

УДК 621.891:622.67

## ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ПРЕССОВАНИЯ НА ФИЗИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МНОГОКОМПОНЕНТНЫХ КОМПОЗИТОВ

### INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF PRESSING ON PHYSICAL PROPERTIES OF MULTICOMPONENT COMPOSITES

**Юсубов Фикрет Фахраддин**

аспирант,  
Азербайджанский государственный  
университет нефти и промышленности  
fikratyusub@gmail.com

**Аннотация.** В данной статье проведен сравнительный анализ параметров технологического режима, используемых при разработке многокомпонентных порошковых композиционных материалов. Были изучены режимы холодного и горячего прессования, а также влияние пластификаторов и смазочных материалов на качество композиций.

**Ключевые слова:** порошковые композиты, прессование, формование, спекание, пластификаторы, смазочные материалы, плотность, твердость.

**Yusubov Fikrat Fakhraddin**

Ph.D. student,  
Azerbaijan State  
Oil and Industry University  
fikratyusub@gmail.com

**Annotation.** In this article a comparative analysis of the technological regime parameters used in the development of multicomponent powder composite materials has been conducted. Cold and heated pressing modes, as well as plasticizers and lubricants influence of the quality of compositions, have been studied.

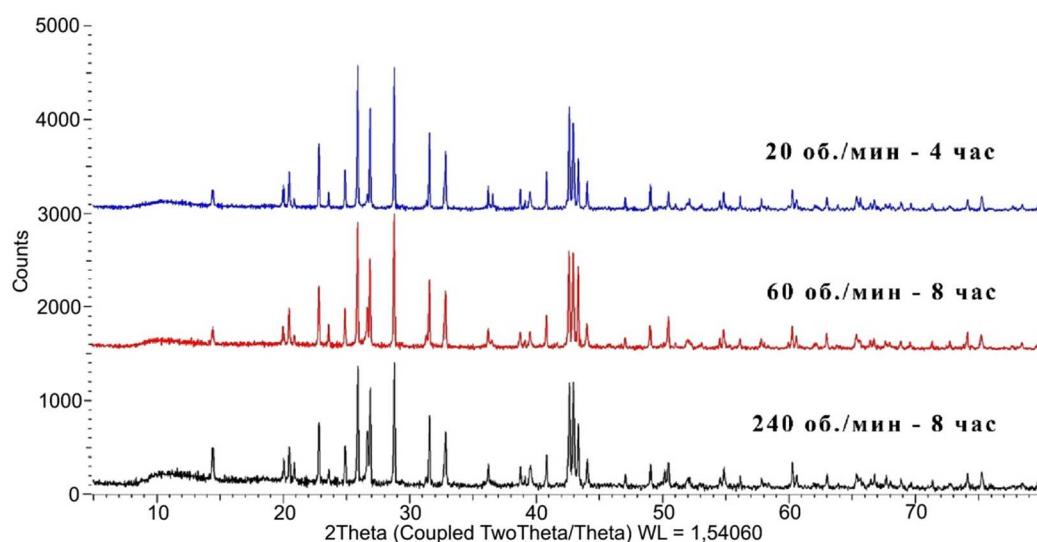
**Keywords:** powder composites, pressing, molding, sintering, plasticizers, lubricants, density, hardness.

Основная суть порошковой металлургии – разработка новых, более качественных и экономичных материалов, чем традиционные материалы. Этот метод позволяет получать специальные жаропрочные и износостойкие, стабильные магнитные и другие материалы [1]. Технологические последовательности в сочетании с дополнительными мерами, такими как термическая или поверхностная обработка, должны быть синтезированы или приготовлены после прессования порошка под определенным давлением, являются основой порошковой металлургии [2]. При прессовании материала в виде порошка, он хранится в течение определенного периода времени под давлением металлической пресс-формы, и этот способ помогает укреплению шихты при формовании.

В настоящей статье были исследованы физические свойства холодно- и горячепрессованных образцов. Для сравнения были также исследованы холодного прессования образцы и спекания. Состав композиционных материалов, использованных в нашем исследовании, составляет 25 % барита, 25 % фенолформальдегида, 7 % оксида алюминия, 5 % синтетического валлостонита, 10 % свинца, 10 % олова, 7 % меди-графита (80 % Si 20 % C), 5 % оксид кремния и небольшие количества оксида магния и сульфида молибдена. Кроме того, для улучшения теплопроводности в состав также была включена рубленая латунная стружка.

Образцы сначала перед прессованием были измельчены в лабораторной мельнице а затем смешаны механически. Продукты порошка, подвергнутые измельчению и смешиванию, были использованы для приготовления композитов путем разделения их через сито с размером частиц 50 мкм и ниже.

Хотя разделение фаз в порошках, оцениваемое с помощью дифрактометра (TD-3500) не обнаруживало серьезной разницы фаз во время перемешивания, дифрактограммы на рисунке 1 показывают, что существует небольшая разность фаз при перемешивании, выполняемом при 60 об/мин в течение 8 часов, что можно объяснить химической реакцией, вызванной тепловыми эффектами трения частиц во время смешивания. Высокие пики на дифрактограмме, показанной на рисунке 1, относятся к Al, O и Ba. Метастабильная фаза играла доминирующую роль для всех образцов на начальном этапе механического смешивания. Но в зависимости от содержания, после 40–60 мин. начали проявляться небольшие фазовые превращения в образцах. Исследования показали, что аморфная фаза присутствует в смесях при взаимодействиях низкой интенсивности. Квазикристаллическая фаза наблюдалась в смешанных образцах с высокой интенсивностью. Прессование порошка с содержанием 0,1–0,15 масс. %



**Рисунок 1** – Дифрактограммы механически смешанных компонентов в разных режимах

твердого смазочного материала (графит, молибден дисульфид, парафин и т.д.), уменьшает трение между частицами и поверхностями сжатия, что приводит к падению давления частиц на стенку матрицы [3]. Во время прессования контакт между частицами увеличивается, поры уменьшаются, а отдельные частицы деформируются или повреждаются. Твердость полученного образца увеличивается с увеличением давления прессования под механическим воздействием. Поскольку на поверхности образцов приготовленных без пластификатора, наблюдались трещины и структура была неудовлетворительной, в состав были добавлены дополнительные элементы после чего повторно исследованы. Кроме того, в ходе работ было выявлено, что смазка на стенке пресс-формы оказала значительное влияние на качество образцов. По этой причине был проведен сравнительный анализ для выявления различий в пластификаторах и смазочных материалах в других технологических режимах. Прессование проводилось в холодной форме ( $P_1 - 10$  МПа) и режиме нагревания ( $P_2 - 25,5$  МПа). Формование образцов также проводилось в сочетании с  $P_1 - 25,5$  МПа и  $P_2 - 10$  МПа для определения различий в холодном и горячем давлениях прессования. Только давление, указанное в образце № 11, было взято в два раза меньше. В качестве пластификаторов использовались глицерин, борная кислота и воск (табл. 1). Чтобы легко извлечь образец из пресс-формы как смазка использовались парафин, глицерин и тальк.

**Таблица 1** – Пластификаторы, используемые при изготовлении композитов

№ образца	Глицерин, %	Борная кислота, %	Воск, %
5	9,3		
6		14	
7	8,5		
8	20		
9	11,4		
10	10,0		
11	9,0		
12	10,8		
13	13,3		
14			4,3
15		11,2	
16	9,8		
17	9,6		
18	13,2		

Информация о технологических режимах, используемых при приготовлении образцов, приведена в таблице 2. На первом этапе порошковые продукты прессовали в холодную форму, а затем прессованную шихту помещали в муфельную печь и нагревали при различных температурах. На последнем этапе нагретые образцы снова прессовали и держали под прессом в течение определенного периода времени. В последствии образцы, извлеченные из пресса, были охлаждены при комнатной температуре и исследованы.

Таблица 2 – Технологические режимы, используемые для изготовления материалов

№ образца	Температура нагрева (°C)	Держания в прессе (мин.)	Холодной ( $P_1$ ) и горячей ( $P_2$ ) прессования	Спекания	Пластификаторы	Смазывание
1		30	$P_1$	150 °C (180 мин.)		
2	150–60 мин.		$P_1 < P_2$	150 °C (60 мин.)		
3	100–20 мин.	30	$P_1 < P_2$	150 °C (105 мин.), 190 °C (15 мин.)		
4	160–35 мин.	30	$P_1 < P_2$	270 °C (270 мин.)		
5	160–35 мин.	30	$P_1 < P_2$	160 °C (2 час.)	Глицерин	Парафин
6	160–35 мин.	30	$P_1 \leq P_2$		Борная кислота	Парафин
7	160–30 мин.	20	$P_1 < P_2$		Глицерин	Парафин
8	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$		Глицерин	Парафин
9	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$		Глицерин	Тальк
10	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$		Глицерин	Тальк
11	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$ (1)		Глицерин	Тальк
12	160–30 мин.	30	$P_1 > P_2$		Глицерин	Тальк
13	160–30 мин.	20	$P_1 < P_2$ (2)		Глицерин	Парафин
14	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$ (3)		Воск	Парафин
15	160–30 мин.	30	$P_1 < P_2$ (5)	160 °C (1 час.)	Борная кислота	Парафин
16	160–15 мин.	20	$P_1 < P_2$ (4)		Глицерин	Глицерин
17	160–50 мин.	40	$P_1 < P_2$ (2)		Глицерин	Парафин
18	160–20 мин.	20	$P_1 > P_2$ (1)		Глицерин	Парафин + Тальк

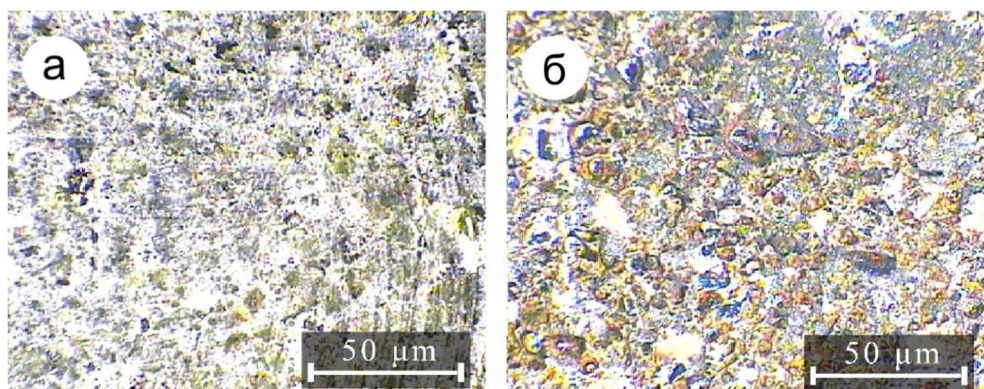


Рисунок 2 – Структура поверхности образцов после: а) холодного и б) горячего прессования

Данные по физическим свойствам полученных композиционных материалов приведены в таблице 3. Измерения твёрдости проводились на приборе Бринелля с нагрузкой 62,5 кг·г и стальным шариком диаметром 2,5 мм. Плотность образцов измеряли методом Архимеда (ISO 2738).

Изучение физических свойств композиционных материалов, полученных с использованием различных режимов, позволило определить температуру и продолжительность спекания композиции, влияние режимов холодного и горячего прессования, а также пластификаторов. Пластификаторы и смазки не использовались в образцах №№ 1–5. Среди композиций, полученных в различных сочетаниях, наиболее удовлетворительными были образцы № 9, 16 и 18. Во всех трех образцах показатели плотности и твердости были выше, чем в других образцах.

Таблица 3 – Физические показатели образцов

№ образца	Твёрдость (НВ)		Плотность (г/см <sup>3</sup> )	
	Прессования	Спекания	Прессования	Спекания
1	34,9	34,1	2,318	2,255
2	40,5		2,111	
3	41,5		2,111	
4	40,5	40,7	2,371	2,305
5	40,5		2,181	
6	42,2		2,335	
7	42,1		2,376	
8	43,8		2,420	
9	42,9		2,315	
10	42,2		2,366	
11	41,7		2,239	
12	40,5		2,359	
13	40,9		2,346	
14	41,4		2,265	
15	43,1	35,1	2,416	2,329
16	33,6		1,997	
17	43,3		2,413	
18	41,4		2,379	

Анализ результатов помог определить основные факторы способствующие высоким физическим показателям для выше перечисленных образцов. Было обнаружено, что время нагревания в печи, выпускация пресса для выделение газов при повышении давления и увеличения плотности являются основными факторами, влияющими на качество образцов. В таблице показано количество раз, выпускация пресса в скобках в секции холодного и горячего прессования. Кроме того, различия в образцах в зависимости от типа и количества пластификаторов также наблюдалось. Таким образом, добавление борной кислоты и воска не было эффективным при удалении трещин на поверхности и структуре образцов. Хотя борная кислота улучшал образование компонентов, когда она составляет менее 10 %, с помощью оптического микроскопа было обнаружено, что на поверхности имеются поры при наблюдении (рис. 3). Использование более 10 % неэффективно.

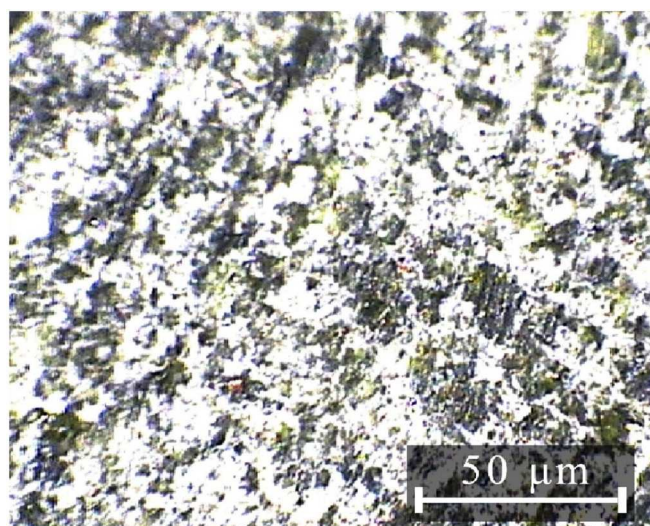


Рисунок 3 – Структура поверхности образца № 7

Использование воска также не дало никакого эффекта. Однако было показано, что глицерин очень эффективен в исправлении трещин. Как видно из таблицы 3, не было существенной разницы в давлениях нагретых или холодных прессований, но плотность была выше, когда холодное давление сжатия было высокое. Наиболее эффективное влияние глицерина было обнаружено в образцах, в которых глицерин составлял 10–12 %. Снижение физических показателей образцов было обнаружено, когда глицерин был более 12 %.

В образце № 12 оба давления были снижены, и в результате было установлено, что показатель твёрдости меньше, чем у других образцов. Хотя было более эффективно держать смесь вместе с пресс-формой в печи при 160 °С в течение 1 часа, но не исследовался более 1 часа. Также показатели, полученные при температурах выше 160 °С и ниже, тоже были невысокими. Сброс давления несколько раз во время процесса сжатия позволял газам и парам выходить из внутренних зон во время поликонденсации фенола и формальдегида. Однако плотность образцов была выше в зависимости от количества выпусков прессования и повторных сжатий. Спекания проведенное в образцах №№ 2, 3, 4, 5, 12, 16 при температурах от 150 до 270 °С после прессования не дали желаемых результатов.

### **Вывод**

Исследования показали, что основными факторами, влияющими на приготовленные в различных режимах образцы, являются время спекания и выпуск прессования и повторное сжатие в процессе формования. Наиболее эффективным из пластификаторов был глицерин, использованный в количестве 10–12 %. Использование в более высоком проценте было неэффективно. Кроме того, парафин, нанесенный на стенку пресс-формы в качестве смазки, был наиболее эффективным и положительно влиял на формирование гладкой поверхности.

### **Литература:**

1. Гиршов В.Л., Котов С.А., Цеменко В.Н. Современные технологии в порошковой металлургии : учеб. пособие. – СПб. : Изд-во Политехн. Ун-та, 2010. – 385 с.
2. Son N. Trinh, Shankar Sastry. Processing and Properties of Metal Matrix Composites // Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study, 2016. – P. 1–15.
3. Тялина Л.Н., Минаев А.М., Пручкин В.А. Новые композиционные материалы : учебное пособие. – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2011. – 80 с.

### **References:**

1. Girshov V.L., Kotov S.A., Cemenko V.N. Modern technologies in powder metallurgy : textbook. – St. Petersburg : Izd-in Polytechnic Un-ta, 2010. – 385 p.
2. Son N. Trinh, Shankar Sastry. Processing and Properties of Metal Matrix Composites // Mechanical Engineering and Materials Science Independent Study, 2016. – P. 1–15.
3. Tyalina L.N., Minayev A.M., Pruchkin V.A. New composite materials : textbook. – Tambov : GOU VPO TGTU, 2011. – 80 p.