

*Г. И. Аксенов, П. П. Литвиненко,
А. М. Сорокин*

ПРИМЕНЕНИЕ ИНДУКТИВНЫХ ДАТЧИКОВ ДЛЯ ИЗМЕРЕНИЯ ДАВЛЕНИЯ ПРЕССОВАНИЯ

Наиболее распространенным способом получения изделий из порошков металлов является простое холодное прессование, которое осуществляется на обычных прессах при одностороннем или двухстороннем нажатии. Процесс прессования сопровождается целым рядом сложных явлений, оказывающих влияние на размеры и свойства изделий. Чаще всего дефекты изделий, полученные при прессовании, не могут быть исправлены последующим спеканием. Поэтому установление закономерностей процесса заслуживает особого внимания. Наиболее важно определение количественных зависимостей плотности изделий и изменения в тонкой структуре порошка от давления прессования, необходимых для назначения оптимальных режимов прессования и распределения давлений между частями пресс-форм при их расчете и конструировании [1-6].

ОПИСАНИЕ КОНСТРУКЦИИ ДИНАМОМЕТРОВ

Динамометры, применяющиеся для исследования процесса прессования, должны иметь наряду с высокой точностью и чувствительностью большую надежность. Этим требованиям вполне удовлетворяют динамометры, в которых подвижные и контактирующие элементы, воспринимающие нагрузку, заменены упругими, а в качестве измерителей деформации применяются индуктивные датчики.

На рис. 1 показана электрическая схема и чертеж механической части установки, сконструированной и изготовленной в Куйбышевском авиационном институте. Установка состоит из динамометров 1, 2, 3 электрической схемы, смонтированной в пульте управления и измерительных приборов.

Динамометры 1 и 2, служащие для измерения сил, действующих на пуансоны, имеют форму стаканов с толстым дном и упруго

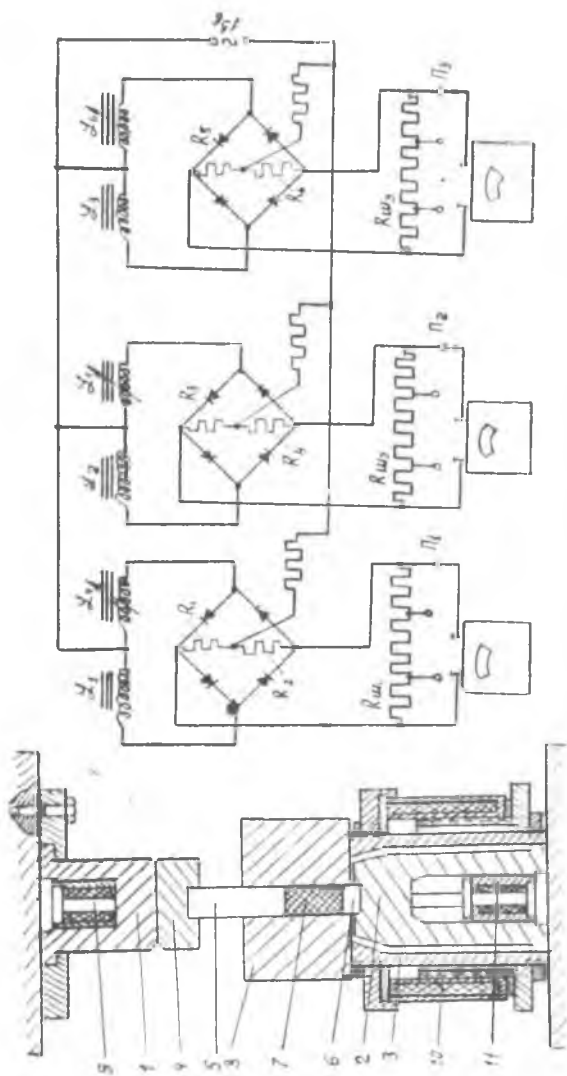


Рис. 1. Схема установки для измерения усилий при прессовании:

1, 2 — дилатометр; 3 — дилатчик; 4, 5, 6 — пуансон; 7 — образец; 8 — матрица; 9, 10, 11 — индуктивные датчики.

деформирующимися стенками. Дно стакана динамометра 2 имеет торцевую расточку глубиной 3 мм, служащую для соосной установки матрицы и центрирования нижнего пуансона. Сила, воспринимаемая матрицей, передается динамометру 3, состоящему из упругой гильзы и кольцевого индуктивного датчика. Упругие элементы динамометров изготовлены из термически обработанной стали 30ХГСА, а сечения их выбраны так, чтобы деформация не превышала 0,15 мм при наибольшей нагрузке. Для измерения деформации упругих элементов внутри них установлены индуктивные датчики 9, 10, 11. Датчики представляют собой катушки индуктивности, намотанные на Ш-образные сердечники кольцевой формы. Сердечники изготовлены из стали 10. Катушка индуктивности имеет 1000 витков провода 0,18 ПЭЛ.

Деформация упругих элементов динамометра при помощи датчиков и мостовой схемы преобразовывалась в показания прибора. В качестве регистрирующих приборов применялись милливольтметры со шкалой 45 мвт. Динамометры, протарированные нагрузкой сжатия до 30 т, показали чувствительность 1% и точность отсчета 2%.

Электрическая схема установки, смонтированная в пульте управления, состоит из трех независимых мостиков переменного тока. Два плеча каждого мостика имеют индуктивные сопротив-

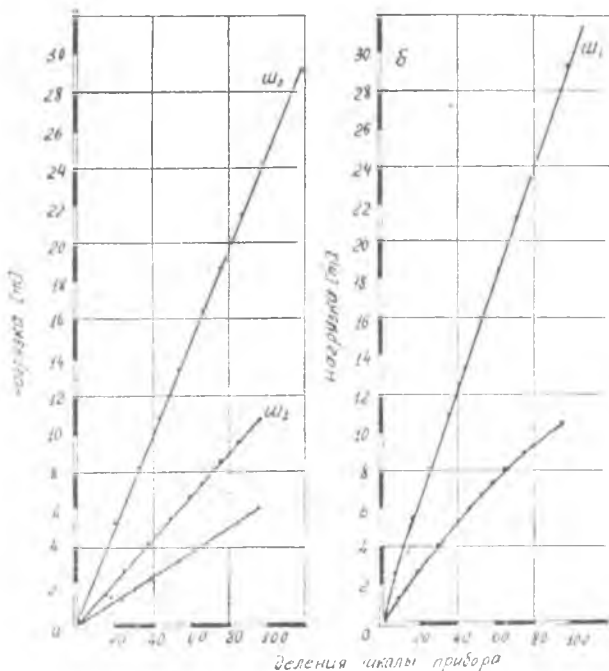


Рис. 2. Градуировочные графики динамометров:
а — динамометр 1; б — динамометр 2.

ления в виде датчиков L_1, L_2, L_3 и компенсаторов L_4, L_5, L_6 . Два других плеча — омические сопротивления R_1-R_6 . Компенсаторы и датчики одинаковы по конструктивным и геометрическим размерам. Разница состоит в том, что якобы компенсаторы подвижны. Для приведения моста в равновесие индуктивное сопротивление компенсатора регулируется изменением зазора между сердечником катушки и якорем, перемещение которого осуществляется вращением ручки. Таким образом стрелки приборов устанавливаются на нуль. Изменение сопротивления датчиков, происходящее вследствие уменьшения зазора под действием сил вызывает нарушение равновесия мостов и появление в их диагоналях токов, сила которых измеряется прибором. Показания приборов по тарировочным графикам переводятся в тонны. Мосты питаются переменным током со стабилизированным напряжением 15 в, полученным трансформацией тока сети 220 в, 50 периодов. Для питания приборов постоянным током в электрическую цепь включены купроксные выпрямители по кольцевой схеме, предложенной Н. М. Старобинским [7, 8]. Чувствительность приборов изменяется включением в цепь дополнительных шунтирующих сопротивлений $R_{ш1}, R_{ш2}, R_{ш3}$, благодаря которым можно изменять диапазон измерений прибора.

На рис. 2 изображены градуировочные графики динамометров. Градуировка производилась только при нагружении, потому что расхождение в показаниях при разгрузке и нагружении не превышало 2%.

ВЛИЯНИЕ ВЕЛИЧИНЫ ЗАЗОРА НА РАСПРЕДЕЛЕНИЕ ДАВЛЕНИЙ МЕЖДУ ПУАНСОНОМ И МАТРИЦЕЙ ПРИ ПРЕССОВАНИИ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА

Распределение давлений между пуансоном и матрицей исследовалось при прессовании образцов из двух фракций железного порошка (фракция — 0,200 + 0,140 и фракция — 0,09 + 0,075). Образцы прессовались на двухстоечном гидравлическом прессе в цилиндрических пресс-формах со смазкой стенок матриц и торцов пуансонов машинным маслом марки СУ по ГОСТ 1707-51. Были взяты четыре партии навесок: две партии по 3 и 12 г для образцов диаметром 12 мм и две партии по 9 и 36 г для образцов диаметром 20 мм. Высота образцов весом 3 и 9 г была от 7 до 3,5 мм, высота образцов весом 12 и 36 г — от 25 до 15 мм в зависимости от давления прессования, изменявшегося от 1 до 12 т/см² через 2 т/см². В каждом случае прессовали три образца.

Методика определения плотности и давлений приведена в работах [9—10].

На рис. 3 приведены графики изменения плотности и давления на нижнем пуансоне в зависимости от давления на верхнем пуансоне и зазора между пуансоном и матрицей. Графики построены

для образцов 12 мм при прессовании порошка фракции — 0,120 + 0,140. Высота образцов в этом случае изменялась от 25 до 15 мм. Как следует из графиков, характер зависимостей плотности от давления и давлений одинаков с ранее найденными и известными для железного порошка [1—6; 9—10].



Рис. 3. Зависимость плотности и давления на нижнем пуансоне от давления на верхнем пуансоне $D = 12$ мм; фракция — 0,09+0,075; зазор между пуансоном и матрицей:

Δ — 0,05 мм; O — 0,11 мм. □ — 0,2 мм

Величина зазора между пуансоном и матрицей также оказывает влияние на плотность и распределение давлений. Так, при давлении прессования 7 т/см² плотность образцов возрастает от 6,15 до 6,6 г/см³ при увеличении зазора от 0,05 до 0,200 мм. Такое изменение в плотности объясняется перераспределением давлений в прессовке и увеличением доли полезного давления, что подтверждается увеличением давления на нижнем пуансоне от 3,0 до 3,6 т/см².

Описанное исследование и проведенные ранее [9, 10] показали, что с увеличением диаметра образцов растет их плотность и давление на нижнем пуансоне. Это происходит вследствие относительного уменьшения боковой поверхности и потерь на трение. По этой же причине влияние величины зазора на плотность и давление для 20 мм образцов меньше, чем для 12 мм. Это подтверждается результатами исследования, которые в сокращенном виде приводятся в таблице 1.

С целью уточнения зависимости плотности от давления были проведены опыты по прессованию образцов из отожженного железного порошка. Режим отжига и характеристика порошка указаны в разделе «Изменение тонкой структуры железного порошка в процессе прессования». Цилиндрические образцы весом 3 г и диаметром 12 мм прессовались при давлениях от 1,5 до 19 т/см². Опыты показали, что при прежнем характере зависимости плотности от давления достигнутое максимальное значение ее, равное 7,45 г/см³ при давлении 11—12 т/см² было более высоким по срав-

Таблица 1

Зависимость плотности образцов от давлений на пуансонах
и от зазора между пуансоном и матрицей.

Величина зазора, мм	Диаметр образца, мм	Давление, $\frac{т}{с.м^2}$		Плотность, $\frac{г}{с.м^3}$
		на верхнем пуансоне	на нижнем пуансоне,	
0,05	12	5	2,25	5,60
	20		3,16	5,75
	12	7	3,15	6,15
	20		4,42	6,20
	12	11	4,95	6,60
	20		6,96	6,70
0,11	12	5	2,45	5,80
	20		3,42	5,90
	12	7	3,45	6,35
	20		4,78	6,35
	12	11	5,45	6,80
	20		7,53	6,90
0,20	12	5	2,65	6,05
	20		3,66	6,05
	12	7	3,68	6,55
	20		5,12	6,50
	12	11	5,80	7,10
	20		8,07	7,0

Таблица 2

Зависимость плотности образцов из отожженного
железного порошка от давления на верхнем пуансоне

Давление, $\frac{т}{с.м^2}$		Плотность, $\frac{г}{с.м^3}$
на верхнем пуансоне	на нижнем пуансоне	
1,5	0,95	4,95
3	1,91	5,80
5	3,18	6,50
7	4,45	6,95
9	5,73	7,25
11	7,00	7,45
15	9,45	7,45
19	12,10	7,45

нению с неотожженным порошком. Дальнейшее повышение давления до 19 т/см^2 не привело к существенному изменению плотности, несмотря на продолжающийся рост давления на нижнем пуансоне. Некоторые результаты этих опытов включены в таблицу 2.

ИЗМЕНЕНИЕ ТОНКОЙ СТРУКТУРЫ ЖЕЛЕЗНОГО ПОРОШКА В ПРОЦЕССЕ ПРЕССОВАНИЯ

В процессе прессования уплотнение порошка происходит как за счет сближения частичек, так и за счет их пластической деформации [11].

Поскольку кристаллическим телам присуща сдвиговая пластическая деформация, то в процессе прессования она зарождается в некоторой ограниченной области кристалла и распространяется эстафетным порядком вдоль определенных кристаллографических направлений, что приводит к изменению субструктуры зерна и запаса внутренней энергии.

Однако при пластической деформации нарушается правильность строения кристаллической решетки, поэтому дальнейшее скольжение по кристаллу затрудняется. И в зависимости от приложенного давления прессования образуется различная внутриверстная (тонкая) структура, т. е. различные по размерам блоки и микроискажения кристаллической решетки.

В нашей работе опыты проводились с железным порошком марки АМ. Предварительно порошок подвергался отжигу при температуре $680 \pm 10^\circ$ в атмосфере диссоциированного аммиака в течение одного часа с последующим медленным охлаждением со скоростью 50° в час. После отжига порошок рассеивался по фракциям. Нами использовалась фракция — $0,075 + 0,060 \text{ мм}$.

Цилиндрические образцы весом 3 г и диаметром 12 мм прессовались на гидравлическом прессе. Применяемые на верхнем пуансоне давления изменялись от 1,5 до 19 т/см^2 и регистрировались специальными динамометрами с индуктивными датчиками (описанным выше).

При каждом давлении прессовались два образца, которые подвергались рентгенографированию на ионизационном рентгеновском аппарате УРС-50И. Кривая распределения интенсивности рентгеновских интерференций, в зависимости от угла рассеяния, автоматически записывалась на диаграммную ленту. Это осуществлялось с помощью интегрирующей схемы и самозаписывающего прибора ЭПП-09 при синхронном движении образца, счетчика и диаграммной ленты.

Образцы рентгенографировались в кобальтовом K_α -излучении. Ширина линии (110) и (220) находилась, как среднеарифметическое из результатов, полученных при трех записях.

Для определения истинной ширины дифракционных линий был

применен метод аппроксимации фотометрических кривых [12] для исследуемого и эталонного образцов функциями вида:

$$e^{-\alpha x^2} \quad (1)$$

$$\frac{1}{1 + \alpha x^2} \quad (2)$$

$$\frac{1}{(1 + \alpha x^2)^2} \quad (3)$$

В ходе исследований было установлено, что кривые распределения интенсивности исследуемого и эталонного образцов лучше всего аппроксимируются функцией $e^{-\alpha x^2}$.

В качестве эталона было использовано арможелезо, отпущенное при высокой температуре.

На истинную ширину рентгеновских дифракционных линий влияют одновременно такие элементы тонкой структуры, как размеры блоков и микронапряжения кристаллической решетки (искажения II рода), поэтому необходимо было разделить эффекты уширения как за счет блоков, так и за счет микронапряжений. Разделение этих эффектов производилось графически [12].

Затем размеры блоков D и величина искажений II рода $\frac{\Delta a}{a}$ определялись по формулам:

$$D = \frac{\lambda}{m_1 \cos \theta} \cdot \frac{\Delta a}{a} = \frac{n_2}{4 \operatorname{tg} \theta}$$

где λ — длина волны рентгеновского излучения;
 θ — угол дифракции рентгеновских лучей;
 m_1 — уширение линии (110) за счет малости блоков;
 n_2 — уширение линии (220) за счет напряжений II рода.

Изменение размеров блоков и искажений II рода в зависимости от приложенного давления прессования приведены на рис. 4.

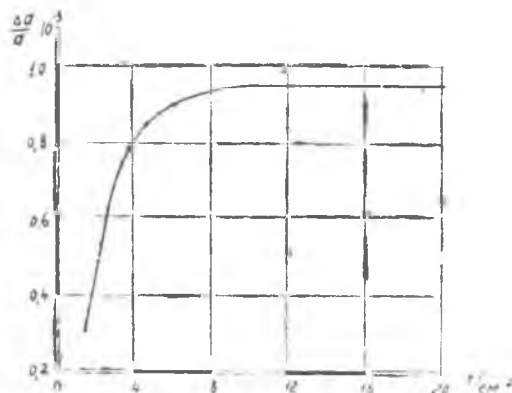


Рис. 4а. Изменение размеров блоков и напряжений II рода в зависимости от давления на верхнем плечисе.

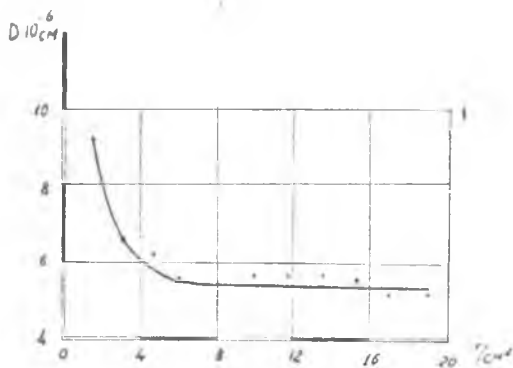


Рис. 4б. Изменение размеров блоков и напряжений.

В результате исследований получено, что в интервале давлений прессования от 1,5 до 6 t/cm^2 размеры блоков для железного порошка уменьшаются от $9,1 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ до $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}$, а микроскажения растут от $0,3 \cdot 10^{-3}$ до $0,9 \cdot 10^{-3}$. Вследствие этих изменений во внутризеренной структуре порошка в образце повышается запас внутренней энергии, достигающий наибольшего значения при 6—7 t/cm^2 давления на верхнем пуансоне.

При увеличении давления от 6 до 19 t/cm^2 размеры блоков и микроскажения, а, следовательно, и внутренняя энергия образца, изменяются незначительно. Блоки изменяются в пределах от $5,6 \cdot 10^{-6} \text{ см}$ до $5,1 \cdot 10^{-6} \text{ см}$, а микроскажения достигают значения $0,95 \cdot 10^{-3}$ при давлении 19 t/cm^2 .

ВЫВОДЫ

1. Создана надежная постоянно действующая аппаратура, позволяющая измерить силы, действующие на пуансоны и матрицу в процессе прессования любых порошков.

2. Величина зазора между пуансоном и матрицей в пределах $0,05 \pm 0,2 \text{ мм}$ оказывает существенное влияние на распределение давлений в пресс-форме и плотность образцов.

3. Влияние величины зазора ослабляется с уменьшением высоты образцов и увеличением их диаметра и для образцов высотой 5—7 мм и диаметром 20 мм становится практически незначительным.

4. На основании исследований тонкой структуры железного порошка и плотности образцов можно считать оптимальным давление прессования 6—7 t/cm^2 .

ЛИТЕРАТУРА

1. Ф. Айзенкольб. Порошковая металлургия (перев. с нем.). Металлургиздат, 1961.
2. М. Ю. Бальшин. Порошковое металловедение, Металлургиздат, 1948.
3. Duwe Z. P., Zwell L. — Metals, 1949 v. 1, p. 137—44.
4. С. Я. Плоткин, Г. В. Самсонов. О прессовании металлических порошков. Вестник машиностроения, № 5 — 53, 1959.
5. Г. В. Самсонов, С. Я. Плоткин. Производство железного порошка. Металлургиздат, 1957.
6. А. Г. Самойлов. Некоторые закономерности процесса прессования порошков, применяемых в производстве твердых сплавов. Порошковая металлургия, выпуск 4, 22, НИИАвтопром.
7. В. А. Трапезников. Автоматический контроль линейных размеров изделий. Оборонгиз, 1947.
8. С. Ф. Корндорф. Основы электроизмерений электронной техники и электроавтоматики в приборостроении. Машгиз, 1959.
9. Г. И. Аксенов, А. М. Сорокин. Влияние распределения давлений между пуансонами на плотность прессовок. Труды Куйбышевского авиационного института, вып. XVI, Куйбышев, 1963.
10. А. М. Сорокин. Исследование распределения давлений между состав-

ными частями пресс-форм для изделий порошковой металлургии. В. Изготовление металллокерамических деталей № 2—63—142/1, ГОСИНТИ, М., 1963.

11. И. М. Федорченко, Р. А. Андриевский. Основы порошковой металлургии, Киев, 1961.
12. Под редакцией Ю. А. Багаряцкого. Рентгенография в физическом металловедении, Москва, 1961.