

Министерство образования Украины  
Одесский государственный политехнический университет

*Труды*  
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический  
сборник

Вып. 1 (5). 1998

*Машиностроение*  
*Энергетика*  
*Химия и химтехнология*

Одесса

Труды Одесского политехнического университета: Научный и производственно-практический сборник по техническим и естественным наукам. — Одесса, 1998. — Вып. 1 (5). Машиностроение. — Энергетика. — Химия и химтехнология. — 284 с. — Яз. рус., укр.

## РЕДАКЦИОННЫЙ СОВЕТ

*Малахов В.П.* — гл. редактор, *Алексеева Л.А.*, *Иванова Л.А.*, *Кострова Г.В.* — зам. гл. редактора, *Куншенко Б.В.*, *Куценко А.Н.*, *Новиков В.М.*, *Новохатский И.А.*, *Плескач Л.О.* — отв. секретарь, *Продиус И.П.*, *Пуйло Г.В.*, *Становский А.Л.*, *Харичков С.К.*, *Цабиев О.Н.*, *Ямпольский Ю.С.*

Сборник основан в 1996 году, зарегистрирован в Министерстве Украины по делам печати и информации 5 декабря 1996 года, свидетельство серии КВ № 2380

Компьютерную версию опубликованных материалов можно получить по адресу:  
<http://www.ospu.odessa.ua/ospu/>

## СОДЕРЖАНИЕ

<b>МАШИНОСТРОЕНИЕ</b> .....	7
<i>Г.В. Кострова, В.В. Новиков, В.Н. Рубанович. Управление свойствами структурочувствительных гетерогенных литейных материалов</i> .....	8
<i>Ж.Р. Василюгло, Л.А. Покрытан, А.Л. Становский. Управление охлаждением сложных отливок в многослойных песчаных формах</i> .....	11
<i>Л.А. Иванова, И.В. Прокопович. Механизм образования транзитного канала просачивания в структуре серого чугуна</i> .....	14
<i>И.В. Прокопович. Модель герметичности серого чугуна</i> .....	16
<i>Ю.М. Хомяк, И.А. Ширманова. Нелинейность деформирования упругих металлических уплотнений</i> .....	19
<i>В.Т. Степуренко, Ю.В. Степуренко, В.В. Гриндула. Отличительные признаки коррозионной усталости от усталости стали в воздухе</i> .....	22
<i>В.Т. Степуренко, Ю.В. Степуренко, В.В. Гриндула. Природа влияния смазочных масел на сопротивление усталости сталей</i> .....	25
<i>А.В. Кравчук, А.Ф. Дащенко, Е.В. Косс. Технологические методы торможения трещин в деталях машин</i> .....	28
<i>А.В. Кравчук, А.Ф. Дащенко. Ускоренный метод определения циклической долговечности поверхностно-упрочненных деталей машин</i> .....	30
<i>Ю.М. Хомяк, А.В. Цимбалюк. Оценка возможности отрыва покрытий при различных способах локального нагружения</i> .....	33
<i>Ю.М. Коровайченко. Вплив термоциклічної обробки на основні показники механічних властивостей відновлених деталей</i> .....	37
<i>Ю.М. Коровайченко. Зональна структурна перебудова металу деталей машин під час високотемпературного відновлення</i> .....	42
<i>Т.В. Лысенко. Нейтрализация вредного влияния оксида углерода на химический состав поверхностного слоя деталей из сплавов железа</i> .....	46
<i>В.Г. Лебедев, Б.В. Лебедев. Технологические экзотермические смеси и их необходимые энергетические характеристики</i> .....	49
<i>Г.В. Кострова, О.С. Савельева, А.Л. Становский. Оптимизация переходных процессов механического нагружения</i> .....	53
<i>В.В. Черниенко, В.А. Граменицкий, Е.Г. Павлышко. Механизм преобразования движения</i> .....	56
<i>А.Н. Подкорытов. Метод криволинейных преобразований для формирования квазивинтовых поверхностей</i> .....	58
<i>А.Н. Подкорытов, В.М. Тигарев. Условие сопряжения конволютного и архимедова геликоидов при качении со скольжением</i> .....	60
<i>В.П. Мурашко, Ф.А. Романенко. Некоторые геометрические соотношения зоны контакта бочкообразного шатуна с поршнем аксиально-поршневой гидромашины</i> .....	62
<i>В.П. Мурашко, Ф.А. Романенко. Размеры площадки контакта пары бочкообразный шатун-поршень, их сближение и величины наибольших давлений в зоне контакта</i> .....	65
<i>Л.Ф. Бочковая. Применение матричного метода для определения угла между шатуном и чашкой вала аксиально-поршневой гидромашины</i> .....	69

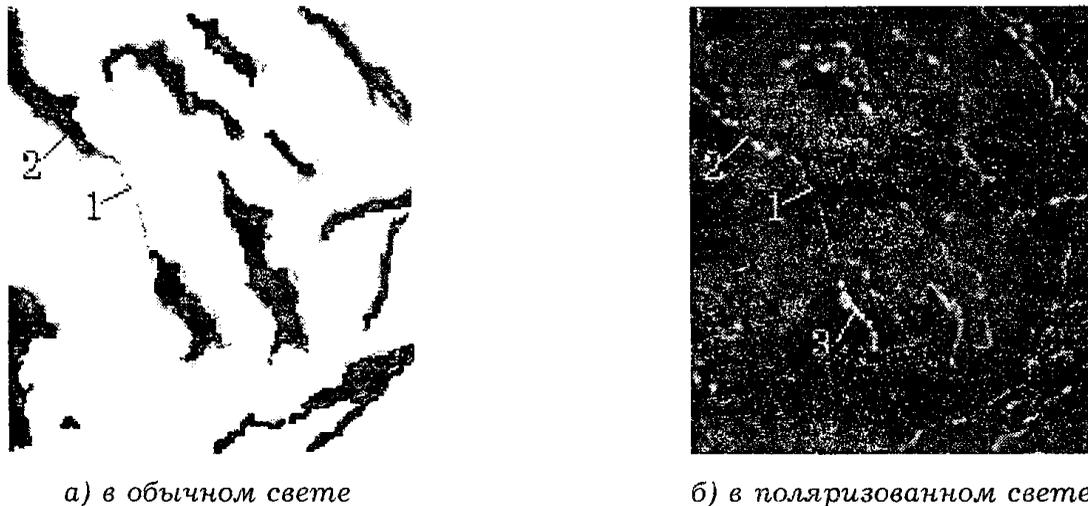


Рис. 2. Микроструктура серого чугуна после испытания на герметичность,  $\times 300$

Следовательно, для повышения герметичности отливок из серого чугуна необходимо уменьшать среднюю длину графитовых включений.

### Литература

1. Колесниченко А.Г., Дубинин А.В. О герметичности серых чугунов // Литейное производство. — 1979. — № 12. — С. 6 — 7.
2. Прокопович И.В., Грайжевский Ф.М. Определение вероятности образования транзитной графитовой поры в структуре серого чугуна // Труды Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1997. — Вып. 1. — С. 25 — 26.
3. Справочник физика. Физические величины / Бабичев А.П., Бабушкина Н.А., Братковский А.М. и др. / Под ред. Григорьева Н.С., Мейлахова Е.З. — М.: Энергоатомиздат, 1991.
4. Справочник по чугунному литью / Под ред. Н.Г. Гиршовича. — Л.: Машиностроение, 1978.

УДК 669.131.6

И.В. Прокопович, канд. техн. наук

## МОДЕЛЬ ГЕРМЕТИЧНОСТИ СЕРОГО ЧУГУНА

*И.В. Прокопович. Модель герметичності сірого чавуну.* Виведено аналітичну залежність герметичності виливків з сірого чавуну від середньої довжини графітового включення.

*I.V. Prokopovich. Model of the grey pig-iron hermeticity.* Analytical dependence of grey pig-iron hermeticity on average length of graphite inclusion has been concluded.

Серый чугун является пористым гетерогенным телом. Смоделировать процесс просачивания жидкости или газа через стенку чугунной отливки можно, опираясь на основные законы фильтрации.

Для идеальной пористой среды и закона Гагена-Пуазейля перепад давления при течи жидкости в порах

$$\Delta P = \frac{32 \cdot \eta \cdot V_{\phi} \cdot L}{d_{\text{эф}}^2}, \quad (1)$$

где  $\Delta P$  — перепад давления, МПа;

$\eta$  — динамическая вязкость жидкости, Па·с;

$V_{\text{ф}}$  — скорость фильтрации, м/с;

$d_{\text{эф}}$  — эффективный диаметр порового канала, м;

$L$  — толщина пористой среды, м.

Для реальной пористой среды из закона Дарси следует, что

$$\Delta P = \frac{\eta \cdot V_{\text{ф}} \cdot L \cdot m}{\Pi}, \quad (2)$$

где  $\Pi$  — коэффициент проницаемости;

$m$  — пористость.

Полагая равенство потерь давления в реальной и идеальной пористых средах, получено соотношение для эффективного диаметра пор:

$$d_{\text{эф}} = \sqrt{\frac{32 \cdot \Pi}{m}}. \quad (3)$$

Отсюда, коэффициент проницаемости

$$\Pi = \frac{d_{\text{эф}}^2}{32}. \quad (4)$$

Герметичность  $G'$  как внутреннее сопротивление пористого тела просачиванию жидкости обратно пропорциональна проницаемости  $\Pi$ :

$$G' = \frac{L}{\Pi} = L \frac{32}{d_{\text{эф}}^2 \cdot m}. \quad (5)$$

Выражение (5) предполагает наличие в чугуне цилиндрических пор со средним диаметром  $d_{\text{эф}}$  ( $d_{\text{эф}} \leq 1$  мкм [1],  $m = 0,08$  [2]). В действительности поры в чугуне имеют щелевидную, трапецеидальную форму. Сопротивление щелевидной поры просачиванию является большим, чем цилиндрической [3, 4].

Эффективному диаметру поры соответствует эффективная площадь сечения порового канала при цилиндрической и трапецеидальной форме поры

$$d_{\text{эф}}^2 = \frac{l \cdot a \cdot 4}{\pi}, \quad (6)$$

где  $l$  — ширина сечения прямоугольной поры;

$a$  — высота сечения прямоугольной поры.

Так как в сером чугуне фильтрация протекает по зазору между графитом с основным размером  $l_{\text{гр}}$  (средняя длина включения) и основной матрицей, ширина которого  $a$ , то, подставляя (6) в (5), получим

$$G' = L \frac{8 \cdot \pi}{l_{\text{гр}} \cdot a \cdot m}. \quad (7)$$

Как видно герметичность обратно пропорциональна длине графитового включения и ширине канала просачивания. Ширина канала фильтрации  $a$  выведена из соотношения капиллярного сопротивления в порах.

Капиллярное сопротивление в порах твердого тела связано с внешним давлением, при котором наблюдается течь, уравнением капиллярного падения (подъема) [5]:

$$F_{\text{п}} \cdot h_{\text{п}} \cdot g \cdot \rho_{\text{ж}} = -R \cdot \sigma \cdot \cos \theta, \quad (8)$$

где  $F_{\text{п}}$  — площадь поперечного сечения поры, м<sup>2</sup>;

$h_{\text{п}}$  — высота капиллярного падения жидкости, м;

$R$  — периметр сечения поры, м;

$\sigma$  — поверхностное натяжение жидкости, Н/м;

$\theta$  — краевой угол смачивания.

Произведение  $h_{\Pi} \cdot g \cdot \rho_{ж} = P$  [5], откуда:

$$\frac{F_{\Pi}}{R} = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{P} \quad (9)$$

Приняв размер щелевого сечения поры за  $l_{гр} \cdot a$ , имеем:

$$F_{\Pi} = l_{гр} \cdot a, \quad (10)$$

$$R = 2 \cdot (l_{гр} + a). \quad (11)$$

Подставив (11) в (9), получили

$$\frac{l_{гр} \cdot a}{2 \cdot (l_{гр} + a)} = \frac{\sigma \cdot \cos \theta}{P}.$$

Отсюда ширина зазора

$$a = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l_{гр} \cdot \cos \theta}{l_{гр} \cdot P - 2 \cdot \sigma \cdot \cos \theta}.$$

При использовании керосина в качестве испытательной жидкости ( $\cos \theta = 1$ ,  $\sigma = 24 \cdot 10^{-3}$  Н/м при нормальных условиях)

$$a = \frac{2 \cdot \sigma \cdot l_{гр}}{l_{гр} \cdot P - 2 \cdot \sigma}.$$

Выражение (7) предполагает, что фильтрация жидкости протекает по кратчайшему пути, соединяющему две противоположные поверхности стенки пористого тела. В действительности, жидкость проходит путь в несколько раз больший из-за извилистости и криволинейности пор. Поэтому в (7) ввели коэффициент извилистости

$$G' = K_{изв} \cdot L \frac{8 \cdot \pi}{l_{гр} \cdot a \cdot m}, \quad K_{изв} = l_{\Pi} / L, \quad (12)$$

где  $l_{\Pi}$  — путь просачивания жидкости по криволинейной транзитной поре.

Выявили, что  $K_{изв}$  изменяется в пределах от 2 до 10 [6].

Выражение (12) предполагает, что просачивание жидкости происходит по уже изначально имевшимся транзитным каналам и не описывает гидравлические потери на образование новых транзитных пор за счет разрушения перемычек. Чтобы учесть это явление, в выражение необходимо ввести коэффициент разрыва перемычки при повышенных давлениях.

При вторичных испытаниях сократилось время просачивания жидкости и незначительно уменьшилось давление просачивания. Это объясняется тем, что в первом случае произошло разрушение тонких перемычек, которое привело к увеличению транзитных пор, а также, вероятно, и тем, что частичное вымывание графита расширило поры просачивания.

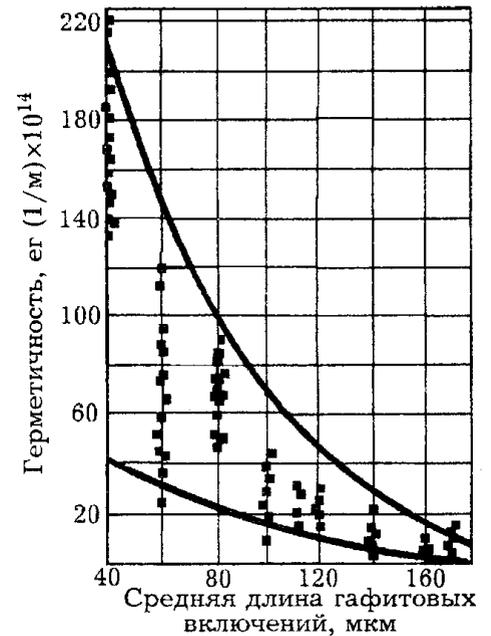
Последующие испытания тех же образцов не внесли изменений в значения герметичности. При наложении критического давления происходит разрушение перемычек, и отливка, до этого выдерживавшая высокие давления, при более низких дает течь. Такой эффект аналогичен пробую полупроводников, происходящему при наложении критической разности потенциалов, в результате чего полупроводник становится проводником. Результаты вторичных испытаний после "пробоя" перемычки совпадают с расчетной областью значений герметичности.

Коэффициент внутреннего сопротивления материала просачиванию жидкости, учитывающий "пробой" перемычек и расширение пор фильтрации, нашли как:

$$K_p = \frac{G_1}{G_2}, \quad (13)$$

где  $G_1$  — герметичность материала при первичном испытании;

$G_2$  — герметичность материала при вторичном испытании.



Совпадение экспериментальных результатов исследований с аналитической областью значений

По экспериментальным данным нашли среднее значение  $K_p$  для всех исследуемых длин графитовых включений (40—180 мкм).  $K_p = 180—200$ . Следовательно, герметичность можно рассчитать из зависимости

$$G' = K_p \cdot K_{изв} \cdot L \frac{8 \cdot \pi}{l_{гр} \cdot a \cdot m} \quad (14)$$

Выражение (14) более точно описывает и моделирует герметичность как функцию, зависящую от средней длины графитовых включений в сером чугуна с учетом извилистости пор и разрыва перемычек. Значения герметичности, полученные по этой зависимости, совпадают с практическими результатами (см. рисунок), что может говорить об адекватности полученной модели. Герметичность серого чугуна обратно пропорциональна средней длине графитовых включений. Следовательно, для повышения герметичности необходимо уменьшить их длину. Это приведет и к увеличению толщины перемычек между порами [7], что также способствует повышению герметичности.

### Литература

1. Колесниченко А.Г., Дубинин А.В. Газопроницаемость чугуна с пластинчатым графитом // Литейное производство. — 1981. — № 5. — С. 5.
2. Колесниченко А.Г., Дубинин А.В. О герметичности серых чугунов // Литейное производство. — 1979. — № 12. — С. 6 — 7.
3. Финкель В.М. Портрет трещины. — М.: Металлургия, 1981.
4. Химические методы испытания изделий на герметичность / Бударин Л.И. и др. — К.: Наук. думка, 1991.
5. Белов С.В. Пористые металлы в машиностроении. — М.: Машиностроение, 1976.
6. Прокопович И.В., Грайжевский Ф.М. Определение вероятности образования транзитной графитовой поры в структуре серого чугуна // Труды Одес. политехн. ун-та. — Одесса, 1997. — Вып. 1. — С. 25 — 26.
7. Иванова Л.А., Прокопович И.В. Влияние графитовых включений на герметичность серых чугунов // Литейное производство. — 1997. — № 2. — С. 7 — 9.

УДК 624.078.001

Ю.М. Хомяк, канд. техн. наук, доц.,  
И.А. Ширманова, инженер

## НЕЛИНЕЙНОСТЬ ДЕФОРМИРОВАНИЯ УПРУГИХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ УПЛОТНЕНИЙ

Ю.М. Хом'як, І.А. Шірманова. **Нелінійність деформування пружних металічних ущільнень.** Запропонована методика розрахунку пружних кільцевих металічних ущільнень. Проведено та аналізуються результати розрахунків навантаження деяких профілей ущільнень.

Yu.M. Homyak, I.A. Shirmanova. **Non-linearity of resilient metal gaskets deformation.** A technique of resilient ring-shaped metal gaskets design is proposed. The results of calculations of some profiles of gasket loading are presented and subjected to analysis.

Во многих неподвижных фланцевых соединениях герметизация осуществляется с помощью упругих уплотнений, которые работают при различных нагрузках, как постоянных, так и переменных, более надежно, чем пластически деформируемые прокладки. Известно большое количество конструкций упругих металлических уплотнений: полые кольца, наполненные воздухом либо инертным газом, гофрированные уплотнения с неметаллическим наполни-

*Труды*  
ОДЕССКОГО ПОЛИТЕХНИЧЕСКОГО УНИВЕРСИТЕТА

Научный и производственно-практический  
сборник

Вып.1 (5). 1998

*Машиностроение*  
*Энергетика*  
*Химия и химтехнология*

Редактор

Кострова Г.В.

Компьютерная верстка

Прокопович И.В.

Корректоры

Плескач Л.О.

Прокопович Л.В.

Адрес редакции: Украина,  
270044, Одесса-44,  
просп. Шевченко, 1,  
ОГПУ, комн. 313

---

Сдано в набор 15.06.98. Подписано в печать 01.07.98. Ризографическое издание.  
Бумага КУМ СОРУ. Формат 60×88/8. Тираж 300 экз. Цена договорная.  
Усл.-печ.л. 35,5

---