружено-деформованого стану: 1, 3 – ▲ експериментальні та △ розрахункові значення напружень за умовами охолодження блоку в жорсткій піщаній формі; 2, 4 – ■ експериментальні та □ розрахункові значення напружень за умовами охолодження блоку у формі з піщаним сипучим наповнювачем.

тверднення (збільшення або зменшення) тощо. Порівняльні показники зазначених технічних рішень герметизації структури деталей наведено в таблиці.

Спосіб гідросилової імпульсної герметизації розроблено у ФТІМС НАН України для обробки ресиверів високого тиску, арматурного литва і чавунних деталей моторної групи [8]. Технологічні особливості методу полягають в гідросиловому навантаженні порожнин деталі тиском з параметрами, що провокують збудження напружено деформованого стану структури металу і при цьому забезпечують ін'єкцію композитних рідких наповнювачів в пористу металеву структуру. Попередні операції підготовки деталі включають нанесення композитного органічного або мінерального прошарку герметизуючої речовини (в залежності від цільового призначення) на оброблювальну поверхню, і подачу технологічної рідини для створення тиску. Під дією гідравлічного тиску на прошарок герметика дисперсні частинки композитних матеріалів мігрують в капіляри і пори поверхні, при цьому збуджуючи релаксації внутрішніх напружень. Таким чином, при дії імпульсів тиску водночас відбуваються два процеси: силова деформація структури металу з релаксацією залишкових напружень і процес ущільнення пор.

Гідросилова імпульсна герметизація здійснюється при генерації тиску у внутрішніх порожнинах деталі. Параметри імпульсного силового навантаження встановлюють такими, що перевищують значення тимчасових напружень і, відповідно, амплітуди циклічних пружно-пластичних деформацій стінок деталі. Процес дисипативної деформації при гідродинамічному збурюванні головним чином залежить від рівня тиску, що здійснюється на стінки виливка.

Для якісної обробки деталей і виключення можливості утворення в них тріщин, імпульсне навантаження на першій стадії обмежують рівнем, який забезпечує збудження тільки пружних деформацій в матеріалі оброблюваної деталі. За наявності пікових залишкових напружень в металевій структурі створюються умови їх безпечної релаксації. Таким чином здійснюється попередня підготовка деталі до другої стадії

Порівняльні показники методів герметизації литих деталей

Показники	Методи герметизації		
	Нанесення флюїдних герметиків	Вакуумне просочення	Гідросилова імпульсна ін'єкція
Головна відмінна характеристика процесу	Нанесення рідкого герметика на підготовлену та знежирену поверхню. Капілярне просочення пор рідиною	Просочення поверхні виробу під дією сил вакуумного розрідження	Імпульсна ін'єкція герметиків в поверхневий шар структури виливка і релаксація залишкових напружень
Глибина просочення, м	$(0,1 - 1,5) \cdot 10^{-6}$	$(0,5 - 3,0) \cdot 10^{-6}$	$250 \cdot 10^{-6} - 5 \cdot 10^{-3}$
Максимальний діаметр пор і товщини тріщин, що герметизуються, м	$\leq 0,05 \cdot 10^{-3}$	$\leq 0,3 \cdot 10^{-3}$	$\leq 1,5 \cdot 10^{-3}$
Стійкість релаксації, год	$(1,0 - 1,5) \cdot 10^3$	$(3,0 - 4,2) \cdot 10^3$	$(8 - 10) \cdot 10^3$
Температурний діапазон експлуатації, °C	$-60 \leq t \leq 150$	$-60 \leq t \leq 150$	$-60 \leq t \leq 250$
Тривалість обробки, год	3 – 24	2 – 5	2 – 8
Екологічні особливості	Необхідна утилізація токсичних і канцерогенних розчинів	Необхідна нейтралізація стічних вод $0,002 - 0,010 \text{ м}^3/\text{т}$	Не потребує утилізації технологічних відходів
Область застосування	Для деталей, що експлуатуються з порівняно низьким тиском	Для ущільнення деталей порошкової металургії	Для чавунних і сталевих виробів гідроапаратури, двигунів внутрішнього згорання та динамічно навантажених деталей

обробки підвищеним енергетичним навантаженням. Для усунення пікових напружень досить прикласти до деталі від п'яти до десяти початкових ударних імпульсів з енергією, що викликає пружні деформації в структурі деталі, проте надалі для підтримки високого темпу релаксації напружень в литих деталях необхідно, щоб при імпульсному тиску в рідкому середовищі сумарні напруження, що виникають в оброблюваній ділянці, перевищували межу текучості матеріалу деталі.

Що стосується чавуну, то на процес формування НДС в структурі металу окремо особистий внесок роблять графітові включення. Гідросилова імпульсна обробка розширює зону деформації металевої матриці у кінцівок графітових включень і приводить до перекриття зон деформації й зміцненню ділянок між окремими включеннями, що сприяє зменшенню деформаційної здатності матеріалу під дією залишкових напружень і зовнішніх навантажень. Так при дії тиску  $P$  на поверхню деталі з моментом опору перетину стінки  $W$  і номінальним напруженням  $\sigma^n$  (рис. 2) формується момент вигину  $M_B = \sigma^n W$ . Для балки, що має рівний прямокутний перетин по всій довжині, вплив циклічного моменту вигину на деформацію ( $M_B$ ) може бути ототожнений з діаграмою розтягнення – стиснення металу під дією гідравлічного навантаження [9]. З аналізу схеми циклічного навантаження стінки згинальним моментом та з урахуванням залишкових напружень виходить, що сумарні напруження  $\sigma_{\text{сум.р}}$  при циклі розтягнення розглянутої поверхні досягають значень, які перевищують поріг текучості матеріалу  $\sigma_T$  і викликають додаткову деформацію поверхневих шарів стінки деталі.

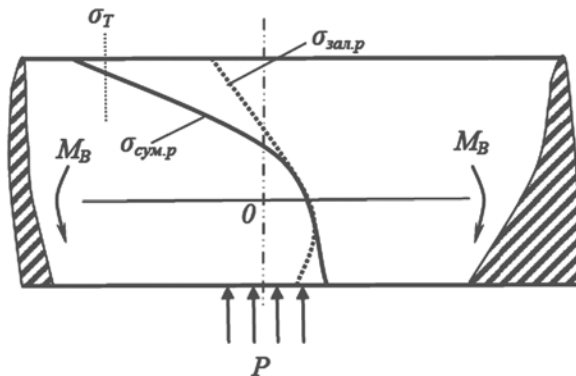


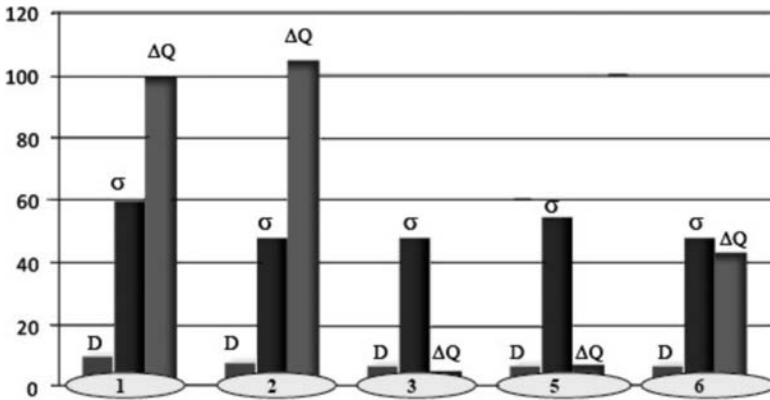
Рис. 2. Схема формування напружено-деформованого стану при вигині стінки деталі.  $\sigma_{\text{зал.р}}$  – залишкові напруження розтягу,  $\sigma_{\text{сум.р}}$  – сумарні напруження розтягу при динамічному навантаженні.

Застосування способу гідроімпульсної герметизації засвідчує, що найбільша ефективність відстежується у виливках, де виникає збільшення деформаційних амплітуд у процесі навантаження [8]. Блоки циліндрів мають високу жорсткість і в них напруження збуджуються порівняно незначної величини. Тому, вірогідно, релаксація залишкових напружень відбувається за рахунок переповзання й закріплення дислокацій під дією сумарних сил, значно менших порогу плинності матеріалу виливка.

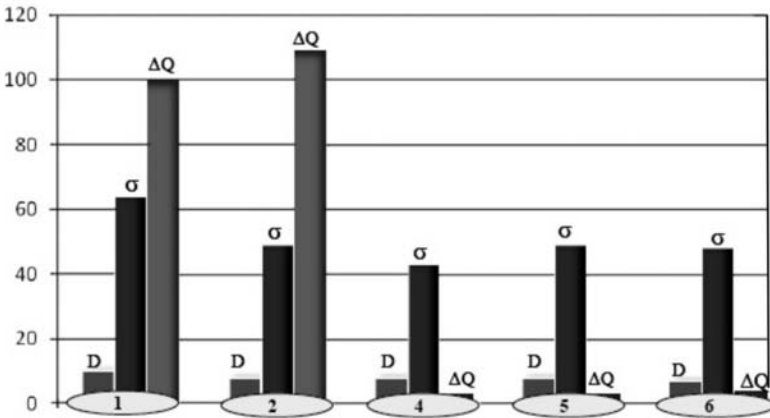
При проведенні досліджень впливу рівня залишкових напружень на герметичність виливків блока-картера СМД 22/23 ефективність режимів обробки оцінювали за відсотковим відхиленням показників деформаційної газової провідності ( $\Delta Q, \%$ ).

## Нові технологічні процеси і матеріали

На рис. 3 наведено показники порівняльної оцінки ефективності застосування методів герметизації блоків циліндрів дизелів СМД 22/23 при обробці методом вакуум-надлишковий тиск,  $P \leq 0,5$  МПа, та методом гідросилової імпульсної ін'єкції [8]. Маркування операцій при обробці блоків за двома варіантами (рис. 3 а, б) здійснено наступним чином: 1 – блоки в литому стані, 2 – блоки після механічної обробки, 3 – після вакуумного просочення, 4 – після гідросилової імпульсної ін'єкції, 5 – після операції монтажу блоків, 6 – після 120 годин напрацювання.



а



б

Рис. 3. Порівняльні показники ефективності застосування методів герметизації блоків дизелів СМД 22/23. а – при обробці методом вакуум-надлишковий тиск,  $P \leq 0,5$  МПа, б – при обробці методом гідросилової імпульсної ін'єкції. D – дисперсія залишкових напружень при вимірюванні, МПа;  $\sigma$  – залишкові напруження, МПа;  $\Delta Q$  – відносна газова провідність, %.

Аналіз результатів свідчить, що при обробці виливків з регулюванням імпульсів тиску необхідний час релаксації залишкових напружень не перевищує 15 – 45 хвилин, залежно від складності реалізації схеми навантаження. У порівнянні з іншими наведеними методами обробки при використанні способу гідроімпульсної герметизації з диференційованою зміною імпульсів тиску в процесі обробки експлуатаційний ресурс герметичних блоків СМД 22/23 зростає на 18 – 35 %.

Таким чином запропоновано спосіб циклічної герметизації, що включає обробку поверхні деталі гідравлічними імпульсами тиску через прошарок композитної рідини при підвищенні амплітуди імпульсів до збудження процесу релаксації залишкових напружень.

### Література

1. Русаков П. В. // Металознавство та обробка металів. – 2006. – № 4. – С. 54 – 60.
2. Русаков П. В., Шинський О. И. // Процессы литья. – 2000. – № 3. – С. 58 – 61.
3. Naro R. L. // AFS Transactions. – 1983. – 91. – 365 p.
4. Greenhill J. M. // Foundry Trade Journal. – 1981. – September 10. – P. 383.
5. Русаков П. В. // Металл и литье Украины. – 1999. – № 7 – 8. – С. 44 – 46.
6. Бернер Р., Кронмюллер Г. Пластическая деформация монокристаллов. – М.: Мир, 1969. – 272 с.
7. Фелгам П. Деформация и прочность материалов. – М.: Металлургия, 1968. – 120 с.
8. Патент України № 83122, МКИ В23Р 6/04. Спосіб герметизації деталей /В.П. Русаков, О.Й. Шинський, О.Я. Яковичин, В.А. Барабаш. – Заявлено 18.09.2006.
9. Троценко В.Т. Деформирование и разрушение металлов при многоцикловом нагружении. – Киев: Наук. думка, 1981. – 344 с.

Одержано 20.12.11

**П. В. Русаков**

### **Гидроимпульсная герметизации отливок при провоцировании изменений напряженно-деформированного состояния**

#### **Реферат**

Рассмотрен процесс гидроимпульсной герметизирующей обработки, который обеспечивает совмещение операций по снижению остаточных напряжений и пропитку пор в структурах чугунных деталей. Импульсное давление прикладывают к поверхности отливки, через тонкий слой кремнезольной пасты, которую предварительно наносят на обрабатываемый участок. Процесс предусматривает увеличение амплитуды импульсов давления до момента возбуждения диссипативного состояния в структуре обрабатываемой детали. Исследован механизм циклического воздействия импульсов давления на изменение остаточных напряжений и показатели герметичности в плоской стенке водяной рубашки блок-картера СМД 22/23.

**P. V. Rusakov**

### **Hydroimpulsive sealing of castings with the changes of mode of deformation**

#### **Summary**

The method of impregnation treatment of castings surface with the use of hydroimpulsive influence is developed. Hydraulic impulses act to a surface, through thin layer of encapsulating paste. The surface is preliminary coated. In the indicated method, adjusting of impulses of pressure is provided for excitation and change of the tensely-deformed state of detail in the process of impregnation. On the area of wall of water-jacket of crankcase block of СМД22/23 engine the mechanism of cyclic influence of impulses pressure on the change of residual stresses and indexes of impermeability were studied.