

УДК 621.762

DOI: 10.30838/J.PMNTM.2413.250918.54.399

## ВЫБОР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДА ПРЕССОВАНИЯ ПОРОШКА СТАЛИ ПР–Х17Н2

РОСЛИК И. Г.<sup>1\*</sup>, к. т. н., проф.,  
КОВЗИК А. Н.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины, 49600, пр. Гагарина, 4, Днепро, Украина, тел. +38 (050) 452-54-18, e-mail: [roslyk67@gmail.com](mailto:roslyk67@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-7168-6623

<sup>2</sup> Кафедра покрытий, композиционных материалов и защиты металлов, Национальная металлургическая академия Украины, 49600, пр. Гагарина, 4, Днепро, Украина, тел. +38 (050) 481-00-10, e-mail: [anatoliykovzik@gmail.com](mailto:anatoliykovzik@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5361-6381

**Аннотация. Цель.** Определение оптимального метода формирования порошка стали ПР–Х17Н2, полученного распылением расплава азотом. **Методика.** Исследовали уплотняемость порошка ПР–Х17Н2 по ГОСТ 25280–82 при холодном и теплом прессовании. Испытывали порошки фракций –50; –160; –200 мкм. В порошки в качестве смазки вводили стеарат цинка, смалец, отработку индустриального масла, парафин в количестве 0,8 или 1,2 %. При теплом формировании порошок вместе с пресс-формой разогревали до 125 °С; затем быстро прессовали при давлении 300...700 МПа. **Результаты.** Экспериментально установлено, что холодное прессование распыленного азотом порошка ПР–Х17Н2 не обеспечивает требуемой плотности брикетов. Применение теплого прессования существенно повысило уплотняемость исследованного порошка. Наибольший эффект на процесс уплотнения порошка при теплом прессовании оказал ввод 1,2 % стеарата цинка и повышение давления прессования до 700 МПа. **Научная новизна.** Впервые установлено, что при прессовании распыленного порошка стали ПР–Х17Н2 оптимальным является метод теплого прессования с добавлением 1,2 % стеарата цинка при давлении 700 МПа. **Практическая значимость.** Результаты работы могут быть использованы при разработке технологии производства спеченных изделий конструкционного сортамента из материала ПХХ17Н2.

*Ключевые слова:* порошок нержавеющей стали; холодное прессование; теплое прессование; прессовка; уплотняемость

## ВИБІР ОПТИМАЛЬНОГО МЕТОДУ ПРЕСУВАННЯ ПОРОШКУ СТАЛІ ПР–Х17Н2

РОСЛИК І. Г.<sup>1\*</sup>, к. т. н., проф.,  
КОВЗІК А. М.<sup>2</sup>, к. т. н., доц.

<sup>1\*</sup> Кафедра покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів, Національна металургійна академія України, 49600, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 452-54-18, e-mail: [roslyk67@gmail.com](mailto:roslyk67@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-7168-6623

<sup>2</sup> Кафедра покриттів, композиційних матеріалів та захисту металів, Національна металургійна академія України, 49600, пр. Гагаріна, 4, Дніпро, Україна, тел. +38 (050) 481-00-10, e-mail: [anatoliykovzik@gmail.com](mailto:anatoliykovzik@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5361-6381

**Анотація. Мета.** Визначення оптимального методу формування порошку сталі ПР–17Н2, отриманого розпиленням розплаву азотом. **Методика.** Досліджували ущільненість порошку ПР–Х17Н2 згідно з ГОСТ 25280–82 при холодному і тепловому формуванні. Випробували порошки фракцій –50; –160; –200 мкм. У порошки у якості мастила вводили стеарат цинку, смалець, відпрацьоване індустріальне масло, парафін у кількості 0,8 або 1,2 %. При тепловому формуванні порошок разом з прес-формою розігрівали до 125 °С; потім швидко пресували при тиску 300...700 МПа. **Результати.** Експериментально встановлено, що холодне пресування розпиленого азотом порошку ПР–Х17Н2 не забезпечує необхідної щільності брикетів. Застосування теплого пресування істотно підвищило ущільненість дослідженого порошку. Найбільший ефект на процес ущільнення порошку при теплом пресуванні дало введення 1,2 % стеарату цинку і підвищення тиску пресування до 700 МПа. **Наукова новизна.** Вперше встановлено, що при пресуванні розпиленого порошку сталі ПХХ17Н2 оптимальним є метод теплого пресування з додаванням 1,2 % стеарату цинку і тиск 700 МПа. **Практична значимість.** Результати роботи можуть бути використані при розробці технології виробництва спечених виробів конструкційного сортаменту з матеріалу ПХХ17Н2.

*Ключові слова:* порошок нержавіючої сталі; холодне пресування; тепле пресування; ущільненість

## SELECTION OF OPTIMAL METHOD PREPARED STEEL POWDER ПР-Х17Н2

ROSLYK I.H.<sup>1\*</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Prof.*,  
KOVZIK A.M.<sup>2</sup>, *Cand. Sc. (Tech.), Ass. Prof.*

<sup>1\*</sup> Coatings, composite materials and metal protection department, National Metallurgical academy of Ukraine, 49600, Gagarina ave., Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 452-54-18, e-mail: [roslyk67@gmail.com](mailto:roslyk67@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-7168-6623

<sup>2</sup> Coatings, composite materials and metal protection department, National Metallurgical Academy of Ukraine, 49600, Gagarina ave., Dnipro, Ukraine, tel. +38 (050) 481-00-10, e-mail: [anatoliykovzik@gmail.com](mailto:anatoliykovzik@gmail.com), ORCID ID: 0000-0002-5361-6381

**Abstract. Purpose.** To determine of optimizing forming method for nitrogen atomized steel powder ПР-Х17Н2 in order to increase the green compact density. **Methodology.** Steel powder ПР-Х17Н2 compressibility according to GOST 25280-82 during cold pressing and warm pressing has been investigated. Steel powder fractions less than 50 μm, 160 μm and 200 μm were tested. Zn stearate, lard, refining industrial oil, hard wax in an amount 0.8 % or 1.2 % were added to steel powder as lubricant. During warm pressing powder with tool set were heated up to 125 °C and were rapidly pressed at a pressure 300...700 MPa. **Results.** It has been established experimentally that cold pressing of nitrogen atomized steel powder ПР-Х17Н2 does not provide the required green compact density. Using of warm pressing substantially increase compressibility of steel powder. Addition of 1.2 % Zn stearate and high pressure up to 700 MPa has had the most effect on the powder compressibility by warm pressure. **Scientific novelty.** First established that for nitrogen atomized steel powder ПР-Х17Н2 warm pressure is an optimal with addition 1.2 % Zn stearate and at pressure 700 MPa. **Practical significance.** The result of research can be used for designing X17H2 sintered structural parts.

*Keywords:* nitrogen atomized stainless powder; cold pressing; warm pressing; compressibility

### Постановка проблемы

В технологической схеме производства спеченных изделий операция формования порошка является обязательной и во многом определяющей свойства изготовляемого изделия. Как правило, чем выше плотность прессовки, тем выше плотность спеченного изделия и, соответственно, выше его механические характеристики. Поэтому разрабатываемые технологии изготовления спеченных материалов конструкционного сортамента должны предусматривать обеспечение максимальной плотности прессовки.

В процессе прессования происходит уплотнение порошка с образованием сформированного брикета, при этом разрушаются мостики, образовавшиеся при засыпке порошка в пресс-форму, частицы перемещаются относительно друг друга, происходит деформация частиц, межчастичные и внутричастичные пустоты заполняются прессуемым материалом. Прессование порошков может производиться в холодном, теплом или горячем состоянии [1; 2]. При холодном прессовании жестких порошков для их достаточного уплотнения требуется значительное давление, которое во многих случаях нецелесообразно применять по технологическим причинам. Горячее прессование исключает указанный недостаток, однако такой метод является малопродуктивным и технологически сложным. Поэтому мировая практика производства спеченных изделий все чаще использует теплое прессование [1-6], заключающееся в получении относительно плотных брикетов при температуре прессуемого порошка около 0,1 температуры рекристаллизации основного компонента.

### Цель исследования

Целью настоящей работы явилось исследование различных методов формования порошка коррозионностойкой стали ПР-Х17Н2 с определением оптимальной схемы прессования применительно к производству конструкционных изделий.

### Методика исследований

Исследованиям подвергался порошок марки ПР-Х17Н2, полученный распылением расплава азотом. Оценка уплотняемости производилась по ГОСТ 25280-82. При холодном прессовании для оценки влияния гранулометрического состава порошка на его уплотняемость опыты проведены с порошками фракций -50, -160, -200 мкм. В качестве смазки добавляли 0,8 и 1,2 % стеарата цинка.

При теплом прессовании в качестве смазки использовали стеарат цинка, смалец, отработку индустриального масла, парафин, наиболее часто рекомендуемые в литературе [3-6]. Порошкообразные компоненты смешивали во вращающемся смесителе, а смалец и отработку масла втирали в порошок пестиком в ступке. Смесь порошка фракции -200 мкм, содержащую смазки, засыпали в стандартную пресс-форму для определения уплотняемости и помещали на 10 мин. в предварительно разогретый до 125 °C термостат. При этом и пресс-форма и размещенный в ней порошок прогревались до указанной температуры. Пресс-форму быстро извлекали из термостата и производили прессование порошка.

**Результаты исследований**

На уплотняемость порошков влияют многие факторы: пикнометрическая плотность, микротвердость порошка, гранулометрический состав, состояние поверхности, форм-фактор и другие. Для конкретной марки порошка управление другими аргументами, кроме гранулометрического состава, технологически достаточно сложно, а в некоторых случаях невозможно. Поэтому в данном исследовании вначале была оценена возможность повышения плотности брикета за счет изменения фракционного состава порошка.

Как следует из рисунка 1, процесс уплотнения порошков при приложении давления описывается логарифмической зависимостью, что соответствует классическим представлениям [7]. Вместе с тем, независимо от приложенного давления, значение плотности сырой прессовки возрастает с увеличением фракции порошка. Очевидно, что более широкий набор частиц разного размера обеспечивает максимальное заполнение межчастичных пустот поршинками меньшего размера.

Расчет пористости прессовок, полученных при максимальном давлении 700 МПа, показывает, что для исследованных порошков различных фракций она составляет 29,3; 28,0; 27,6 %, соответственно (в порядке возрастания гранулометрического состава порошка). Ввод в порошок стеарата цинка не дал значительного эффекта, в этом случае была достигнута минимальная пористость 24,1 %. Низкая уплотняемость порошка при таком методе формования объясняется высокой микротвердостью частиц порошка, а также приближающийся к шарообразной форме частиц. Для таких частиц значение фактора неравноосности, рассчитанного как

соотношение максимального и минимального размеров, колеблется в пределах 1,0...2,0.

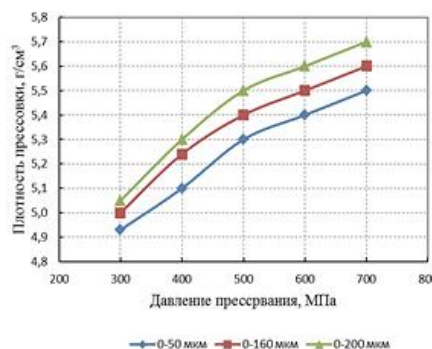


Рис. 1. Зависимость плотности прессовки от давления прессования / Fig. 1. Dependence of green compact density from compact pressure

Таким образом, проведенные исследования уплотняемости порошка ПР-Х17Н2 при применении традиционной схемы холодного прессования показали, что такой вариант приемлем только для получения слабонагруженных изделий. Для повышения плотности прессовок применили теплое прессование. Результаты исследования приведены в таблице 1. Для удобства сопоставления данных там же даны значения плотностей прессовок при холодном прессовании со стеаратом цинка. Полученные данные свидетельствуют о наличии положительного эффекта от разогрева порошка со смазкой на процесс его уплотнения. Вероятнее всего, это происходит как за счет снижения коэффициента межчастичного скольжения, так и некоторого разупрочнения материала частиц.

Таблица 1

**Значение плотностей прессовок г/см<sup>3</sup>, полученных при теплом и холодном прессовании / The value of the compact density g/cm<sup>3</sup>, obtained by warm and cold pressing**

Давление прессования, МПа	Холодное прессование с добавлением стеарата цинка		Теплое прессование со смазкой							
			смаlec		отработка масла		парафин		стеарат цинка	
	0,8 %	1,2 %	0,8 %	1,2 %	0,8 %	1,2 %	0,8 %	1,2 %	0,8 %	1,2 %
300	5,22	5,31	5,30	5,25	5,43	5,40	5,32	5,20	5,31	5,40
500	5,49	5,70	5,65	5,80	5,63	5,75	5,60	5,68	5,75	5,93
700	5,61	5,90	5,92	6,03	5,87	5,95	5,80	5,79	6,03	6,16

Анализ влияния различных видов смазки показал, что при теплом формовании исследованного порошка наиболее эффективной смазкой является стеарат цинка в количестве 1,2 %, который при температуре 125 °С переходит в жидкое состояние и совершенно распределяется между частицами. Такой вариант следует считать оптимальным при формовании порошка ПР-Х17Н2, так как он

позволяет получать прессовки с относительной плотностью около 80 %, что удовлетворяет требованиям при производстве средненагруженных деталей из нержавеющей стали. Дополнительным аргументом в пользу сказанного является возможность приготовления смеси порошка ПР-Х17Н2 со стеаратом цинка в простых смесителях (например, барабанного, конусного, лопастного типа).

Для прогнозного расчета требуемого давления прессования  $P$ , МПа, обеспечивающего заданную относительную плотность сырой прессовки  $\theta$  при указанных выше оптимальных условиях, можно воспользоваться уравнением, полученным нами путем статистической обработки экспериментальных данных:

$$\lg P = 6,22 \lg \theta + 3,46.$$

### Выводы

1. Показано, что при холодном прессовании в закрытой пресс-форме распыленного азотом порошка нержавеющей стали ПР-Х17Н2 не обеспечивается достаточная плотность прессовки. Как

альтернативный вариант, выбрано теплое прессование.

2. С использованием экспериментальных данных получено уравнение логарифмического типа, позволяющее при теплом прессовании (температура 125 °С) рассчитать давление, необходимое для получения брикетов состава Х17Н2 заданной плотности.

3. Установлено, что при прессовании распыленного порошка стали ПР-Х17Н2 в жесткой пресс-форме оптимальным является метод теплое прессования с добавлением 1,2 % стеарата цинка и давлении 700 МПа. Такой метод позволяет получать прессовки с относительной плотностью около 80 %.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Перспективные процессы изготовления порошковых материалов : монография / [О. В. Сизоненко, А. В. Ивлиев, Г. А. Баглюк]. – Николаев : НУК, 2014. – 374 с.
2. Современные технологии в порошковой металлургии : монография / [В. Л. Гиршов, С. А. Котов, В. Н. Цеменко]. – Санкт-Петербург : Изд. Политехнического университета, 2010. – 325 с.
3. Joseph M. PM progress towards wrought steel jear perfomanse / M. Joseph // Powder Metal. – 2003. – № 4. – P. 301.
4. Свойства материалов, полученных при теплом прессовании улучшенных порошков / У. Энгстром, Б. Йохансон, П. Кнутсон // Современные технологии, материалы и изделия порошковой металлургии: материалы научно-практической конференции, 18–20 сентября 2002 г. – Ростов на Дону : Изд. Южно-Рос. гос. техн. универ., 2002. – С. 16.
5. Получение колец синхронизатора коробки передач трактора «Беларусь» из порошков низколегированных сталей методами теплое и холодного прессования // В. М. Горохов, А. Ф. Ильющенко // Порошковая металлургия: инженерия, новые порошковые композиционные материалы. Сварка : сб. докл. 8-го Междунар. симп. (10–12 апреля 2013). – Минск : Белорусская наука, 2013. – С. 161–165.
6. Александров В. Г. Влияние «теплое прессования» и степени легирования на структуру и свойства изделий из легированных порошков: автореф. дис. канд. техн. наук : 05.16.06 / Александров Вадим Геннадиевич. – Пермь : Пермский нац. исслед. политехн. институт, 2015. – 20 с.
7. Основы порошковой металлургии : монография / [М. Ю. Бальшин, С. С. Кипарисов]. – Москва : Металлургия, 1978. – 184 с.

### REFERENCES

1. Sizonenko O.V., Ivliev A.V. and Bagluk G.A. *Perspektivnyye processy izgotovleniya poroshkovykh materialov* [Perspective manufacturing processes for powder materials]. Nikolaev : NUK, 2014, 374 p. (in Ukrainian).
2. Girshov V.L., Kotov S.A. and Tsemenko V.N. *Sovremennye tehnologii v poroshkovej metallurgii* [Modern technologies in powder metallurgy]. St. Petersburg : Izd. Polytechnic University, 2010, 325 p. (in Russian).
3. Joseph M. PM progress towards wrought steel jear perfomanse. Powder Metal. 2003, no 4, p. 301.
4. Engstrom W., Johanson B. and Knutson P. *Svoystva materialov, poluchennyh pri teplom pressovanii uluchshennyh poroshkov* [Properties of materials obtained during the heat pressing of improved powders]. *Sovremennye tehnologii, materialy i izdeliya poroshkovej metallurgii: materialy nauchno-prakticheskoy konferencii* [Modern technologies, materials and products of powder metallurgy: materials of a scientific and practical conference]. September 18–20. Rostov-on-Don, South-Rus. State Tech. University Publ., 2002, p. 16. (in Russian).
5. Gorokhov V.M. and Ilyuschenko A.F. *Poluchenie kolec sinhronizatora korobki peredach traktora "Belarus" iz poroshkov nizkolegirovannyh staley metodami teplogo i holodnogo pressovaniya* [Receipt of the synchronizer rings of the gearbox of the tractor "Belarus" from low-alloy steel steels by methods of warm and cold pressing]. *Poroshkovaya metallurgiya: inzheneriya, novye poroshkovye kompozicionnye materialy. Svarka* [Powder Metallurgy: Engineering, New Powder Composite Materials. Welding]. Sat. reports of the 8th International Symposium, 2013, Minsk : Belarus Science, 2013, pp. 161–165. (in Belarus).
6. Aleksandrov V.G. *Vliyanie «teplogo pressovaniya» i stepeni legirovaniya na strukturu i svoystva izdelij iz legirovannyh poroshkov* [The influence of «warm pressing» and the degree of doping on the structure and properties of products from alloyed powders] : author. for Cand. Tech. Sciences: Perm Nat. Researches Polytechnic Institute, Perm, 2015, 20 p. (in Russian).
7. Balshin M.Yu. and Cypresses S.S. *Osnovy poroshkovej metallurgii* [Basics of powder metallurgy]. Moscow : Metallurgy, 1978, 184 p. (in Russian).

Статья рекомендована к публикации в журнале «Д-ром техн. наук, ст. науч. сотр. Дергач Т. А. (Украина), д-ром техн. наук, проф. Сухомлиным Г. Д. (Украина).

Поступила в редколлегию 07.09.2018

Принята к печати 20.09.2018