

УДК 621.721

## *Дослідження процесів утилізації порошкових відходів сталі ШХ15*

Л. А. Сосновський, кандидат технічних наук  
О. В. Власова, кандидат технічних наук  
М. Є. Головкова

Інститут проблем матеріалознавства ім. І. М. Францевича НАН України, Київ

*Досліджено спікання пресовок із сумішею порошкових відходів сталі ШХ15 з графітом. Показано, що додавання графіту активує процес як твердофазного, так і рідкофазного спікання. Додавання в порошок заліза до 40 % (по масі) суміші ШХ15 – графіт, незначно впливає на його плинність та ущільнення, що дозволяє утилізувати відходи сталі ШХ15 у спечені залізовуглецеві матеріали.*

На даний час реалізований в минулому інтенсивний технологічний розвиток порошкової металургії заліза збігся з відносно коротким періодом ресурсо-енергетичного благополуччя [1]. Це, в значній мірі, зумовило рецептурні й технологічні особливості технічних рішень цього періоду розвитку порошкової металургії, зокрема проблеми утилізації порошкових металевих відходів [2]. Склалася парадоксальна ситуація: з одного боку посилилась екологічно обумовлена необхідність їх утилізації, з іншого – вартість процесів утилізації швидко зростає з часом.

Серед промислових відходів найбільший об'єм займають порошкові відходи виробництва підшипників. Численні та, безумовно, корисні технологічні варіанти їх утилізації не привели до розробки прийнятної технології утилізації всього об'єму цих відходів [3 – 8]. Можна припустити, що розроблені технології утилізації цих відходів не задовольняють головній вимозі: забезпечити проведення технічно і економічно корисної одночасної переробки всього об'єму відходів.

Метою цієї роботи є дослідження процесів переробки порошкових відходів сталі ШХ15 і визначення принципової можливості їх утилізації в рамках технології виготовлення виробів зі сталі.

В якості вихідного матеріалу в роботі використовували сухий безабразивний порошок шліфувального шламу сталі ШХ15. За даними ситового аналізу його основна фракція (40 – 50 мкм) складає 47 % по масі, а самі частинки мають форму двох типів: сферичну – розміром ~ 50 – 100 мкм і лускату – розміром ~ 100 – 200 мкм (рис. 1).

Порошок шліфувального шламу сталі ШХ15 після відпалу при температурі 900 °С протягом 1 години містить (% по масі): Cr – 1,5, С<sup>загальний</sup> – 1,27, O<sub>2</sub> – 4,62. Використовували також порошок заліза марки ПЖР 3.200.28, графіт марки ГСМ-1, стеарат цинку і лярд (тваринний жир).

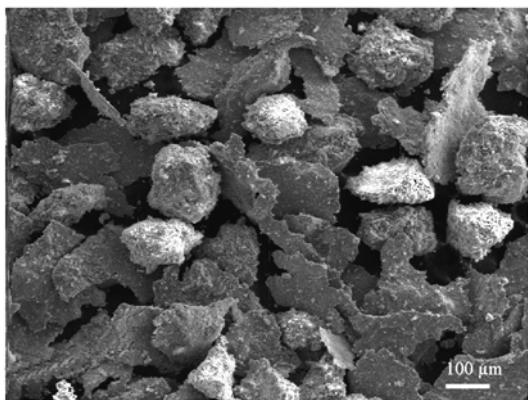


Рис. 1. Форма частинок шліфувального шламу сталі ШХ15.

З метою визначення можливості активації спікання добавками вуглецю [9, 10] порошкові відходи сталі ШХ15 змішували з порошком графіту в кількості від 0 до 5 % (по масі). Отримані суміші пресували при тиску 700 МПа в роз'ємній прес-формі. Спікання проводили в термічній печі на повітрі при температурі 1100 – 1200 °С. Для захисту від окислення використовували подвійну упаковку дослідних зразків: графітовий тигель з кришкою і засипкою  $\text{CaF}_2$

з розміром частинок 1 – 3 мм, що не змочується залізовуглецевим розплавом, який вставляли в сталевий контейнер з кришкою та засипкою складу (% по масі): прожарений річковий пісок – 98, графіт – 2. З метою створення в об'ємі спікання захисного (відновного) середовища на дно тиглю і сталевому контейнеру попередньо поміщали стружку парафіну. Щільність зразків визначали гідростатичним методом (рис. 2).

Пористість пресовок зі шламу ШХ15 без графіту після спікання при температурах 1100 та 1200 °С змінюється від 40,1 до 41,8 і 37,0 % відповідно, що свідчить про їх низьке ущільнення. Введення графіту в шлам ШХ15 незначно підвищує його ущільнення. Проте, додавання графіту істотно активує твердофазне спікання при температурі 1100 °С і рідкофазне спікання при температурі 1200 °С, в тому числі з утворенням спеків чавуну – суміші з 4 і 5 % (по масі) графіту.

З метою оцінки впливу щільності пресовок на активацію графітом процесу спікання дисперсної (більш активної) частини порошку був проведений наступний експеримент. Висів порошкових відходів сталі ШХ15 з розміром частинок менше 63 мкм змішували з порошком графіту і лярдом з отриманням суміші (% по масі): шлам ШХ15 – 95,9, графіт – 3,5, лярд – 0,6. Суміш пресували при тиску 200 МПа в роз'ємній прес-формі, оскільки у нероз'ємній прес-формі при випресовуванні зразки зазнають розшарування. Значення щільності вихідних і спечених зразків наведені на рис. 3.

Показано, що дрібний порошок шліфувальних відходів сталі ШХ15 має низьке ущільнення навіть при введенні в нього двох змазок: графіту і лярду. Збільшення тиску пресування від 200 до 700 МПа підвищує щільність зразків неістотно. При температурі 1100 °С протікає твердофазне спікання зразків з його аномальною активацією, при цьому щільність спечених зразків слабо залежить від їх вихідної пористості. Спікання при температурах 1130 і 1150 °С протікає з оплавленням зразків, однак, залежність їх щільності від тиску пресування зберігається. Проведені експерименти свідчать про те, що активуючий вплив графіту на спікання досліджуваного порошку є стійким фактором, тобто порошковий шлам сталі ШХ15 важко включити в

## Технічна інформація

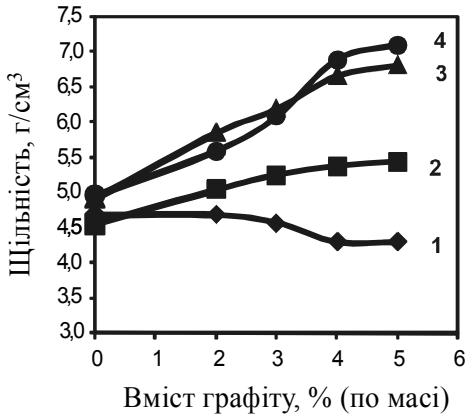


Рис. 2. Залежність щільності пресовок на основі порошку сталі ШХ15 від вмісту графіту. 1 – вихідний стан; температура спікання: 2 – 1100 °С, 3 – 1200 °С, 4 – 1100 + 1200 °С.

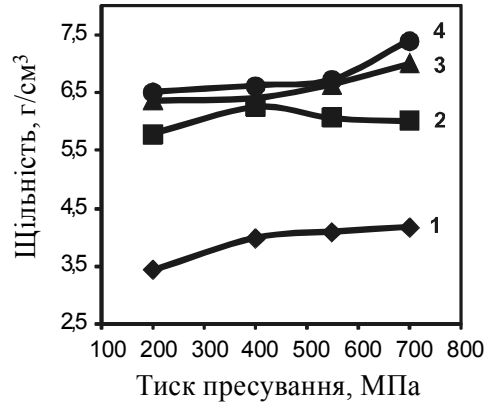


Рис. 3. Залежність щільності сирих і спечених зразків на основі відходів сталі ШХ15 і 3,5 % по масі графіту від тиску пресування. 1 – вихідний стан; температура спікання: 2 – 1100 °С, 3 – 1130 °С, 4 – 1150 °С.

промислові процеси переробки перш за все через їх низьку плинність і дуже низьке ущільнення. Тому був проведений наступний експеримент. Приготовлені суміші мали різне ущільнення:

1 – Fe – 95,9 % (по масі), графіт – 3,5 % (по масі), ляд – 0,6 % (по масі);

2 – порошок сталі ШХ15 (висів менше 63 мкм) – 95,9 % (по масі), графіт – 3,5 % (по масі), ляд – 0,6 % (по масі) змішували у різних пропорціях і пресували в нероз'ємній прес-формі при тиску 700 МПа. Отримані пресовки спікали на повітрі в контейнері за схемою, описаною вище, при температурі 1100 °С протягом 1 години. Значення щільності пресовок з різним вмістом невідпаленого шламу ШХ15 наведено в табл. 1.

Таблиця 1

Щільність і пористість вихідних і спечених зразків, виготовлених з сумішею залізо – шлам ШХ15 – графіт – ляд

Склад сумішей, % (по масі)	Вихідні пресовки		Після спікання при 1100 °С, 1 год.
	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>	П, %	$\gamma$ , г/см <sup>3</sup>
1 – 100	6,33	8,46	6,51
1 – 90, 2 – 10	6,03	14,35	6,32
1 – 85, 2 – 15	5,85	15,55	6,21
1 – 70, 2 – 30	5,51	20,32	6,04

Примітка:  $\gamma$  – щільність, П – пористість.

При проведенні пресування було встановлено, що додавання суміші 2 до суміші 1 сприяє зниженню насипної щільності порошку, однак суміші залишались плинними. Наведені в табл. 1 дані свідчать про те, що додавання шламу ШХ15 в порошок заліза значно знижує його ущільнення. Наявність

графіту в суміші активує спікання всіх сумішей, однак ефект активації не компенсує зниження ущільнення.

В роботі також було перевірено доцільність підвищення пластичності порошку сталі ШХ15. При цьому була врахована відома рекомендація щодо застосування добавок у залізний порошок. А також дані, згідно з якими відпал порошкових відходів сталі ШХ15 призводить не тільки до підвищення їх пластичності, а й до видалення летючих домішок і часткового або повного відновлення оксидних плівок.

Частину суміші шлам ШХ15 – графіт складу (% по масі): шлам ШХ15 – 94, графіт – 6, відпалювали при температурі 900 °С протягом 1 години у водні технічної чистоти в стані вільної насипки. Невідпалену і відпалену суміші пресували при тиску 700 МПа в роз’ємній прес-формі. Щільність і пористість спресованих зразків мали наступні значення відповідно: з невідпаленої суміші – 4,24 г/см<sup>3</sup>, 38,3 %; з відпаленої суміші – 5,62 г/см<sup>3</sup>, 18,4 %. Тобто, відпалювання збагаченої графітом суміші привело до істотного підвищення її ущільнення, що свідчить про підвищення пластичності порошкового шламу ШХ15.

Відпалену збагачену графітом суміш (ЗС) спільно зі стеаратом цинку в кількості 0,6 % (по масі) змішували із залізним порошком у різній пропорції. Склад отриманих сумішей наведений у табл. 2. Підвищення

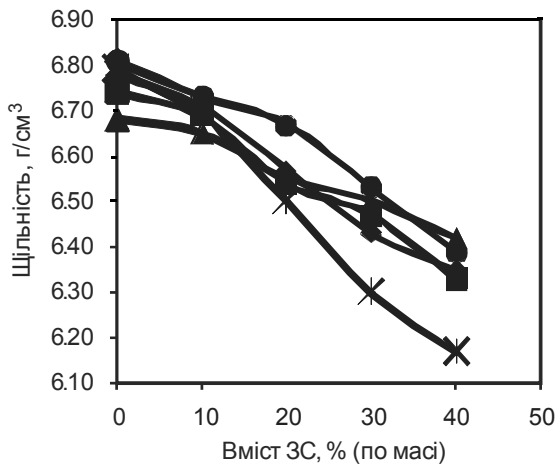


Рис. 4. Залежність щільності вихідних (1) і спечених зразків від вмісту ЗС і температури спікання: 2 – 1000 °С, 3 – 1100 °С, 4 – 1160 °С, 5 – 1200 °С.

вмісту відпаленої ЗС в порошку заліза призвело до деякого зниження насипної щільності, але суміші залишалися плинними. Дослідні зразки цих сумішей пресували при тиску 700 МПа в нероз’ємній прес-формі. Спікання при температурі 1000 і 1100 °С проводили на повітрі в контейнері з кришкою і засипці пісок – графіт. Спікання зразків при температурі 1160 °С проводили на повітрі в подвійній упаковці в засипці прожареного піску дисперсністю +0,25 - -0,50 мм. Отримані результати представлені на рис. 4 і табл. 2.

Наведені в табл. 2 та на рис. 4 результати свідчать про те, що додавання відпаленої ЗС шлам ШХ15 – графіт практично не змінює щільність спечених пресовок. Різна ступінь розчинення графіту не дозволяє використовувати точне значення теоретичної щільності для адекватного визначення пористості, однак наближені її значення свідчать про те, що введення добавки ЗС не призводить до підвищення пористості.

Введення добавки ЗС у залізний порошок в кількості до 20 % (по масі) не погіршує зовнішнього вигляду зразків. Тільки спікання складів 4 і 5 при температурі 1160 і 1200 °С призвело до істотної усадки і виникненню

Таблиця 2

Твердість зразків залежно від вмісту в них добавки відпаленої суміші  
сталь ШХ15 – графіт (ЗС)

Номер	Вміст ЗС в суміші, % (по масі)	Пори, % вихідних пресовок	Температура спікання на повітрі протягом 1 години, °С					
			1000	1100	1160		1200	
			HRB	HRB	HRB	HRC	HRB	HRC
1	0	9,36	27	31	31	–	46	32
2	10,0	9,53	53	51	56	31	69	39
3	20,0	10,29	71	74	79	42	84	42
4	30,0	10,98	65	78	80	47	91	47
5	40,0	11,01	67	81	–	59	–	56

Примітка: твердість HRC після гартування

в пресовках видимих дефектів. Таким чином, результати, наведені в табл. 2, свідчать про незначне підвищення пористості дослідних зразків при додаванні збагаченої графітом суміші в порошок заліза. Порівняння даних табл. 1 і 2 та рис. 4 також підтверджують рекомендації [5 – 8] про доцільність відпалу порошкових відходів для підвищення їх ущільнення.

Зразки, спечені при температурах 1160 і 1200 °С, піддавали гартуванню у воді від температури 850 °С. Значення твердості зразків після гартування наведено в табл. 2.

Підвищення твердості спечених і гартованих пресовок при збільшенні в них вмісту збагаченої графітом суміші відходів ШХ15 та підвищенні температури спікання очевидно обумовлено збільшенням концентрації розчиненого в них вуглецю.

Дослідження мікроструктури зразків, спечених при температурі 1200 °С, показало, що спікання зразків з вмістом у залізному порошок до 30 % (по масі) ЗС проходить у твердій фазі з частковим оплавленням по межах зерен внаслідок контактного плавлення. Розподілення хрому в зразках є рівномірним. При підвищенні вмісту ЗС до 40 % (по масі) розподілення хрому в зразках не є рівномірним і характерним, як і для спікання в присутності рідкої фази.

Таким чином, додавання порошку графіту активує твердофазне спікання порошкового шламу ШХ15. Видалення з порошку великих частинок робить ефект активації більш виразним, мабуть, у зв'язку зі зростанням питомої термодинамічної нерівноважності порошку. При низькотемпературному відпалі добавка графіту не ініціює спікання, але, ймовірно, прискорює процес відновлення оксидних плівок. Збагачена суміш, що містить 6 % (по масі) графіту (~ 18 % об.), є найбільш сприятливою для розподілу часток відновлювача (графіту) щодо окислених металевих частинок. Попередній відпал збагаченої графітом суміші дає принципову можливість використання шламу ШХ15 в якості технічно і, досить імовірно, економічно вигідної добавки в базовий залізний порошок, який забезпечить

плинність і ущільнення, що необхідні в промисловому процесі пресування з автоматичним дозуванням. Неважко помітити, що розглянутий варіант утилізації дозволяє варіювати два параметри: 1 – кількість вуглецю (переважно графіту) в збагаченій суміші, 2 – кількість введеної в порошок заліза збагаченої суміші і, отже, кількість утилізованих відходів сталі ШХ15. Можна припустити, що 15 – 25 % (по масі) шламу ШХ15 є цілком реальним, а це значить, що велика частина безабразивних відходів може бути утилізована порошковою металургією України.

Порошковий шліфувальний шлам можна утилізувати для виготовлення спечених сталей для невідповідальних виробів, спечених і гартованих сталей для відповідальних виробів. Використання ефекту активації спікання графітом обумовлює доцільність реалізації другого варіанту утилізації.

**Висновки** Встановлено, що додавання графіту істотно активує процес як твердофазного, так і рідкофазного спікання. Додавання в порошок заліза невідпаленого шламу ШХ15 істотно знижує його ущільнення. Введення до 40 % (по масі) суміші шлам ШХ15 – графіт в порошок заліза незначно впливає на його плинність і ущільнення, що дозволяє утилізувати відходи сталі ШХ15 у складі спечених залізвуглецевих матеріалів.

## Література

1. Дементьев В.А., Кузьмин В.И., Лебедев Б.Д. Прогноз критических ситуаций в развитии мирового сообщества и военно-политических конфликтов. – М.: Военное издательство, 1995. – 158 с.
2. Волобуев В.Ф., Довгин И.И., Анкудинов Н.В. Заготовка и переработка вторичных металлов. – М.: Металлургия, 1980. – 407 с.
3. Раковский В.С., Саклинский В.В. Спекание деталей из шламов стали ШХ15 // Литейн. пр-во. – 1951. – 3. – С. 203 – 220.
4. Алеутдинова М.И., Фадин В.В., Колубаев А.В. Влияние карбида кремния на трение порошкового композита с матрицей из подшипниковой стали // Перспективные материалы. – 1998. – 3. – С. 82 – 86.
5. Алеутдинова М.И., Борисов М.Д., Фадин В.В. Изменение фазового состава при спекании композитов из переработанной подшипниковой стали, содержащей карбида бора и кремния // Перспективные материалы. – 2001. – 4. – С. 75 – 77.
6. Алеутдинова М.И., Борисов М.Д., Фадин В.В. Структура и механические свойства порошковых материалов на основе подшипниковой стали // Изв. вузов. Черн. металлургия. – 2001. – 2. – С. 31 – 34.
7. Баглюк Г.А., Позняк Л.А., Дацкевич О.В. Получение и свойства порошковой стали из безабразивных шламовых отходов подшипникового производства // Вестник машиностроения. – 1993. – 10. – С. 15 – 17.
8. Судина С.С., Шуменко В.Н., Шуменко В.В. Получение порошка из опилового шлама ШХ15 // Материалы 7 международной конференции «Материалы и покрытия в экстремальных условиях: исследования, применение, экологически чистые технологии производства и утилизации изделий» МЕЕ-2012, 24 – 28.09.2012, АР Крым. – С. 311.
9. Ермаков С.С., Вязников Н.Ф. Порошковые стали и изделия. – Ленинград: Машиностроение, 1990. – 319 с.

10. Мамедов А.Т., Мамедов В.А. Свойства высокоплотных порошковых материалов на основе железа, спрессованных без стеарата цинка // Порошковая металлургия. – 2003. – 5/6. – С. 32 – 36.

Одержано 15.10.14

**Л. А. Сосновский, О. В. Власова, М. Е. Головкова**

**Исследование процессов утилизации порошковых отходов стали ШХ15**

**Резюме**

Исследовано спекание прессовок из смесей порошковых отходов стали ШХ15 с графитом. Показано, что добавление графита активирует процесс как твердофазного, так и жидкофазного спекания. Добавление в порошок железа до 40 % смеси ШХ15 – графит, незначительно влияет на его текучесть и уплотняемость, что позволяет утилизировать отходы в спеченные железоуглеродистые материалы.

**L. A. Sosnovsky, O. V. Vlasova, M. E. Golovkova**

**Study of waste disposal of powder steel ШХ15**

**Summary**

The sintering of powder compacts from mixtures of waste steel ШХ15 with graphite is investigated. The addition of graphite activates solid and liquid phase sintering. The addition to iron powder of 40 % of a mixture of powdered waste ШХ15 steel and graphite, has little effect on the fluidity and compressibility, which allows waste to be disposed to sintered iron-carbon materials.

***Шановні колеги!***

**Триває передплата на науково-технічний журнал  
«Металознавство та обробка металів» на 2015 р.**

Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок

Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.

Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2014 рр. – 10 грн.

**Розрахунковий рахунок для передплатників,  
спонсорів і рекламодавців:**

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "ММ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника

**просимо надсилати до редакції,**

вказавши номер і дату платіжного документа.