

## АНАЛИЗ ИЗМЕНЕНИЙ ПАРАМЕТРОВ ЖИДКИХ СРЕД ПРИ ФОРМИРОВАНИИ КОМПОЗИЦИОННЫХ МАТЕРИАЛОВ МЕТОДОМ ГИДРОСТАТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

*Проведен количественный и качественный анализ изменения модуля упругости ( $E$ ) и коэффициента Пуассона ( $\nu$ ) от давления. Предложен способ определения и выявлен характер изменения модуля упругости жидкостей и металлических тел от величины давления. Предложена методика определения потенциальной энергии как жидкости, так и металлических тел от величины давления, дан количественный и качественный анализ энергетических составляющих жидкости и металлических тел в процессах ВГД.*

**Ключевые слова:** гидростатическая обработка, камера высокого давления, объемное сжатие, энергия сжатия, упрочнение, модуль упругости.

### Введение

Выполненные Бриджменом систематические исследования поведения твердых тел под высоким давлением способствовали началу интенсивного изучения и практического использования новых технологических процессов. Сегодня имеются обширные экспериментальные данные о влиянии высокого давления на механические свойства в зависимости от природы вещества, его строения, фазового и структурного состояний [1].

Получение композиционных материалов методом пропитки под высоким давлением пористых оснований различными по физическим свойствам инфильтратами – одно из направлений использования высоких давлений на практике. Совместно с пропиткой под высоким давлением пористые металлические основания в зависимости от величины гидростатического давления будут претерпевать структурные изменения (упрочняться). Вопросы влияния высокого гидростатического давления как на физические и прочностные свойства пористых металлических оснований, так и на свойства жидкостей на сегодняшний день мало изучены и требуют дальнейших исследований, как и определение энергосиловых параметров самих процессов обработки.

### Анализ достижений

Технология пропитки различных пористых материалов вязкими средами под высоким давлением рассмотрена автором в ряде работ [2, 3]. В них дана математическая модель пропитки с учетом изменения физических свойств текучих сред (вязкости, плотности, сжимаемости) от величины давления (до 1 ГПа) в гидростате. Рассмотрены и проанализированы основные технологические параметры процесса пропитки с учетом неразрушаемости пористых оснований (скорость подъема давления, время выдержки под максималь-

ным давлением и скорость сброса давления в гидростате). В этой работе будут рассматриваться вопросы, связанные с изменением физических и прочностных характеристик пористых металлических основ в технологиях их гидростатической обработки вязкими средами под высоким давлением.

Свойства дефектов строения металлов являются функциями *высокого гидростатического давления* (ВГД), т.е. размножение, миграция точечных дефектов и т. д. В результате скачков модулей упругости ( $E$ ) по границам раздела зерен ВГД приводит к возникновению касательных напряжений, которые с некоторого давления  $P \geq P_{кр}$  будут вызывать генерацию новых дислокаций, движимых стремлением системы к понижению ее энергии путем релаксации напряжений [4].

Учет гидростатического давления сводится к перенормировке модулей упругости и замене геометрических параметров дефектов их значениями в гидростатически сжатых кристаллах (ГСК). Это позволяет использовать результаты линейной теории упругости с дефектами при соответствующей замене модулей упругости их перенормированными значениями [5].

Поэтому в данной работе будут рассмотрены вопросы, связанные с изменением физических характеристик (модуль Юнга, коэффициент Пуассона, объемный модуль сжимаемости) металлических пористых основ при обработке жидкими средами под высоким давлением, а также энергосиловые параметры самих процессов гидростатики.

### Постановка задачи

Как известно, сжимаемость различных материалов (металлы, жидкие среды, сплавы и др.) исследовалась Бриджменом [6]. Изменение объема исследуемых материалов от величины всестороннего давления он выразил зависимостью

$$-\Delta V/V = aP - bP^2, \quad (1)$$

где  $\Delta V/V$  – изменение объема тела, знак «-» соответствует уменьшению объема;

$P$  – гидростатическое давление (МПа);

$a$  и  $b$  – экспериментальные постоянные исследуемого материала.

Н. Н. Малинин [7] дает сравнительный анализ процентного отклонения значений сжимаемости материалов по Бриджмену (1) и теоретическому объемному модулю ( $K$ )

$$-\frac{\Delta V}{V} = \frac{P}{K} = \frac{3P(1-2\nu)}{E} = 3\varepsilon, \quad (2)$$

где  $K$  – объемный модуль упругости (МПа);

$\nu$  – коэффициент Пуассона;

$E$  – модуль упругости (МПа);

$\varepsilon$  – относительная деформация.

Погрешность в определении  $\Delta V/V$  для металлов по Н. Н. Малинину формуле 2 не превышает 10 % по сравнению с точными значениями по Бриджмену (1). Из работ [8] следует, что при гидростатическом давлении 1 ГПа у металлов (железо, медь, никель) объемная деформация будет в пределах 1 %, для алюминия – 1,3 %, свинца – 22 %.

Технология пропитки под высоким давлением пористых металлических оснований (изделий) обеспечивает сохранение их общей геометрии, но изменяет (уменьшает) внутренний объем за счет сжатия как внутрипоровых перегородок, так и самих частиц порошков, содержащих микропоры, газовые включения и др., что ведет к незначительному (до 3 % у меди при  $P = 700$  МПа) увеличению пористости [9], а также прочности [10].

Напряжения, возникающие в теле от нагрузки, пропорциональны величине относительной деформации умноженной на модуль упругости,  $\sigma = \varepsilon \cdot E$  или для гидростатического ( $\sigma = P$ ) обжатия  $P = \varepsilon \cdot E$ , где  $\sigma$  – нормальное напряжение (МПа).

Принимая во внимание, что изменение модуля упругости тела ( $E$ ) зависит от величины гидростатического давления ( $P$ ), напряжения запишутся в виде

$$P = \varepsilon \cdot E^*, \quad (3)$$

где  $E^*$  – модуль упругости, зависящий от величины гидростатического давления ( $P$ ).

Зависимость модуля упругости ( $E$ ) от давления ( $P$ ) в диапазоне до 500 МПа для алюминия, меди и стали 50 исследованы в работах [11, 12], точность измерений составляла 0,5 %. Данные представлены на графиках рис. 1.

Согласно данным работ [13], относительное изменение коэффициента Пуассона ( $\nu$ ) для металлов (Al, Cu, Ag, Ni, Pb, Co, Cd) в диапазоне гидростатического давления до 1 ГПа незначительно (0,3–0,4 %). Относительное изменение модуля упругости для этих же металлов составляет 4–7 %, что на порядок и более превышает изменение коэффициента Пуассона. Ввиду малых изменений коэффициента Пуассона ( $\nu^*$ ) (по сравнению с  $E^*$ ), можно считать, что изменение объемного модуля сжатия металлов ( $K^*$ ) пропорционально изменению линейного модуля ( $E^*$ ), т.е., изменение коэффициента Пуассона ( $\nu^*$ ) – можно не учитывать, тогда:  $K^* = E^*/3(1-2\nu)$ .

Как видно из графиков (рис. 1), изменение модуля упругости ( $E^*$ ) от величины давления носит линейный характер и, согласно зависимости  $K^* = E^*/3(1-2\nu)$ ,

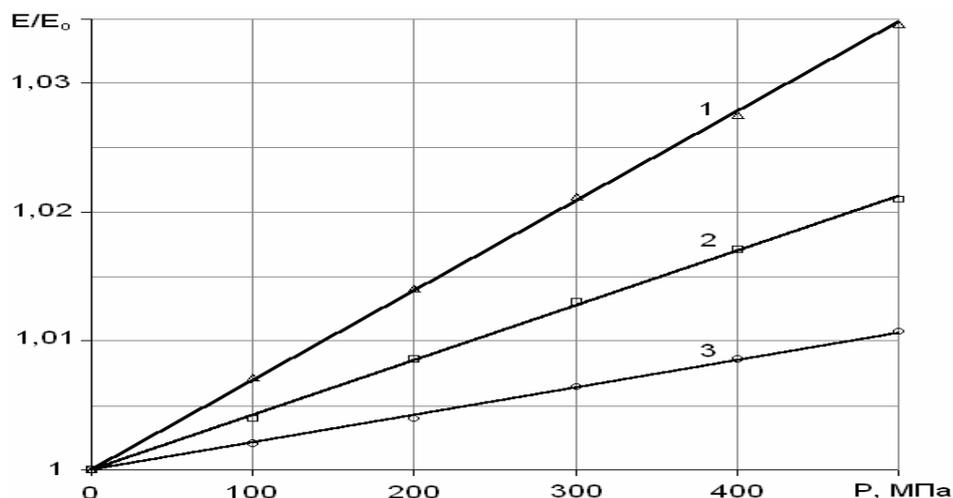


Рис. 1. Отношение переменного модуля упругости ( $E$ ), зависящего от величины гидростатического сжатия, к его значению при атмосферном давлении ( $E_0$ ):

1 – алюминия, 2 – меди, 3 – стали 50

изменение объемного модуля ( $K^*$ ) от давления будет так же линейно.

Для меди с ростом гидростатического давления, начиная с  $\sim 200$  МПа наблюдается увеличение прочности, что связано с микродеформационными процессами и их локализацией.

Упрочнение меди и ряда других металлов объясняется тем, что при определенных величинах гидростатического давления, вблизи микропор наблюдается одна система скольжения, а с ростом давления включаются и другие системы скольжения дислокаций. Взаимодействие дислокаций, принадлежащих различным плоскостям, должно приводить к образованию сидячих дислокаций Ломмера-Коттрелла и концентрироваться вблизи микропор и дефектов с количественным ростом их плотности [14].

Для металлов Al, Cu, Ag, Ni, Pb, Co, Cd и ряда других, интенсивный рост количества дислокаций и увеличение прочности начинается при давлениях  $P \geq 200$  МПа, для обычных сталей – при  $P \sim 500$  МПа [14]. Исходя из этих данных, можно утверждать, что процессы и технологии, основывающиеся на гидростатической обработке давлением 500 МПа и более, влияют как на структурные, так и на прочностные характеристики металлических пористых основ и поэтому при расчетах желательнее пользоваться скорректированными значениями  $E^*$ .

Сжимаемость любых жидких сред ( $\chi$ ) есть величина, обратная их объемному модулю упругости (сжатия)  $E_L$  и определяется выражением [15]

$$\chi = \frac{1}{E_L} = \frac{1}{V} \cdot \frac{\Delta V}{\Delta P}. \quad (4)$$

Тогда объемный модуль упругости жидкой среды, в зависимости от величины давления  $P$ , определится как

$$E_L = V \cdot \frac{\Delta P}{\Delta V}. \quad (5)$$

Исходя из уравнения Тэйта [16],

$$\frac{\Delta V}{V} = a \cdot \ln \frac{b+P}{b}, \quad (6)$$

описывающего закон изменения объема сжимаемой жидкости от величины давления и используя значение коэффициента ( $\chi$ ) (4), определяем величину объемного модуля упругости сжимаемой жидкости ( $E_L$ ) от величины давления ( $P$ )

$$E_L = \frac{(b+P) \left( 1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b} \right)}{a}, \quad (7)$$

где  $a$  и  $b$  – коэффициенты сжимаемости жидкости (Тэйта).

Изменения объемного модуля упругости от величины гидростатического давления ряда различных по физическим свойствам жидкостей представлены на графиках рис. 2.

Для многих жидкостей коэффициенты Тэйта определены и являются справочными данными [17].

Для полной оценки процессов гидростатической обработки необходимо определить в энергетических параметрах при сжатии жидкостей и металлических тел.

Полную энергию среды можно определить по величине работы, затраченной на ее сжатие в камере высокого давления. Полагаем, что сжатие жидкости выполняется линейно, т.е. усилие в гидростате при сжатии повышается от 0, до исследуемой величины (например до 1 МН) линейно. Тогда величина работы, затраченная на сжатие жидкости, будет определяться:

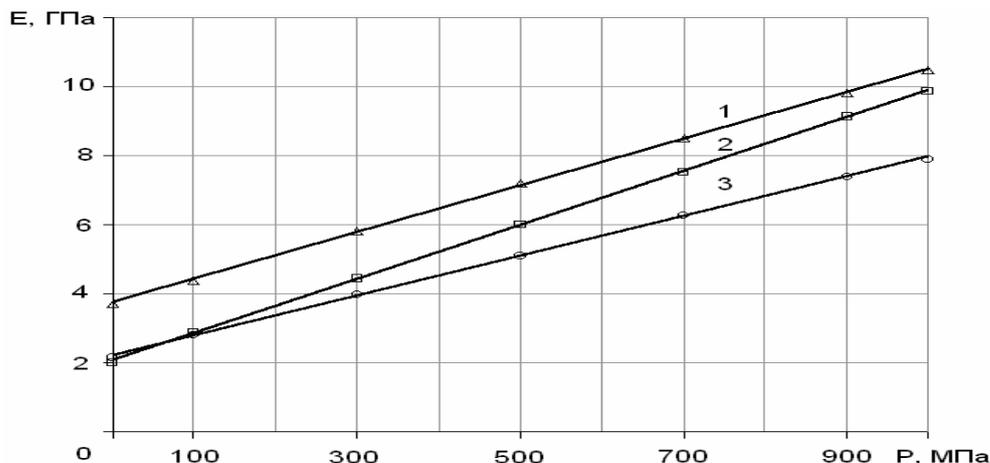


Рис. 2. Изменение объемного модуля упругости ( $E$ ) жидкостей от величины давления ( $P$ ) при их изостатическом сжатии:

1 – глицерин, 2 – трансформаторное масло, 3 – вода

$$A = \frac{F}{2} \cdot \Delta L = \frac{P}{2} \cdot \Delta V, \quad (8)$$

где  $A$  – работа, затрачиваемая на изменение объема сжимаемой жидкости (Дж);

$F$  – усилие гидростата (МН);

$\Delta L$  – изменение высоты жидкости в камере гидростата от приложенной силы  $F$  (м);

$P$  – давление жидкости в гидростате (МПа);

$\Delta V$  – величина изменения объема жидкости в гидростате от приложенного давления  $P$  (м<sup>3</sup>).

Подставляя в выражение (8) значение  $\Delta V = \Delta P \cdot V / E_L$  из (5) и учитывая, что при замерах сжимаемости ( $\chi$ )  $\Delta P$  принимает конкретные значения давления жидкости в гидростате ( $P$ ), то работа, а следовательно, и внутренняя энергия, затраченная на изменение объема жидкости, будет определяться:

$$A = U_L = \frac{P^2}{2E_L} \cdot V_L, \quad (9)$$

где  $U_L$  – потенциальная энергия жидкости (Дж);

$V_L$  – объем жидкости в гидростате (м<sup>3</sup>).

Аналогичное уравнение по определению потенциальной энергии гидростатически сжатой воды приводится в работе [18].

Величина работы (энергии), затрачиваемой на изменение (уменьшение) объема сжимаемой жидкости от давления, с учетом изменяющегося объемного модуля упругости (7) будет определяться зависимостью:

$$A = U_L = \frac{P^2 \cdot a}{2(b+P) \left( 1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b} \right)} \cdot V_L. \quad (10)$$

Полная энергия твердого тела как в упругой, так и в пластической зонах определяется [19]

$$U_T = \frac{1}{2E_T} [\sigma_1^2 + \sigma_2^2 + \sigma_3^2 - 2\nu(\sigma_2\sigma_3 + \sigma_3\sigma_1 + \sigma_1\sigma_2)] \cdot V_T, \quad (11)$$

где  $E_T$  – модуль упругости твердого тела (металлического образца), МПа;

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  – главные нормальные напряжения, МПа;

$V_T$  – объем твердого тела.

При гидростатическом сжатии полная энергия сжимаемого твердого тела с учетом гидростатики ( $\sigma_1 = \sigma_2 = \sigma_3 = P$ ), запишется

$$U_T = \frac{3P^2(1-2\nu)}{2E_T} \cdot V_T. \quad (12)$$

В деформационной теории пластичности при воз-

растающих напряжениях поведение материала в области пластических деформаций принципиально не отличается от его упругого поведения, т. е. величины напряжений и деформаций связаны между собой однозначными зависимостями, однако модуль упругости ( $E$ ) и коэффициент Пуассона ( $\nu$ ) уже не являются постоянными величинами и их заменяют на пластический модуль упругости ( $E^*$ ) и пластический коэффициент Пуассона ( $\nu^*$ ), которые зависят от степени деформирования, т. е. величины гидростатического давления ( $P$ ) [19].

Изменение  $E^* = f(P)$ , как отмечалось выше, носит линейный характер и его можно для металлов выразить зависимостью

$$E^* = E_0(1+kP), \quad (13)$$

где  $k$  – экспериментальный коэффициент изменения модуля упругости при всестороннем сжатии (рис. 1, для меди  $k = 0,0417$  ГПа<sup>-1</sup>, график 2).

Тогда изменение модуля объемной деформации определится так

$$K^* = \frac{E_0(1+kP)}{3(1-2\nu)}. \quad (14)$$

Общее уравнение энергии, затрачиваемой на процесс гидростатической обработки (пропитки с упрочнением) пористых металлических оснований будет складываться из энергии сжимаемой (пропитывающей) среды –  $U_L$  (10) и энергии на сжатие пористого металлического основания –  $U_T$  (12) и определяться как:

$$U_0 = \frac{P^2 \cdot a}{2(b+P) \left( 1 - a \cdot \ln \frac{b+P}{b} \right)} \cdot V_L + \frac{3P^2(1-2\nu)}{2E_0(1+kP)} \cdot V_T. \quad (15)$$

Изменение объема гидростатически сжимаемого металла можно определить двумя методами:

1 – из имеющихся значений коэффициентов изменения модуля упругости при всестороннем сжатии ( $k$ );

Учитывая, что при гидростатическом сжатии металлов –  $\Delta V/V = 3\varepsilon$ , можно записать

$$\varepsilon = \frac{P(1-2\nu)}{E^*}. \quad (16)$$

Тогда

$$\Delta V_T = V_0 \cdot \frac{3P(1-2\nu)}{E^*} \quad \text{или} \quad \Delta V_T = V_0 \cdot \frac{3P(1-2\nu)}{E_0(1+kP)}. \quad (17)$$

2 – из (1):  $\Delta V_T = V_0 \cdot (aP - bP^2)$  – Бриджмена.

В целях проведения энергетического анализа между гидростатически сжатыми жидкостью и твердым телом, определим изменение объема твердого тела от величины давления  $\Delta V = f(P)$ . Для этого можно использовать уравнения (17) или (1). Воспользуемся двухпараметрическим уравнением Бриджмена (1) как наиболее точным и для которого определены коэффициенты  $a$  и  $b$  многих металлов и ряда сплавов. Коэффициенты сжимаемости  $a$  и  $b$  – для меди и других металлов даны в табл. 1 [7] при давлении до 1 ГПа.

**Таблица 1** – Физические характеристики сжимаемости ряда металлов по Бриджмену

Металл	$a \cdot 10^{-7}$ , (МПа <sup>-1</sup> )	$b \cdot 10^{-12}$ , (МПа <sup>-2</sup> )	$E \cdot 10^5$ , (МПа)	$\nu$
Железо	5,83	0,8	2,0	0,3
Медь	7,16	1,04	1,12	0,32
Алюминий	13,4	3,44	0,72	0,33
Никель	5,26	0,54	2,1	0,33
Свинец	23,7	15,7	0,17	0,42

Как было указано выше, изменение объема ряда металлов составляет ~ 1 % на 1 ГПа гидростатического давления, т. е. на каждые 100 МПа приходится 0,1 % изменения объема.

На примере медной цилиндрической заготовки объемом  $10^{-4}$  м<sup>3</sup> определимся в энергетических затратах на ее сжатие и упрочнение давлением 100÷500 МПа. Используемая «рабочая жидкость» – глицерин.

Технические характеристики меди: модуль упругости  $E_0 = 112$  ГПа, модуль сдвига  $G = 42$  ГПа, коэффициент Пуассона  $\nu = 0,32$ , предел текучести  $\sigma_m = 70$  МПа.

Физические характеристики глицерина [17]: начальная вязкость  $\mu_0 = 1,48$  Па·с; коэффициенты сжимаемости (Тэйта)  $a = 0,117$  и  $b = 425$  МПа; пьезокоэффициент вязкости  $C = 0,58 \cdot 10^{-2}$  МПа<sup>-1</sup>.

Для сравнения энергетических данных по металлу (меди) и сжимаемой жидкости (глицерина) полагаем, что их начальные объемы равны  $V_L = V_T = 10^{-4}$  м<sup>3</sup>.

Данные по энергетическим составляющим 100÷500 МПа заносим в таблицу 2.

Анализ результатов данных таблицы 2 позволяет

**Таблица 2** – Энергетические характеристики жидкости и металла при различных давлениях гидростатического обжатия

Гидростат. давление (МПа)	Жидкость		Металл		Суммарная потенциал. энергия ( $U_0$ ), Дж
	Изменен. объема ( $\Delta V$ ), %	Энергия сжатия ( $U_L$ ), Дж	Изменен. объема ( $\Delta V$ ) $10^{-2}$ , %	Энергия сжатия ( $U_T$ ) $10^{-3}$ , Дж	
100	2,47	2,82	7,16	0,34	2,82
200	4,51	17,7	14,3	2,73	17,7
300	6,25	48,4	21,5	9,22	48,4
400	7,76	95,5	28,6	21,7	95,5
500	9,1	158,3	36,0	42,5	158,3

сделать ряд выводов: 1 – при гидростатической обработке металлических (пористых) заготовок значительная часть энергии расходуется на сжатие «рабочей жидкости»; 2 – при суммарном изменении объема («рабочая жидкость» + металлическая заготовка) максимальное изменение объема приходится на жидкость; 3 – об общей энергетической составляющей процесса гидростатической обработки металлических заготовок можно судить по энергии, затрачиваемой на сжатие (изменение объема) «рабочей жидкости».

Следуя данным таблицы 2, можно заключить, что:

1. Для жидкостей – зависимость изменения объема от величины давления носит линейный характер, величину изменения энергии от давления можно аппроксимировать экспоненциальной зависимостью:  $U_L = 1,75 \cdot e^{0,0097P}$ , с достоверностью аппроксимации ( $R = 0,93$ ).

2. Для металлов – зависимость изменения объема от величины давления – линейна, величина изменения энергии от давления аппроксимируется экспоненциальной зависимостью вида:  $U_T = 0,178 \cdot e^{0,0117P}$ , с достоверностью аппроксимации ( $R = 0,95$ ).

При гидростатической обработке (пропитке под высоким давлением) пористых металлических тел различными жидкими инфильтратами, подход в определении энергетических составляющих процесса аналогичен вышеописанному, за исключением объема пористого тела, который определяется как разница объема монолита и объема пор, т. е.,  $V_p = V_M - V_{POR}$ .

Исходя из вышесказанного, можно рекомендовать в процессах гидростатической обработки металлических (в том числе и пористых) заготовок, в целях оптимизации затрат энергии подбирать контейнеры высокого давления с «рабочей жидкостью», максимально соответствующие объему обрабатываемого изделия с поправкой на изменение объема самой жидкости от давления.

### Общие выводы по работе

1. Дан как качественный, так и количественный анализ влияния модуля упругости  $E$  и коэффициента Пуассона  $\nu$  под высоким гидростатическим давлением (ВГД) на структурные и прочностные характеристики металлических (пористых) оснований.

2. Определен характер зависимости от величины давления  $E^*$ ,  $\nu^*$  и  $K^*$  в процессах ВГД.

3. Предложен способ определения и выявлен характер изменения модуля упругости жидкостей от величины давления.

4. Предложена методика определения потенциальной энергии как жидкости, так и металлических тел от величины давления.

5. Дан количественный и качественный анализ потенциальной энергии как жидкости, так и металлических тел в процессах ВГД.

#### Перечень ссылок

1. В. А. Белошенко / Теория и практика гидроэкструзии // В. А. Белошенко, В. Н. Варюхин, В. З. Спусканюк. – К. : Наук. думка. – 2007. – 248 с.
2. Косинский В. В. Математическое обоснование влияния основных технологических факторов на процессы пропитки недеформируемых пористых оснований вязкими средами под высоким давлением / В. В. Косинский // Порошковая металлургия. – 2009. – № 1/2. – С. 18–28.
3. Косинский В. В. Определение пьезокоэффициента вязкости различных жидкостей и их смесей при высоких давлениях. Физика и техника высоких давлений : сб. науч. тр. НАНУ / Косинский В. В. – № 1. – Т. 18. – Донецк, 2008. – С. 93–100.
4. Влияние высоких давлений на вещество. Т. 1 / [под ред. ЧК АН УССР Пилянкевича А. Н.]. – К. : Наук. думка. – 1987. – 232 с.
5. Токий В. В. Влияние гидростатического давления на дислокации / В. В. Токий, В. И. Зайцев // Физика твердого тела. – 1973. – Т. 15. – С. 2460–2467.
6. Бриджмен П. В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. – М. : ИЛ, 1955. – 98 с.
7. Малинин Н. Н. Прикладная теория пластичности и ползучести. – М. : Машиностроение, 1968. – 400 с.
8. Бриджмен П. В. Новейшие работы в области физики высоких давлений / Бриджмен П. В. – М., 1948. – 300 с.
9. Косинский В. В. Анализ поведения пористых металлических основ при изостатической обработке жидкостями высокого давления / Косинский В. В. // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2008. – № 2. – С. 76–84.
10. Петров Ф. И. Кинетика залечивания пор и упрочнение меди при всестороннем сжатии Петров Ф. И., Разуваева М. В. // Журнал технической физики. – 2002. – Т. 72, вып. 8. – С. 130–132.
11. Ехлаков А. Д. О влиянии давления на модуль Юнга некоторых металлов / Ехлаков А. Д., Гладковский В. А., Родионов К. П. // ФММ. – 1957. – вып. 3. – 70 с.
12. Ехлаков А. Д. Новый метод определения зависимости модуля Юнга твердых тел от давления / Ехлаков А. Д., Гладковский В. А. // ФММ. – 1959. VII, вып. 1. – С. 53–55.
13. Воронов Ф. Ф., Верещагин Л. Ф. Влияние гидростатического давления на упругие свойства металлов. I. Экспериментальные данные / Воронов Ф. Ф., Верещагин Л. Ф. // ФММ. – 1961. – № 3. – С. 15–17.
14. Залечивание микропор под действием гидростатического давления и упрочнение металлов / [Бетехтин В. И., Петров А. И., Орманов Н. К. и др.]. // ФММ. – 1989. – Т. 67, вып. 2. – С. 40–43.
15. Х. Кухлинг Справочник по физике / Х. Кухлинг ; под ред. Е. М. Лейкина. – М. : Мир, 1983. – 520 с.
16. Циклис Д. С. Техника физико-химических исследований при высоких и сверхвысоких давлениях / Циклис Д. С. – М. : Химия, 1976. – 432 с.
17. Исследования в области высоких давлений / [под ред. Золотых Е. В.]. – М. : Изд-во стандартов, 1987. – 304 с.
18. Процессы изостатического прессования / [под ред. П. Дж. Джеймса]. – М. : Металлургия, 1990. – 192 с.
19. Работнов Ю. Н. Сопrotивление материалов / Работнов Ю. Н. – М. : Изд-во физико-математической литературы, 1962. – 456 с.

Одержано 14.10.2009

V. V. Kosinskiy

## THE ANALYSIS OF CHANGES OF LIQUID MEDIUM PARAMETERS OF POROUS METAL BODIES AT COMPOSITE FORMING BY HYDROSTATIC TREATMENT

*Проведено кількісний і якісний аналіз зміни модуля пружності ( $E$ ) і коефіцієнта Пуассона ( $\nu$ ) від тиску. Запропоновано спосіб визначення і виявленний характер зміни модуля пружності рідин і металевих основ від величини тиску. Запропоновано методіку визначення потенційної енергії, як рідини, так і металевих основ від величини тиску, даний кількісний і якісний аналіз енергетичних складових рідини і металевої основи в процесах ВГД.*

**Ключові слова:** *гідростатична обробка, камера високого тиску, об'ємне стиснення, енергія стиснення, ущільнення, модуль пружності.*

*The quantitative and qualitative analyses of elasticity modulus ( $E$ ) variation and Poisson coefficient ( $\nu$ ) from pressure are done. The method of determination of elasticity modulus variation in liquids and metal bases from pressure value is given and its character is discovered. The method of potential energy determination both liquid and metal bases from pressure value is suggested. The quantitative and qualitative analyses of energy component of liquid and metal bases in HHP (High Hydrostatic Pressure) processes is given.*

**Key words:** *hydrostatic treatment, high-pressure chamber, three-dimensional compression, pressure energy, hardening, modulus of elasticity.*