

“Закономерности процесса прессования и формирования свойств порошковых композитов на основе ванадийсодержащего порошка железа”.

Поляков П.А.

620049, Екатеринбург, Институт машиноведения УрО РАН

Тел. (3432) 74-50-51

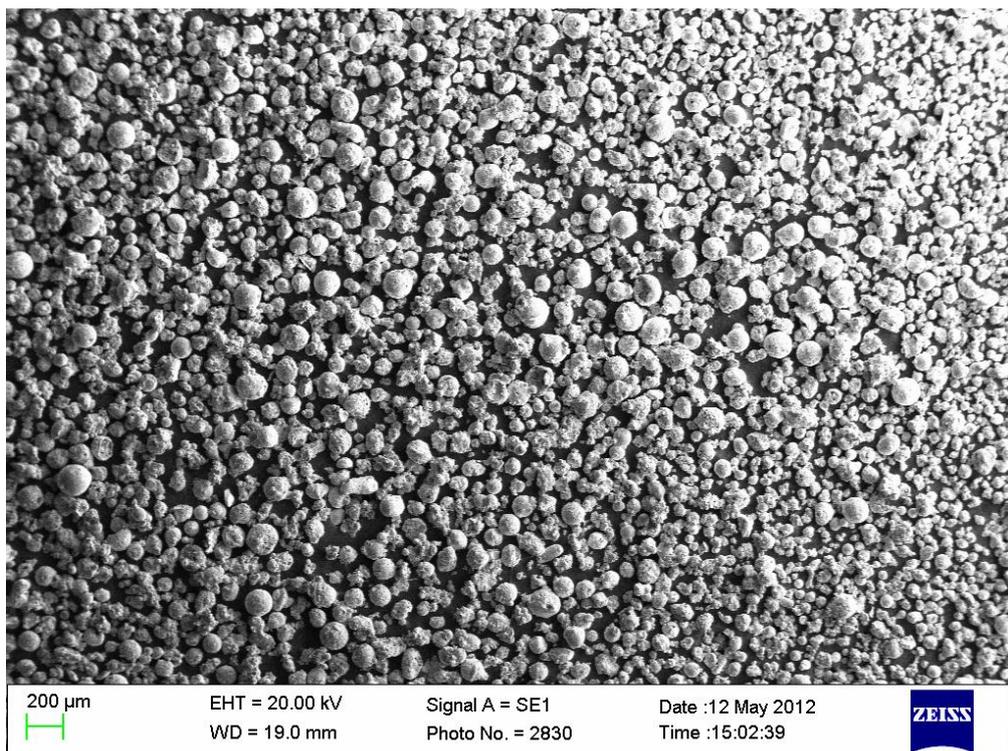
e-mail: smokie84@mail.ru

Современные тенденции в области порошковой металлургии связаны с получением материалов с принципиально новыми свойствами, малой неоднородностью свойств, высокой пластичностью. Так, для повышения прочности и твердости спеченного железа, в железный порошок при приготовлении порошковой смеси вводят различные легирующие добавки, железографитные композиции обладают антифрикционными свойствами и т.д. В связи с этим возникает задача выбора оптимальных исходных составов смесей порошков и наполнителя, обеспечивающих формирование необходимых физико-механических, магнитных и иных свойств материалов.

Известно, что этап прессования в закрытой цилиндрической пресс-форме является одной из основных технологических операций обработки давлением порошковых материалов, поскольку в результате прессования получается заготовка, по форме и размерам соответствующая готовому изделию с припусками, необходимыми для последующих операций (выдавливание, прокатка и т.д.).

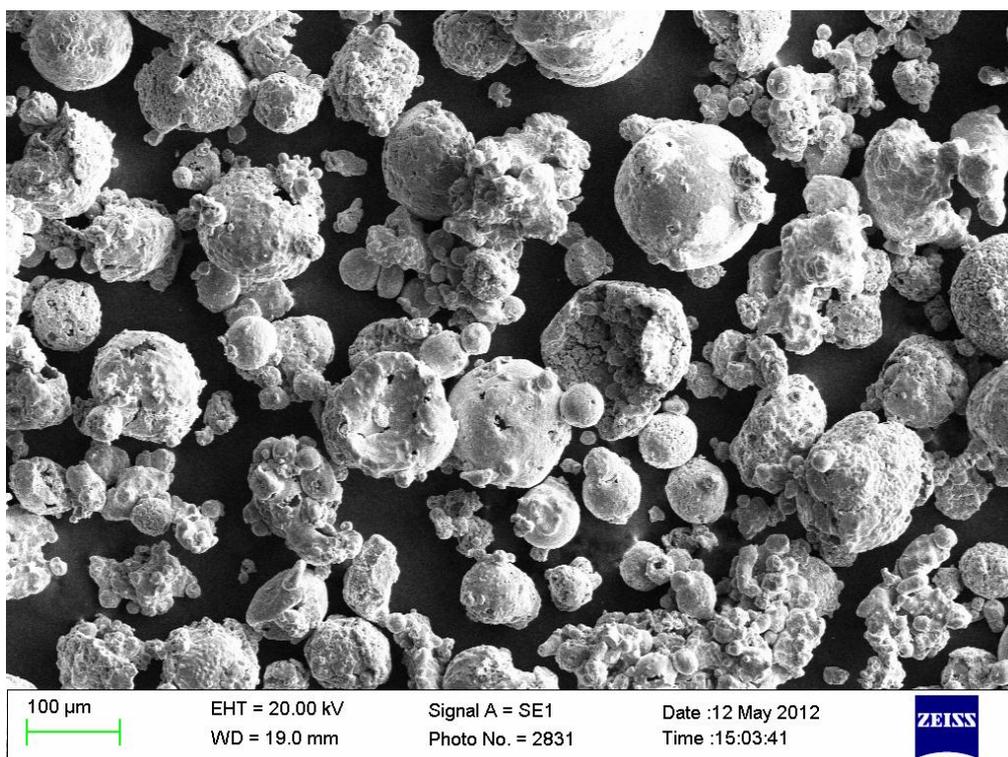
В докладе исследованы образцы порошковых композиции, полученных механической активацией ванадийсодержащих порошков железа в смеси с Zn, Cu, P, C в количестве 1,5 мас. % на измельчителе вибрационном ИВ-микро. Шихты на основе порошка железного были получены в институте металлургии УрО РАН и имели следующий химический состав, мас. %: 0,027 C; 0,160 Si; 0,144 Mn; 0,266 V; 0,530 O<sub>2</sub>; Fe - основа. Для исследований были выбраны две партии порошка: фракция с размером частиц менее 315 мкм и

фракция с размером частиц менее 160 мкм. В качестве добавок ис-



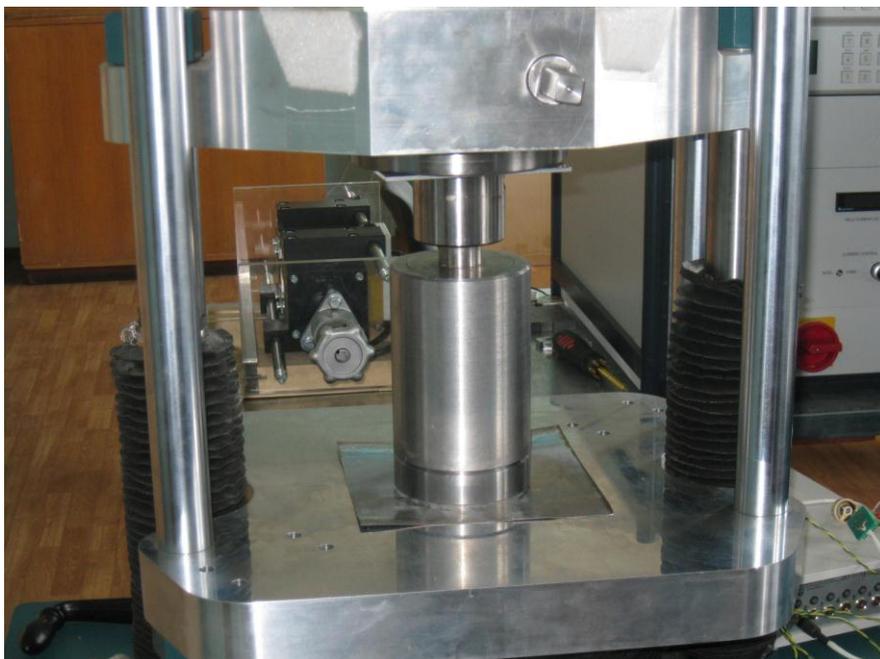
пользовали порошки цинка распыленного, меди электролитической, порошок железо-фосфор и графит карандашный.

Порошок Fe № 3112, фракция менее 160 мкм



Исходный порошок с массой навески 0,009кг брикетировали односторонним прессованием в цилиндрической пресс-форме диаметром 9,6мм при комнатной температуре и давлениях

700МПа и 1000 МПа.



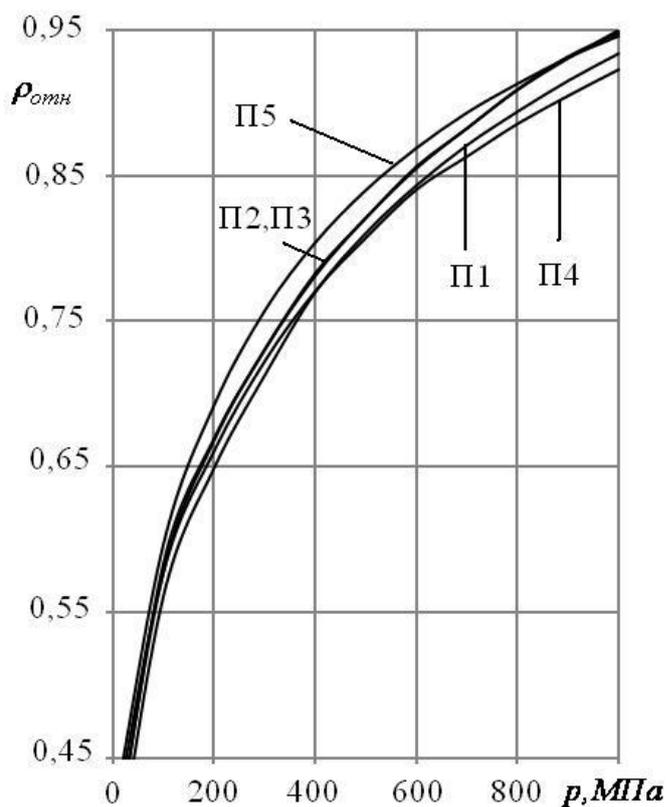
## Брикетирование образца.

Навеска выбрана из расчета, что при получении беспористой заготовки отношение ее высоты к диаметру составит  $\sim 1,7$ . Это обусловлено тем, что часть прессовок,

полученных при давлении 700МПа, в дальнейшем будут использоваться для экспериментальных исследований процесса полунепрерывного выдавливания и, таким образом, определяется параметрами пресс-оснастки для реализации указанного процесса.

Для исследований были взяты по два образца каждой порошковой композиции. Поскольку оказалось, что плотности прессовок, полученных из композиций на основе железного порошка фракции менее 315 мкм и фракции менее 160 мкм, отличаются незначительно (в пределах 1,0-1,5%), поэтому далее рассматриваются усредненные значения по обеим партиям. Прессовки обозначены следующим образом: П1 – исходный железный порошок; П2 – Fe+1,5%Zn; П3 - Fe+1,5%Cu; П4 - Fe+1,5%P; П5 - Fe+1,5%C.

На рис.1 представлены графики зависимости относительной плотности  $\rho_{отн}$  (плотность прессовки, отнесенная к плотности компакта) исследованных порошков от давления прессования  $p$ . Видим, что различие в величине плотности порошков достаточно невелико, что очевидно объясняется малым количеством добавок цинка, меди, фосфора и графита к исходному порошку. При этом есть особенности процесса уплотнения каждого конкретного порошка. Так, при  $p = 400\text{МПа}$  плотность  $\rho_{отн}$  не превышает 0,77-0,8 (см. рис. 1) и уплотнение происходит в основном за счет лучшей укладки частиц и, следовательно, определяется параметрами межчастичного трения. В этом случае силы, действующие на частицу достаточны для осуществления межчастичного сдвига, но не достигают величины, необходимой для пластического деформирования частицы (исключая смятие в зонах контакта).



Наименьшая уплотняемость при указанном давлении у порошков П1 и П4, лучше других уплотняется порошок П5. Что касается композиций с добавками цинка и меди (П2 и П3), кривые уплотнения для них практически совпадают (см. рис. 1).

Рис. 1. Графики уплотнения порошков.

1 – П1; 2 – П2; 3 – П3; 4 – П4; 5 – П5

Действительно, применение более твердых порошков железо-фосфор в процессе механоактивации способствует

существенному (в несколько раз) измельчению порошка железа. Средний размер частиц уменьшается, также уменьшаются и показатели сферичности (с 0,571 до 0,507), что свою очередь ведет к росту суммарной контактной поверхности частиц и, как следствие, некоторому ухудшению уплотняемости, поскольку на стадии структурной деформации она существенно зависит от размеров и количества площадок межчастичного контакта и состояния поверхности частиц.

Что касается добавок меди, цинка и графита, они являются более мягкими по сравнению с основой (порошком железа), и, таким образом, способствуют лучшему уплотнению на данной стадии прессования, в том числе за счет того, что выступают в качестве смазки для контактных поверхностей частиц. При этом лучшая уплотняемость достигается для порошка П5 (с добавкой графита).

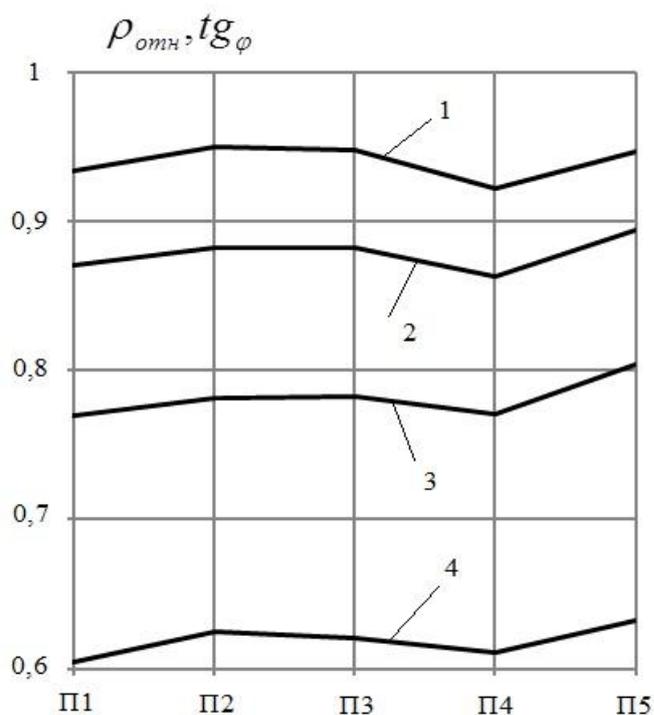
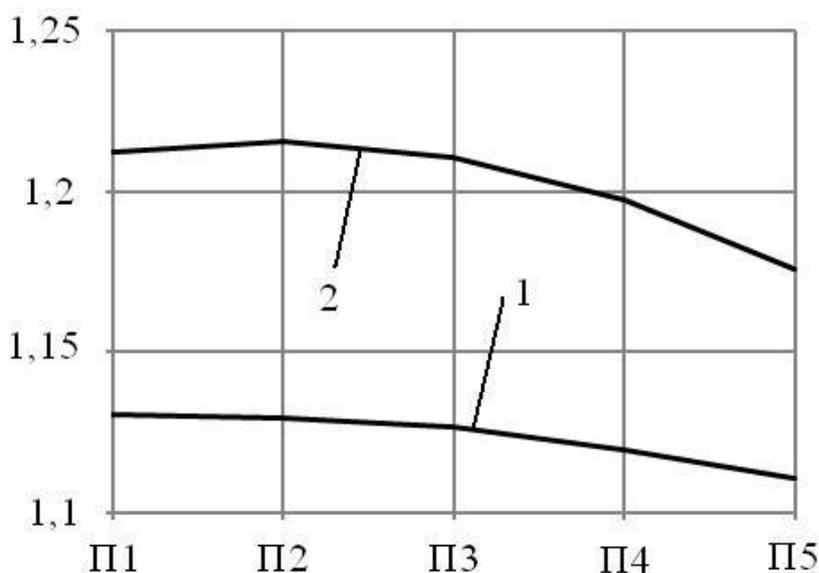


Рис.2. Плотность

прессовок  $\rho_{отн}$  при давлениях 1000 МПа (1), 700 МПа (2), 400 МПа (3) и коэффициент внутреннего трения  $tg\varphi$  (4).

Заметим, что особенности формирования плотности заготовок на данной стадии прессования хорошо коррелируют с результатами измерения угла естественного откоса  $\varphi$  (угла внутреннего трения) порошков. Результаты представлены на рис. 2, где также приведены значения плотности исследованных порошковых композиций при давлениях 400 МПа, 700 МПа и 1000 МПа. Действительно видим, что линии 2-4 имеют схожий характер. Это подтверждает предположение работы: Поляков А.П. “О влиянии размера частиц на уплотняемость порошка”, в которой на основе анализа экспериментальных данных по прессованию металлических порошков различной дисперсности утверждается, что в качестве интегральной характеристики уплотняемости порошков на стадии структурной деформации можно принять угол внутреннего трения.

Заметим, что плотность порошковых композиций при давлении 1000 МПа (линия 1, см. рис.2) в зависимости от состава порошков меняется несколько иначе, чем при меньших давлениях (линии 2-3, см. рис.2). В частности, если при давлениях 400 МПа и 700 МПа максимальная плотность достигалась для порошка П5 (с добавкой графита), то при давлении 1000 МПа плотность указанного порошка практически такая же, как и у порошков П2 и П3 (с медью и цинком). Действительно, с увеличением давления прессования основное влияние на уплотняемость оказывает пластическая деформация частиц, сначала в приконтактных областях, а затем охватывая объем всей частицы. При этом характер уплотнения порошков в зависимости от добавок меняется, лучше уплотняются более пластичные материалы. Таким образом, степень уплотнения при изменении давления от 400-700 МПа до 1000 МПа характеризует пластичность



порошковой композиции.

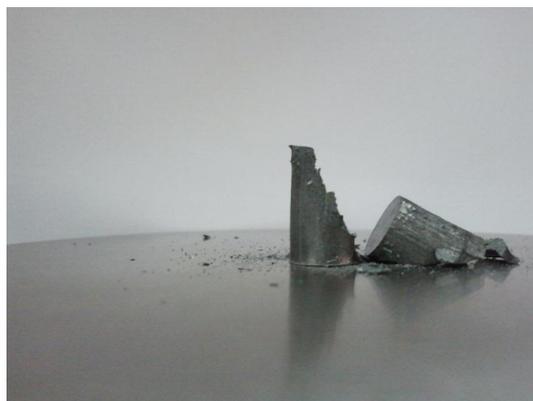
Рис. 3. Отношение плотности прессовок при давлениях 700 МПа и 1000 МПа к плотности при давлении 400 МПа.

Данные рис.2, касающиеся плотности порошковых композиций при различных давлениях

прессования, представлены на рис. 3 в виде отношения плотности прессовок  $\rho_{отн}$  при  $p = 700 \text{ МПа}$  и  $p = 1000 \text{ МПа}$  к плотности, достигнутой при давлении  $p = 400 \text{ МПа}$ , они обозначены как  $\rho_{отн700} / \rho_{отн400}$  и  $\rho_{отн1000} / \rho_{отн400}$ . Видим, что максимальное изменение плотности при увеличении давления от 400 МПа до 1000 МПа наблюдается для порошков П1-П3, несколько меньше для порошка П4 (с фосфором), а минимальное для железографитной композиции (порошок П5). Таким образом, порошок П5 является наименее пластичным.

Также были выполнены исследования прочностных свойств полученных заготовок. Сделано это было по следующим соображениям. Известна достаточно типичная схема получения изделий из порошкового сырья: порошок - прессовка - спеченное порошковое изделие - термообработка - деталь. Очевидно, что каждая последующая операция формирует структуру и свойства с учетом влияния изменений, внесенных на предшествующих этапах. Поэтому данные о свойствах заготовок, полученных прессованием в закрытой пресс-форме, позволят оценить степень и характер влияния последующих операций термомеханической обработки (спекание, выдавливание и т.д.) на формирование структуры и свойств готовых изделий. При этом экспериментальные данные о прочностных свойствах порошковых тел логично рассматривать с точки зрения соотношения результатов, полученных для различных порошков, а не по их абсолютным значениям, как рассматривалось в работе Акименко В.Б., Буланов В.Я., Гуляев И.А., Залазинский Г.Г., Калашникова О.Ю., Щенникова Т.Л., Анциферов В.Н. "Состав, структура и свойства железных и легированных порошков".

На прессовках, полученных при  $p = 700 \text{ МПа}$ , измеряли твердость по Бринеллю (НВ) шариком  $\varnothing 2,5 \text{ мм}$  при нагрузке 613Н (ГОСТ 9012-59).



Образцы после измерения твердости и испытания на сжатие

Результаты измерения твердости позволяют получить сравнительную оценку прочностных свойств прессовок. Так, в выше указанной работе по результатам исследования образцов различной плотности из железного порошка, полученных изостатическим прессованием, показано, что связь величины НВ с пределом прочности при растяжении  $\sigma_{\epsilon}$  может быть удовлетворительно описана линейной зависимостью.

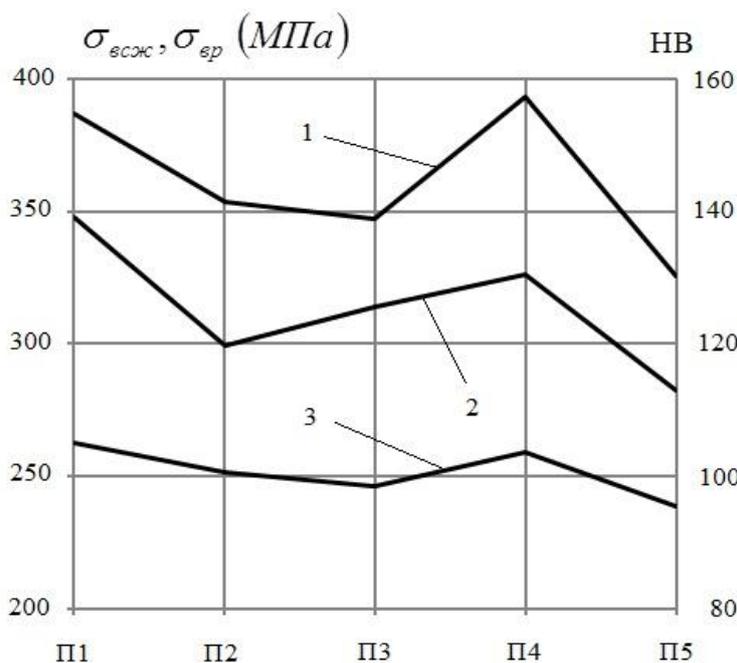
С учетом выбора навески, а именно: отношение высоты к диаметру порядка 1,7 в беспористом состоянии (см. выше) образцы при  $p = 700 \text{ МПа}$  характеризуются отношением высоты к диаметру  $\sim 2$ , следовательно, плотность по высоте (а значит и твердость) распределена неравномерно. Для сравнительного анализа выбрано среднее между значениями НВ для верхней и нижней части прессовок. Для численной оценки предела прочности при растяжении компакта из данного порошка  $\sigma_{\epsilon p}$  в первом приближении можно использовать формулы, приведенные в работе (см. выше):

$$\sigma_{\epsilon} = \sigma_{\epsilon p} \cdot (\rho_{\text{отн}})^{3,4}, \quad \sigma_{\epsilon} = 0,23 \text{ НВ}, \quad (1)$$

где  $\sigma_{\epsilon}$  - предел прочности при растяжении прессовки с плотностью  $\rho_{\text{отн}}$ .

В этом случае для состава П4  $\sigma_{\epsilon p} = 391 \text{ МПа}$ , а для П5  $\sigma_{\epsilon p} = 323 \text{ МПа}$ , т.е. различие составляет порядка 20%. Значение  $\sigma_{\epsilon p}$  для порошка П1 близко к значению для порошка П4, тогда как величины  $\sigma_{\epsilon p}$  для порошков П2 и П3 являются промежуточными между максимальным и минимальным значениями для исследованных по-

рошковых композиций и составляют порядка 350МПа.



Кроме того, на образцах, спрессованных при давлении 1000МПа, определен предел прочности на сжатие.

Рис. 4. Пределы прочности  $\sigma_{вр}$  (1) и  $\sigma_{сжс}$  (2) и твердость НВ (3).

На рис. 4 даны результаты измерения величины НВ (среднее значение по высоте, см. выше), предела прочности на сжатие и рассчитанного по формуле (1) значение предела прочности на растяжение для всех исследованных прессовок. Расчет предела прочности на сжатие для компактного материала не выполнялся ввиду того, что в данном случае нужна была, прежде всего, сравнительная качественная оценка (см. выше). При этом выбор подходящей расчетной формулы, аналогичной (1) и связывающей предел прочности порошковой заготовки на сжатие с текущей пористостью из большого количества известных теоретических и эмпирических зависимостей, представляется затруднительным без проведения дополнительных исследований по их идентификации. Видим, что характер изменения пределов прочности на растяжение и сжатие в целом идентичен (линии 1 и 2, см. рис. 4).

Исходя из результатов, представленных на рис. 4 можем сделать вывод о том, что наибольшую прочность обеспечивают порошки П1 (исходный) и П4 (с добавкой фосфора), а наименее прочным является порошок П5 (с добавкой графита).

#### Заключение.

1. Выполнены исследования процесса прессования заготовок из ванадийсодержащих порошков железа с добавками Zn, Cu, P, C в количестве 1,5 мас. %. Показано, что указанные добавки к исходному порошку слабо влияют на процесс уплотнения.
2. Из анализа кривых уплотнения следует, что наименьшей пластичностью обладает ванадийсодержащий порошок железа с добавкой графита.

3. По результатам измерения твердости НВ выполнена оценка прочностных свойств неспеченных заготовок. Показано, что наибольшей прочностью на растяжение обладают исходный порошок и порошок с добавкой фосфора, а наименьшей порошок с добавкой графита.