

УДК 621.072

## СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ УПЛОТНЕНИЯ СТРУКТУРНОНЕОДНОРОДНЫХ МЕХАНИЧЕСКИХ СМЕСЕЙ НА ОСНОВЕ ЖЕЛЕЗА

Митюшкин Антон Александрович <sup>(1)</sup>, Груздев Дмитрий Павлович <sup>(1)</sup>, Сизов Николай Александрович <sup>(1)</sup>, Кокорин Алексей Валерьевич <sup>(2)</sup>

Аспирант <sup>(1)</sup>, студент <sup>(2)</sup>,  
кафедра «Материаловедение и обработка металлов давлением»  
ГОУ ВПО Ульяновский государственный технический университет

Научный руководитель: доц., к.т.н. В.Н. Кокорин, заведующий кафедрой  
«Материаловедение и обработка металлов давлением»

Характерной тенденцией современного промышленного производства является создание новых машин и механизмов с высокими рабочими параметрами на основе использования заготовок и деталей с высоким уровнем технологических и потребительских свойств.

Основным потребителем высокоплотных заготовок и деталей являются отрасли автомобилестроения, машиностроения, прокатки и ряд других. Высокоплотные механические смеси могут применяться в качестве исходных заготовок при изготовлении металлопроката, при получении изделий типа «фольга», в процессах интенсивного пластического деформирования (формообразования) по схемам динамическое горячее прессование (ДГП), гидроштамповки, холодная объемная штамповка (ХОШ); в качестве брикетов (вторичное сырье) в процессах промышленного рециклинга твердых техногенных отходов металлургических комбинатов; в качестве деталей конструкционного назначения.

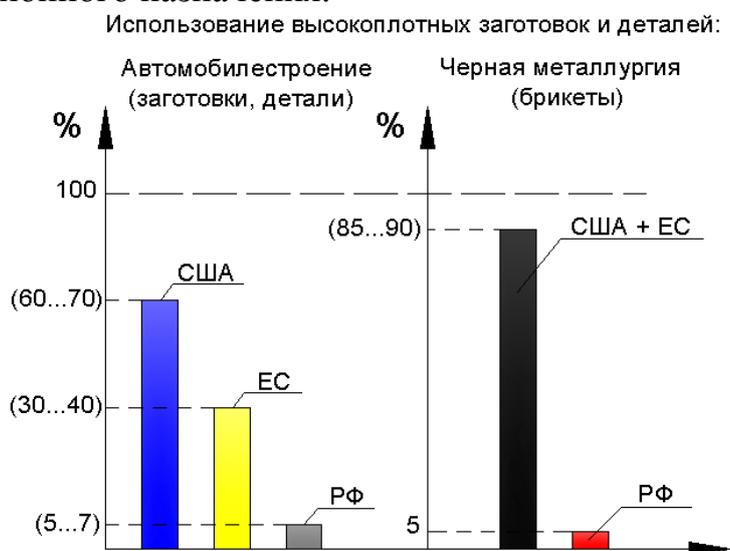


Рис. 1. Сравнительный анализ использования высокоплотных заготовок и деталей

На диаграмме (рис. 1.) представлено использования изделий из порошковых материалов по отраслям в промышленно развитых странах мира. Следует отметить, процент использования изделий из порошковых материалов в РФ существенно отстает от США и стран ЕС.

Развитие порошковой металлургии основывается в значительной мере на разработке и использовании новых прогрессивных технологий консолидации дисперсных металлов, направленных на существенную минимизацию остаточной пористости и созданию благоприятной структуры материала.

В экспериментальных исследованиях, проведенных на кафедре «Материаловедение и ОМД» Ульяновского государственного технического университета, изучались вопросы структурообразования при прессовании структурнонеоднородных плотноупакованных механических смесей из железосодержащих порошковых материалов в присутствии жидкой фазы (вода, ацетон). Использована жесткая прессформа, состоящая из обоймы, верхнего пуансона и оправки. Прессование осуществлялось на гидравлическом прессе модели ПГ-60 с использованием односторонней схемы приложения статической нагрузки. Выбор диапазона прикладываемых усилий определялся природой использованного материала (железный порошок АНС100.29).

В экспериментах применялись следующие механические смеси:

- железный порошок;
- железный порошок и жидкая фаза (вода) в пропорции (85:15), исходная влажность  $W_0 = 15\%$ ;
- железный порошок и жидкая фаза (ацетон) в пропорции (85:15), исходная влажность  $W_0 = 15\%$ ;

Выбор жидкой фазы определяется различной вязкостью применяемых жидкостей.

По результатам экспериментов построены экспериментальные кривые уплотняемости трех видов механических смесей (рис. 2.), обоснована концепция стадийности процессов прессования металлических порошков в присутствии жидкой фазы.

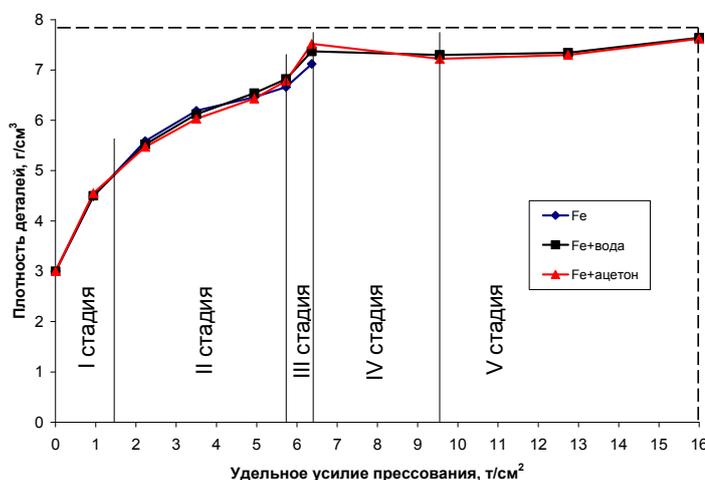


Рис. 2. Экспериментальные кривые уплотнения в присутствии жидкой фазы

Уплотнение сыпучей среды сопровождается двумя процессами: межчастичным смещением (структурной деформацией) и деформацией самих частиц с образованием и расширением зон контактов. Структурная деформация преобладает на начальной стадии уплотнения и может быть достаточно протяженной.

В работе [1] установлено, что если контактные напряжения превышают прочность контактных поверхностей, то происходит их частичное разрушение с образованием поровых каналов, соединяющих закрытые поры с тупиковой и внешней газовой средой (рис. 3б), что наглядно устанавливается на IV стадии уплотнения (рис. 2).

Были проведены металлографические исследования по изучению структурообразования на различных (1-5) стадиях уплотнения (рис. 3). Использован микроскоп «OLIMPUS» (программное обеспечение «SIAMS 700»), увеличением  $\times 100$ ;  $\times 200$ ;  $\times 400$ . Проводилась подготовка образцов:

а) травление четырехпроцентным раствором азотной кислоты (изучение межграницных контактов);

б) образцы после полирования (без травления) – использованы для установления общей пористости и траектории образования поровых кластеров.

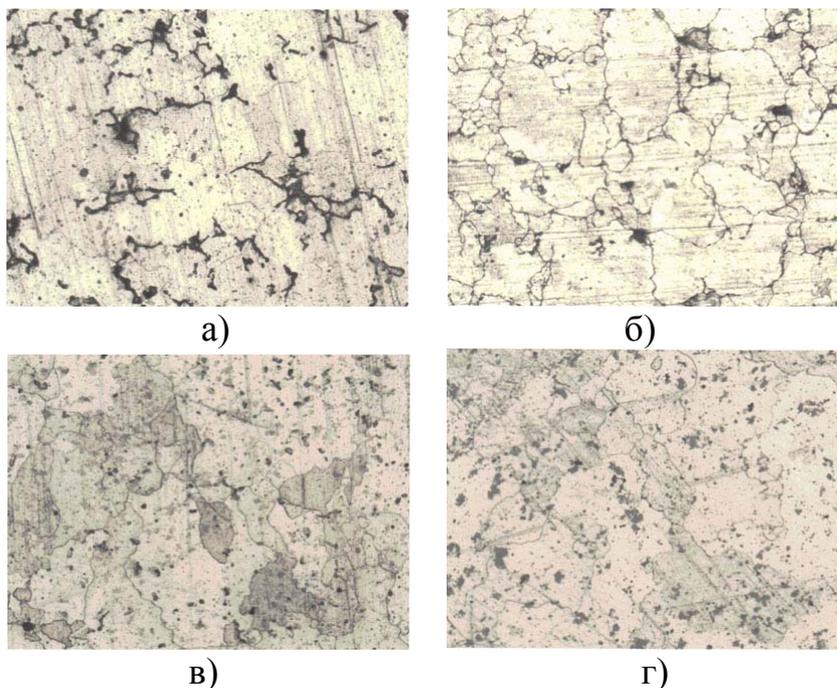


Рис. 3. Постадийное структурообразование при прессовании механических смесей: а – II стадия; б – III стадия; в – IV стадия; г – V стадия.

Установлено, что на IV, V стадиях (образцы группы «а») прессования наблюдается интенсивный рост зерен (объединенные в единый конгломерат соседних зерен за счет межкристаллитного сращивания). Данный эффект был отмечен профессором А.П.Гуляевым при изучении структуры деформируемых тел [2]. Им была предложена модель рассыпания (растворения) границ зерен, механизмом которого является двойникование.

Полное растворение границ приводит к объединению соседних зерен в один единый зеренный конгломерат.

Развитие сращивания происходит в результате синхронной с деформацией миграции границ одних контактирующих зерен за счет других [1].

Интенсивное межкристаллическое сращивание при прессовании механических смесей с использованием жидкой фазы установлено на IV, V стадиях прессования (рис. 3 в-г), причем завершение образования зеренных конгломератов наблюдается на V стадии, где моделируется регламент экструзии.

Таким образом, установлено явление межчастичного сращивания на завершающих стадиях прессования, что обуславливает существенное повышение уровня механических свойств отпрессованных заготовок и деталей.

В экспериментальных исследованиях было рассмотрено влияние свойств жидкости ( $\xi$ ), зазора ( $z$ ) и исходной влажности ( $w$ ) смеси на процесс консолидации порошковых материалов. В качестве параметров оптимизации были приняты: относительная плотность заготовок на 4-ой (P4) и 5-ой (P5) стадиях, а также температура жидкости ( $\Delta T$ ) вытесненной в зазор.

В соответствии с планом эксперимента  $N=2^3$  опыта с трехкратной воспроизводимостью каждой точки, статическая обработка полученных результатов проводилась при использовании стандартной программы регрессионного и дисперсионного анализа по методу наименьших квадратов.

Получена комплексная параметрическая модель в виде полиномов множественного порядка, определяющая влияние плотности, зазора и влажности на плотность 4-ой, 5-ой стадии прессования железосодержащих порошков.

**Таблица 1. Моделирование уплотнения на 4ой и 5ой стадии**

№ п/п	$\xi (x_1)$	$z (x_2)$	$w$ $(x_3)$	$p_4^{\text{отн}}$ $(y_1)$	$p_5^{\text{отн}}$ $(y_2)$	$\Delta T^{\text{отн}}$ $(y_3)$
1	(+) 0,127	(+) 0,025	(+) 0,2	0,915	0,969	0,4
2	(+) 0,127	(+) 0,025	(-) 0,1	0,902	0,968	0,3
3	(+) 0,127	(-) 0,005	(+) 0,2	0,895	0,961	0,2
4	(+) 0,127	(-) 0,005	(-) 0,1	0,895	0,958	0,2
5	(-) 0,099	(+) 0,025	(+) 0,2	0,928	0,973	0,5
6	(-) 0,099	(+) 0,025	(-) 0,1	0,909	0,968	0,3
7	(-) 0,099	(-) 0,005	(+) 0,2	0,902	0,965	0,2
8	(-) 0,099	(-) 0,005	(-) 0,1	0,895	0,958	0,2

$$Y_1=0.905179-0.241071x_1+0.8375x_2+0.0975x_3$$

$$Y_2=0.960321-0.071429x_1+0.45x_2+0.04x_3$$

$$Y_3=0.144643-0.892857x_1+8.75x_2+0.75x_3$$

На рисунках 4-9 представлена графическая интерпретация результатов экспериментов по изучению функциональных связей свойств и технологических характеристик изделий и процесса уплотнения.

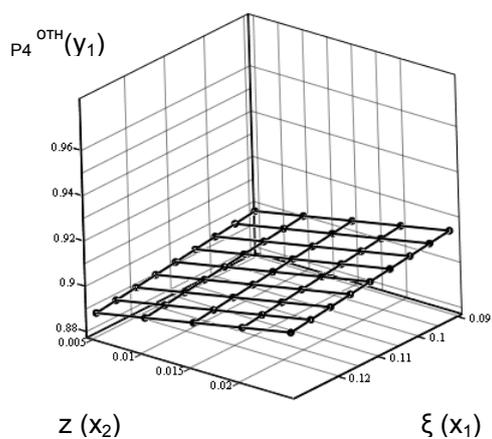


Рис. 4. Функциональная зависимость:  
 $p_4^{\text{отн}} = f(z, \xi)$  при  $w=10\%$ .

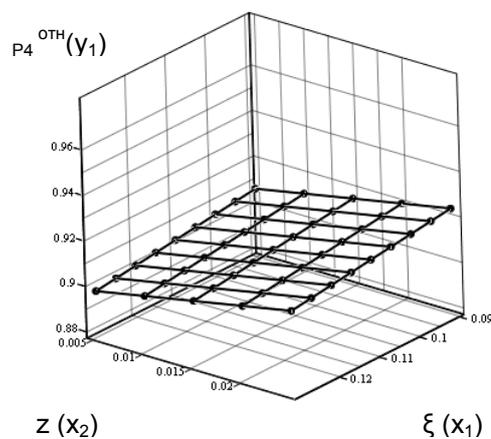


Рис. 5. Функциональная зависимость:  
 $p_4^{\text{отн}} = f(z, \xi)$  при  $w=20\%$ .

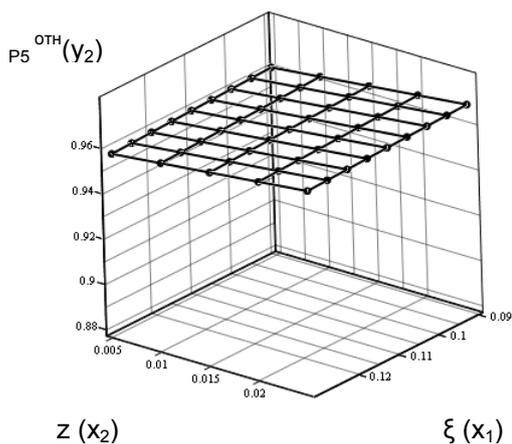


Рис. 6. Функциональная зависимость:  
 $P5^{OTN} = f(z, \xi)$  при  $w=10\%$ .

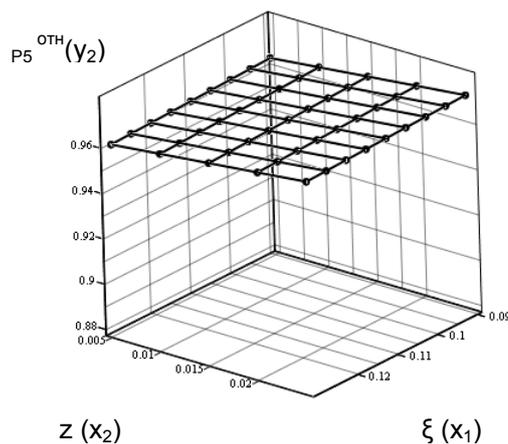


Рис. 7. Функциональная зависимость:  
 $P5^{OTN} = f(z, \xi)$  при  $w=20\%$ .

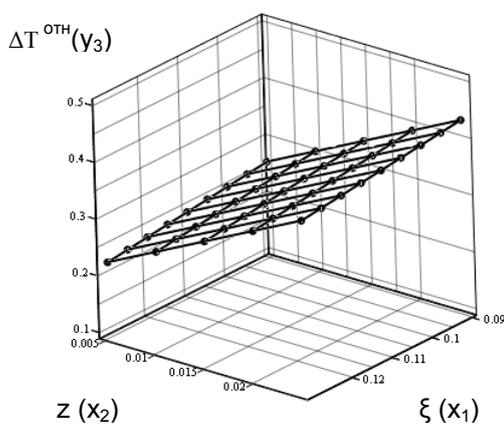


Рис. 8. Функциональная зависимость:  
 $\Delta T^{OTN} = f(z, \xi)$  при  $w=10\%$ .

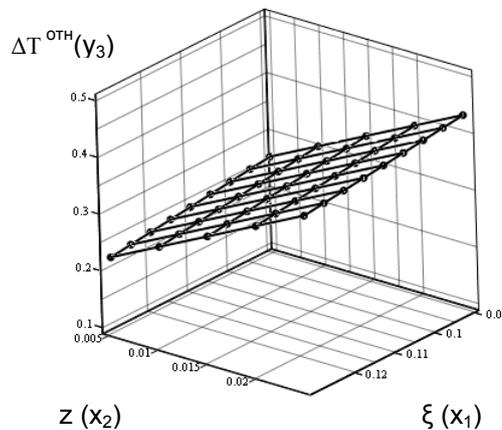


Рис. 9. Функциональная зависимость:  
 $\Delta T^{OTN} = f(z, \xi)$  при  $w=20\%$ .

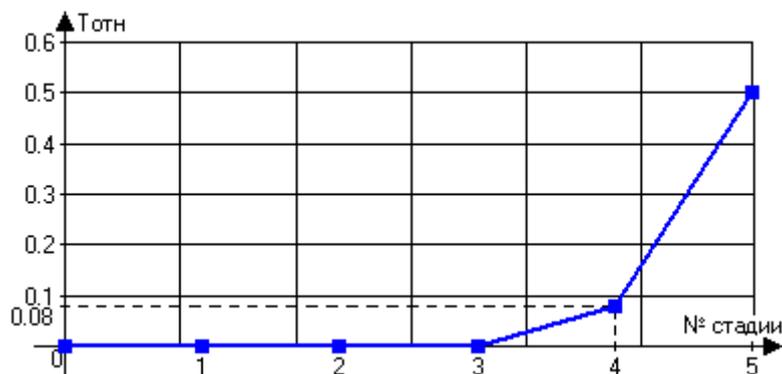


Рис. 10. Постадийный температурный градиент

Нахождение в механической порошковой смеси жидкости определяет вид субстанции (от сухой  $w=0$ , до увлажненной  $w=20\%$ ). В экспериментах был проведен анализ масспереноса влажной смеси ( $\Delta m$ ) в зазор ( $z$ ) в зависимости от величин  $z^{OTN}$  и  $w$ . Влияние зазора и влажности на массу транспортирующихся частиц в зазор представлено в таблице 2. и рис. 11.

**Таблица 2. Исследование масспереноса в процессе уплотнения**

№ п/п	$z^{отн}$ (x1)	w (x2)	$\Delta m^{отн}$ (y1)
1	(+) 0,05	(+) 0,2	0,540
2	(+) 0,05	(-) 0,1	0,505
3	(-) 0,005	(+) 0,2	0,059
4	(-) 0,005	(-) 0,1	0,054

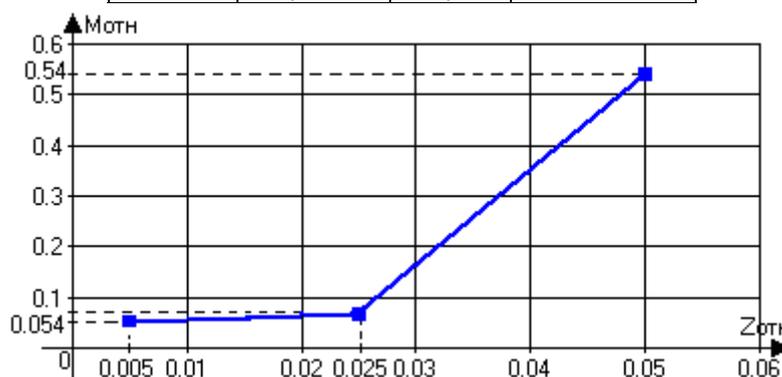


Рис. 11. Величина масспереноса в процессе уплотнения увлажненной смеси

Проведенные исследования позволяют существенно расширить эффективность процесса уплотнения порошковых материалов за счет рационального выбора влажности смеси, конструкции оснастки и транспортирующей жидкости.

### Литература

1. Дорофеев В.Ю., Егоров С.Н. Межчастичное сращивание при формировании порошковых горячедеформированных материалов. – М.: ЗАО Metallurgizdat, 2003. – 152 с.
2. Гуляев А.П. Моя металлография / А.П. Гуляев // Металловедение и термическая обработка металлов, №7. 1995
3. Кокорин В.Н. К стадийности прессования двухкомпонентных смесей с различным агрегатным состоянием / В.Н. Кокорин, М.В. Кокорин // Вестник УлГТУ.– 2002. – №1. – С. 38 – 41.
4. Радомысельский И.Д. Некоторые особенности уплотнения порошков на разных стадиях прессования. / И.Д. Радомысельский, Н.И. Щербань // Порошковая металлургия.–1980.– №11.– С. 12 – 19.