

УДК 621.762.2

Т.Н. Гальчук

СТРУКТУРА ТА ВЛАСТИВОСТІ ПОРОШКУ СТАЛІ ШХ15 ВІДНОВЛЕНОГО У ВОДНІ

В роботі проведено аналіз властивостей сталевого порошку ШХ15, отриманого із шліфувального шламу відновленням в атмосфері водню. На основі експериментальних досліджень розроблені оптимальні режими відновлення порошку, досліджено механічні та технологічні властивості порошку сталі ШХ15. Одержаний порошок доцільно використовувати, як основу для виготовлення порошкових композиційних матеріалів триботехнічного призначення.

Ключові слова: шлам, металевий порошок, відновлення, властивості, структура.

Табл. 5. Рис. 5. Літ. 9.

Т.Н.Гальчук

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ПОРОШКА СТАЛИ ШХ15 ВОССТАНОВЛЕННОГО В ВОДОРОДЕ

В работе проведен анализ свойств стального порошка ШХ15, полученного из шлифовального шлама восстановлением в атмосфере водорода. На основе экспериментальных исследований разработаны оптимальные режимы восстановления порошка, исследованы механические и технологические свойства стального порошка стали ШХ15. Полученный порошок целесообразно использовать, как основу для изготовления порошковых композиционных материалов триботехнического назначения.

Ключевые слова: шлам, металлический порошок, восстановление, свойств, структура.

Т. Gal'chuk

STRUCTURE AND PROPERTIES OF POWDER WAS RESTORED IN AQUEOUS SHH15

In work analyzed the properties of steel SHH15 powder obtained from of grinding of sludge recovery in a hydrogen atmosphere. Based on of experimental studies are developed optimal recovery modes powder, studied mechanical and technological properties of powder steel SHH15. Obtained powder is appropriate to use as the basis for the manufacture of powder composite materials of Tribological.

Keywords: sludge, a metal powder, recovery, properties, structure.

Постановка проблеми. Однією із найбільш важливих задач, що стоїть перед вітчизняною промисловістю, є економія матеріальних ресурсів. Тому комплексне використання існуючих джерел сировини і створення безвідходних виробництв стає актуальним напрямком ресурсозберігаючої технології. У даній роботі розглядається проблема переробки відходів металообробних підприємств – шліфувальних шламів, велика кількість яких утворюється з року в рік на машинобудівних заводах.

Кожне підприємство, що пов'язане з обробкою металів, стикається з проблемою утилізації шламових відходів. Шліфувальні шлами в сухому стані містять більше 70% металу у вигляді мікро- та макрочастинок стружки. Решта – це матеріал зносу абразивних кругів. В даний час машинобудівні підприємства вивозять шламові відходи на полігони-могильники. У вивезених вологих відходах знаходиться до 30% мастильно-охолоджувальної рідини (МОР). Існує реальна загроза забруднення ґрунту, ґрунтових вод та водоймищ мастилами, нітратами, триетаноламінами та іншими компонентами МОР. В той же час об'єм промислових відходів, що переробляється, складає не більше 15% від загальної кількості. Таким чином, викидання металовмісних шламів призводить не тільки до безповоротної втрати значної кількості металу, але і створює серйозну екологічну проблему для міст, що мають великі промислові підприємства.

У зв'язку із значним вмістом у металовмісних відходах машинобудівних виробництв неметалічних включень і технічних масел вони не можуть використовуватися в якості вторинної сировини без попередньої переробки.

Останні роки характеризуються інтенсивним розвитком робіт щодо вдосконалення відомих і створення нових методів отримання металічних порошків, які ґрунтуються на використанні вторинних ресурсів сировини [1,2]. На даний час технології переробки шліфувальних шламів недостатньо розвинуті для їх успішного впровадження на виробництві. Основними труднощами, які стримують широке використання шламів як вторинної сировини, є форма металічних частинок, наявність масел та МОР, а також наявність оксидів і сажі в концентраціях, вищих за допустимі.

Метою дослідження є дослідження режимів відновлювального відпалу в середовищі водню порошку сталі ШХ15, отриманого із шламових відходів підшипникового виробництва, з наступним його використанням.

Основні результати дослідження. Дослідження проводили з використанням порошку сталі ШХ15, отриманого за оригінальною дослідно-промисловою технологією із шламових відходів

підшипникового виробництва [3]. Згідно запропонованої схеми для відділення абразивної фракції від металічного порошку використовували магнітну сепарацію, за допомогою електромагнітного сепаратору ЭСШ-500 конструкції РОЛТОМ, в якому реалізується принцип переміщення намагнічених частинок порошку в змінному магнітному полі та передбачено регулювання швидкості переміщення матеріалу, що сепарується по робочій поверхні.

Хімічний аналіз отриманого порошку (табл.1) показав, що для очистки шламів від продуктів МОР необхідно проводити відпал у захисних і відновлювальних середовищах. В результаті чого знизиться вміст кисню, а також зменшиться твердість металічних частинок. Шлам має підвищений вміст вуглецю, що є небажаною домішкою. Тому ще однією ціллю відпалу є зниження вмісту вуглецю. В деяких випадках підвищений вміст вуглецю не є критичним. Оскільки для виготовлення виробів із порошкових матеріалів, зокрема антифрикційного призначення, вуглець у вигляді графіту вводять у склад шихти. Тому при відновлювальному відпалі необхідно забезпечити збереження високого вмісту вуглецю в порошку.

Таблиця 1. Хімічний склад шліфошлему та сталі ШХ15, (%)

Матеріал	C	Cr	Si	S	Mn	O	Нерозчинний осад
Шлам	0,95	0,92	0,37	0,09	0,21	8,5	4,8

Відновлювальний відпал порошку проводили у муфельній лабораторній печі в середовищі водню. Порошок засипали у коробки із нержавіючої сталі, товщина засипки 20 мм. Відновлення оцінювали за вмістом в порошку основного компоненту – заліза.

В цілях виявлення найкращого складу шихти та режимів відновлювального відпалу сталюого порошку, а також мінімізації дослідів був прийнятий варіант планування експерименту із використанням крутого сходження по поверхні відгуку за методикою [4]. В якості параметру оптимізації прийняли вміст заліза у відновленому порошку $Fe_{зар}$. Виходили із припущення, що на параметр оптимізації суттєвий вплив мають такі фактори (табл. 2): кількість введеного в шихту твердого вуглецю X_1 , %; час відновлення X_2 , хв; температура відновлення X_3 , °C; кількість введених у шихту відходів крупних фракцій порошку X_4 , %.

Таблиця 2. Рівні та інтервали варіювання факторів

Найменування	Фактори			
	X_1 , %	X_2 , хв	X_3 , °C	X_4 , %
Нульовий рівень	6	30	1000	6
Інтервал варіювання	4	15	100	4

Була реалізована напіврепліка 2^{n-1} , де $n=4$ із визначаючим контрастом $I=X_1X_2X_3X_4$.

При прийнятому визначаючому контрасті спільні оцінки визначали так: $X_1=X_2X_3X_4$; $X_2=X_1X_3X_4$; $X_3=X_1X_2X_4$; $X_4=X_1X_2X_3$; $X_1X_2=X_3X_4$; $X_1X_3=X_2X_4$; $X_2X_3=X_1X_4$.

Матриця планування і результати дослідів наведені у таблиці 3.

Таблиця 3. Матриця планування

№ досліду	X_1	X_2	X_3	X_4	У
1	2	45	900	10	92,8
2	2	45	1100	2	95,1
3	10	15	1100	2	94,6
4	10	45	1100	10	94,2
5	10	15	900	10	89,8
6	2	15	900	2	93,8
7	2	15	1100	10	94,8
8	10	45	900	2	92,6

Отримана кодована математична модель має вид:

$$Y=93,4625-0,6625X_1+1,2125X_3-0,5625X_4+0,3875X_1X_2+0,3750X_1X_3$$

Відповідно до отриманої моделі значення параметру оптимізації не залежить лінійно від фактору X_2 та знижується із зростанням величини факторів X_1 та X_4 . Таке протиріччя з теоретичними уявленнями про механізм процесу відновлення пояснюється тим, що 15 хвилин (нижня границя варіювання фактору X_2) достатньо для завершення процесу відновлення. Можливим є і те, що до цього моменту реакція настільки сповільнюється, що подальше збільшення фактору часу практично не впливає на ріст параметру оптимізації.

Негативний вплив факторів X_1 та X_4 пояснюється тим, що і вуглець, і крупні фракції порошку повністю проявляють свою активуючу дію на процес відновлення в кількості значно меншій, ніж прийнято на основному рівні варіювання.

На основі отриманого рівняння побудовано графік залежності оптимізуемого фактору (Fe,%) від параметрів оптимізації C,% та T,°C при протяжності процесу $\tau = 30$ хв і кількості відходів крупних фракцій порошку 6% (рис. 1).

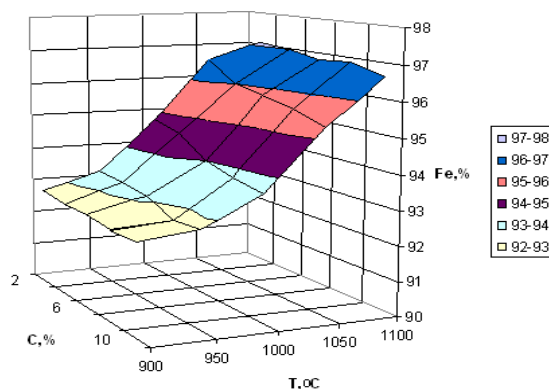


Рис. 1. Залежність відновленого заліза від температури і кількості вуглецю

Найбільш активне відновлення оксидів протікає при температурі вище 1000 °C. Температура вище 1100°C приводить до сильного спікання металевої губки. Тому відпал порошку проводили в інтервалі 1020...1070°C. При високому вмісті заліза губка легко розмелюється. Як видно із рис. 1 оптимальний склад шихти складає 3% вуглецю і 95...97% заліза. Це підтверджується і даними хімічного аналізу складу порошку (табл. 4). Відновлені порошки за хімічним складом, в основному, наближені до складу підшипникової сталі.

Таблиця 4. Хімічний склад порошку сталі ШХ15 після відновлювального відпалу, %

Матеріал	Fe, %	Cr, %	C, %	Mn, %	Si, %	S, %	P, %	Нерозчинний залишок
Порошок відновлений в атмосфері H_2	96,4	0,9	0,54	0,31	0,3	0,02	0,04	1,3
Сталь ШХ 15 ГОСТ 801-88	96,5... 97,3	1,3- 1,65	0,95 - 1,05	0,2- 0,4	0,17- 0,37	0,02	до 0,027	-

Умови відновлення порошку шарикопідшипникової сталі ШХ15 полегшуються за рахунок відносно невисокого вмісту хрому, наявності вуглецю, що є додатковим відновлювачем, низького значення насипної густини порошку, що покращує його газопроникність. Вміст вуглецю в порошку при відпалі зменшується до 0,54%. Вигорання вуглецю проходить за рахунок взаємодії з атмосферою і з оксидами, що містяться в порошку.

Структуру частинок порошку визначали металографічним методом на оптичному мікроскопі МИМ-10. Для цього частки порошку заливалися у спеціальні обойми акриловим компаундом з подальшим виготовленням шліфів. Підготовка шліфів проводилася згідно з методикою [5]. Травлення мікрошліфів 4%-ним розчином азотної кислоти в спирті виявило феритну структуру частинок з мікропорами на поверхні (рис. 2).

Мікротвердість, виміряна на мікротвердомірі ПМТ-3 при навантаженні 20г, змінюється в межах 45...80кг/мм².

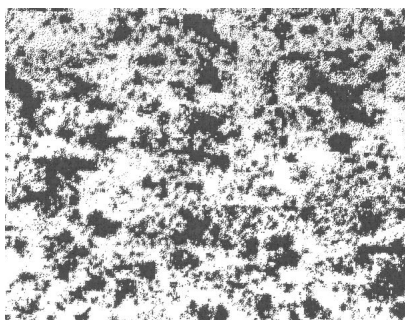
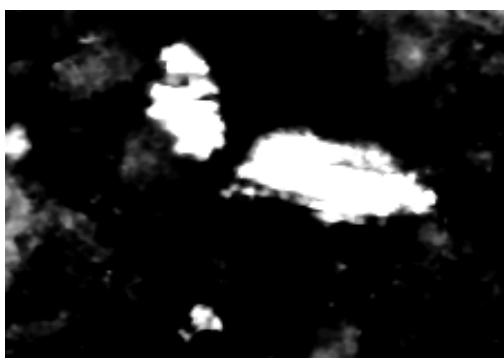
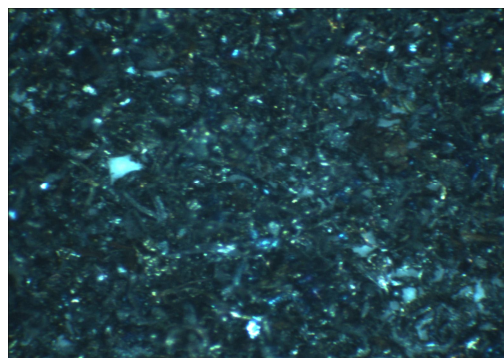


Рис. 2. Мікроструктура частинок порошку сталі ШХ15 після відпалу у водні $\times 400$

Порошок має неправильну форму частинок з високорозвиненою поверхнею (рис. 3). Однак, в порівнянні з початковими частинками, що містилися у шлам, частинки порошку після відпалу більш овалні, не мають гострих кутів і тонких ниткоподібних ділянок. Деякі спікалися одна з одною в міцний конгломерат.



а)



б)

Рис. 3. Форма частинок порошку (а), характер розвиненості поверхні (б) порошку ШХ15 $\times 280$

Гранулометричний склад порошку досліджувався методом ситового аналізу, з використанням вібросита моделі 029 № 124–85, відповідно до ГОСТ 18318–94 [6]. Порошок має широкий діапазон розмірів частинок (від 50 мкм і менше до 1000 мкм) (рис. 4).

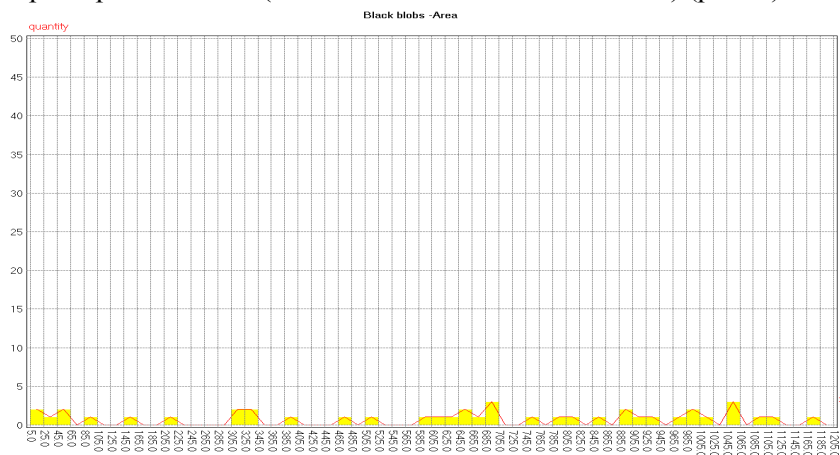


Рис. 4. Розподіл часток порошку ШХ15

Насипна густина порошку визначалася за ГОСТ 19440–94 [7]. Ущільнення порошку визначали за ГОСТ 25280–90 [8].

Текучість порошку визначали за методикою передбаченою ГОСТ 20899–75 [9], і порівнювали з текучістю порошку ПЖ–3М ГОСТ 26802–86, що визначалася за цією ж методикою.

Технологічні властивості дослідного порошку сталі ШХ15 і порошку ПЖ–3М наведені у таблиці 5. Внаслідок більш складної форми частинок насипна густина отриманого порошку сталі ШХ15 є дещо нижча, ніж насипна густина порошку ПЖ–3М.

Таблиця 5. Технологічні властивості порошків

Порошок	Насипна густина, г/см ³	Густина ущільнення, г/см ³	Текучість с/50г
Порошок сталі ШХ15 відновлений у водні	1,9	2,24	13
Порошок ПЖ–3М ГОСТ 26802–86	2,11	2,68	6

Пресуємість порошку характеризується ущільненням та формуємістю. Ущільнення порошку оцінюється за густиною пресовок, що виготовляються при тиску пресування 1...100 т/см² у циліндричній прес-формі Ø6мм. Ущільнення дослідного порошку дещо нижче ущільнення порошку ПЖ–3М ГОСТ 26802–86 (рис. 5). Проте отриманий порошок сталі ШХ15 легко приймає необхідну форму навіть при тиску пресування меншому за 1 т/см².

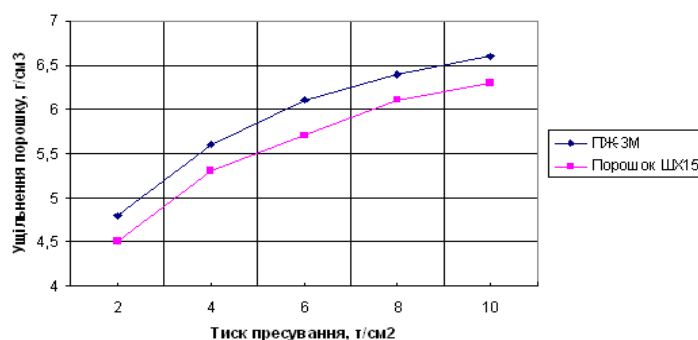


Рис. 5. Залежність ущільнення від тиску пресування

Висновки. Таким чином, при відновлювальному відпалі у середовищі водню шламових відходів підшипникового виробництва, що попередньо пройшли магнітну сепарацію, отримується металічний порошок із задовільними технологічними властивостями. Особливо слід відмітити хорошу його формуємість та міцність сирової пресовки. При чому зберігається в отриманому порошок основний вміст легуючих елементів, а вміст вуглецю можливо регулювати. До недоліків порошку слід віднести низьку текучість і до певної міри насипну густину. Отриманий порошок сталі ШХ15 може використовуватися для отримання виробів методом порошкової металургії. На їх основі можна створювати порошкові композиційні матеріали різного конструкційного призначення, зокрема для виготовлення антифрикційних виробів.

1. Кипарисов С.С. Использование вторичных металлов в качестве сырья для получения порошков и порошковых изделий / С.С. Кипарисов // Порошковая металлургия. – 1985. – № 10. – С. 57-62.
2. Бондаренко Б.И. Разработка технологии получения композиционного порошка из шламовых отходов подшипникового производства / Б.И. Бондаренко, В.П. Якубовский, Д.Н. Федоров, Е.П. [и др.] // Экотехнологии и ресурсосбережение. – 2002. – № 4. – С. 32-35.
3. Спосіб отримання металевого порошку з шламових відходів підшипникового виробництва: Патент на винахід 63558 А. Україна. МКИ 7 B22 F 3/04/ В.Д. Рудь, Т.Н. Гальчук, О.Ю. Повстяной. – № 2003054065; Заявл. 06.05.03; Опубл. 15.01.04., Бюл. №1. – 3 с.
4. Пляскин И.И. Оптимизация технических решений в машиностроении / И.И. Пляскин. – М.: Машиностроение, 1982. – 173 с.
5. Геллер Ю.А. Материаловедение. Методы анализа, лабораторные работы: [учебное пособие для вузов] / Ю.А. Геллер, А.Г. Рахштад. – [6-е изд., перераб. и доп.]. – М.: Металлургия, 1989. – 456 с.
6. Порошки металлические. Метод определения размера частиц сухим просеиванием (ISO 3923–83). ГОСТ 18318–94. – [Действующий от 01–01–1997]. – М.: Издательство стандартов, 1996. – 11 с.
7. Порошки металлические. Определение насыпной плотности. Часть 1. Метод с использованием воронки (ISO 3923–1–79). ГОСТ 19440–94. – [Действующий от 01–01–1997]. – М.: Издательство стандартов, 1974. – 5 с.
8. Порошки металлические. Метод определения уплотняемости (ISO 3927–85): ГОСТ 25280–90. – [Действующий от 01–07–1991]. – М.: Издательство стандартов, 1991. – 13 с.
9. Порошки металлические. Определение текучести с помощью калиброванной воронки (прибора Холла) (ISO 4490–78): ГОСТ 20899–98. – [Действующий от 01–07–2001]. – М.: Издательство стандартов, 2001. – 9 с.

Стаття надійшла до редакції 27.04.2013.