

УДК 669.14.018

К.О.Гогаєв, А.І.Іценко

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

ДОСЛІДЖЕННЯ РІЖУЧИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОРОШКОВИХ ШВИДКОРІЗАЛЬНИХ СТАЛЕЙ ПРИ МЕХАНІЧНІЙ ОБРОБЦІ ТИТАНОВИХ СПЛАВІВ

Представлені результати дослідження стійкості інструментів з порошкових швидкорізальних сталей Р9М4К8-МП, Р6М5Ф3-МП і Р6М5К5-МП при механічній обробці титанового сплаву ВТ-9. Результати досліджень свідчать про те, що порошкові сталі мають більш високу стійкість в порівнянні зі сталями традиційного способу виробництва. Зроблено висновок про те, що застосування спеціальної температурно-часової обробки розплаву сталі перед розпиленням при отриманні порошків сталі призводить до підвищення стійкості інструментів, у порівнянні з матеріалами того ж складу, але отриманих без застосування СТЧО.

Ключові слова: порошкова швидкорізальна сталь, твердість, в'язкість, титановий сплав.

Інструментальні сталі застосовуються в екстремальних умовах при одночасній дії підвищеного тиску та температури, а також при локалізації навантажень на окремих ділянках робочої поверхні інструментів. При традиційному способі виробництва інструментальних сталей (розливка в злитки з наступним виготовленням сортового металу ковкою або прокаткою) можливості поліпшення характеристик металу практично вже вичерпані. Крім того, ця технологія малоефективна в зв'язку з порівняно низьким коефіцієнтом використання металу ($0,5 \div 0,65$).

В останні 15-20 років при створенні нових технологій отримання інструментальних сталей спеціального призначення широко застосовують методи порошкової металургії. Ці методи відкривають широкі можливості впливу на склад і структуру сталей в порівнянні з традиційними. Використання технологій порошкової металургії при виготовленні інструментів дає можливість отримати матеріал з рівномірним розподіленням дисперсних карбідів, підвищити технологічну пластичність матеріалу, суттєво підвищити фізико-механічні характеристики матеріалу. Це забезпечує підвищення стійкості інструментів, виготовлених з порошкових інструментальних сталей, в 1,5-2 рази в порівнянні з аналогічними, виготовлених по традиційній технології. Крім того ця технологія дає можливість виготовляти заготовки максимально близькі за формою до готових інструментів, що забезпечують високий рівень використання металу ($80 \div 85\%$).

В нинішній час всі відомі в світі фірми для виготовлення інструментів різного призначення застосовують два технологічні методи. Перший з них включає холодне пресування порошків, вакуумне спікання та гаряче пластичне деформування заготовок. Другий метод полягає у використанні ізостатичного пресування порошків. При цьому контроль якості порошків обмежується в основному визначенням їх хімічного і гранулометричного складу і вкрай мало уваги приділяється мікроструктурі вихідних порошків.

Відомий принципово новий підхід до виробництва інструментальних сталей, що полягає в одержанні та використанні вихідних порошків із заданою дрібнозернистою мікроструктурою. Цей новий підхід базується на тому, що спеціальна температурно-часова обробка (СТЧО) розплаву сталі перед розпиленням дає можливість надійно керувати структурою і дисперсністю порошків [1, 2]. Порошки, отримані з застосуванням СТЧО розплаву, мають чарункову структуру з високим ступенем однорідності і більш дрібний розмір аустенітного зерна на відміну від порошків, отриманих за звичайною технологією. Таким чином відкриваються можливості значного поліпшення структури та службових характеристик порошкових інструментальних сталей, що має велике наукове і практичне значення [3].

Однак, в нинішній час нема відомостей про експлуатаційні характеристики цих матеріалів при механічній обробці титанових сплавів. Основною метою дослідження є одержання даних по стійкості інструментів з порошкових швидкорізальних сталей Р9М4К8-МП, Р6М5Ф3-МП і Р6М5К5-МП у порівнянні з аналогічними марками, виготовленими за традиційною технологією.

Ріжучий інструмент виготовляли з сталей Р6М5Ф3-МП, Р6М5К5-МП та Р9М4К8-МП. Інструменти виготовляли за наступною технологічною схемою:

1. Отримання порошку методом розпилення розплаву сталі інертним газом з застосуванням спеціальної температурно-часової обробки розплаву перед розпиленням;
2. Пресування порошків в газостаті;

©К.О.Гогаєв, А.І.Іценко

3. Ковка заготовок;
4. Прокатка заготовок;
5. Механічна обробка заготовок;
6. Термічна обробка і заточування готового інструменту.

Для розпилення порошків використовували установку з вертикальним напрямком потоків металу та газу. Установка складається з індукційної печі типу ІСТ-0,02 з магнетитовою футеровкою, приймача металу, форсунки (конструкція типу сопла Лавалю), колони розпилення (висота 6 м), приймача порошку.

Основою шихти була сталь ШХ-15 ($C=0,95-1,05\%$; $Mn=0,2-0,4\%$; $Si=0,17-0,37\%$; $Cr=1,3-1,65\%$; $Ni<0,3\%$; $Cu<0,25\%$; Fe залишок), інші добавки вводили в вигляді феросплавів. Плавки вели в відкритих індукційних печах. Розкислення металу в процесі плавки проводили феросиліцієм, а остаточне перед розпиленням – силікокальцієм з розрахунку 1,5-2,0 кг/т сталі. Розпилення розплаву проводилось чистим азотом, що забезпечує високу чистоту порошку. Розпилення проводилось при тиску 0,8 МПа, при цьому частки порошку розміром більше 630 мкм складали менше 3 % маси, в той час як вміст дрібної фракції (<100 мкм) досягала 55-60 %.

Застосовувалась наступна технологія розпилення: плавлення основної шихти, введення та розчинення феросплавів і інших легуючих добавок, рафінування розплаву, нагрівання до температури розпилення (1560-1580°C), проведення СТЧО та розпилення. Розсів порошку на фракції проводили на віброситі з виділенням робочої фракції 630-50 мкм. Вміст кисню в порошок не перевищував 0,01-0,02 %.

В результаті досліджень встановлено, що порошки, отримані методом розпилення розплаву сталі, що був підданий спеціальній температурно-часовій обробці (СТЧО), значно відрізняються від порошків, отриманих за звичайною технологією (рис. 1).

Для порошків, отриманих за звичайною технологією, характерна дендритна структура. Саме це є причиною хімічної і структурної неоднорідності металу. Слід мати на увазі, що вплив дендритної ліквідації елементів неможливо усунути наступними операціями пресування, спікання, гарячого деформування. Порошки, отримані з застосуванням СТЧО розплаву, мають чарункову структуру з високим ступенем однорідності і більш дрібним розміром аустенітного зерна, ніж порошки, отримані за звичайною технологією. Таким чином, в сталі, отриманій з цих порошків, відсутня анізотропія властивостей, що пов'язана з спадковою дендритною ліквідацією елементів, а дрібнозерниста структура забезпечує підвищення експлуатаційних характеристик сталі, в першу чергу ударну в'язкість та тріщиностійкість.

Мікроструктура порошку сталі Р9М4К8-МП наведена на рис. 1.

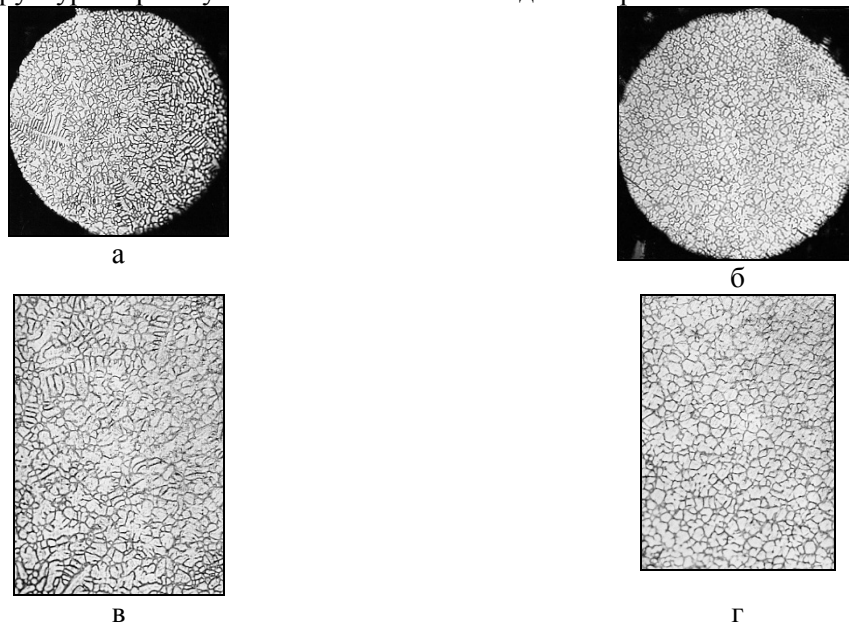


Рис. 1. Мікроструктура порошку сталі Р9М4К8-МП

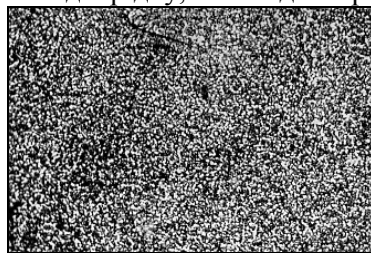
- а – без застосування СТЧО розплаву, 400^x
 б – з застосуванням СТЧО розплаву, 400^x
 в – без застосування СТЧО розплаву, 800^x
 г – з застосуванням СТЧО розплаву, 800^x.

Для отримання щільного металу готували капсули $\varnothing 109 \times 350$ мм, заповнювали їх порошком, проводили дегазацію порошку до остаточного вакууму 10^{-1} мм. рт. ст. і герметизували спеціальним припоєм.

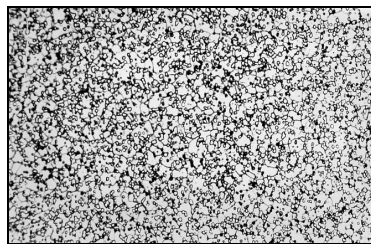
Гаряче газостатичне пресування проводили по наступному режиму: температура 1150 – 1160⁰С; тиск 120 – 140 МПа; час витримки 1,5 – 2,0 год.

Ковку пресовок проводили на пресі АПК – 500 на плоских бойках по схемі $\varnothing 109$ мм → $\varnothing 30$ мм. Температура нагрівання пресовок в печі – 1080⁰С. Деформаційну переробку прутків з $\varnothing 30$ мм на $\varnothing 17$ мм проводили на молотах, а з $\varnothing 17$ мм на $\varnothing 12$ мм прокаткою. Після прокатки прутки піддавались ізотермічному відпалу при 850⁰С.

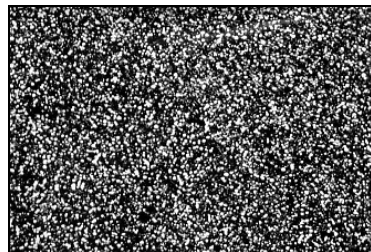
Встановлено, що застосування СТЧО розплаву перед розпиленням дає можливість отримати порошки з високою однорідністю та досконалою структурою, що створює передумови досягнення високого рівня фізико-механічних і експлуатаційних властивостей ріжучих інструментів, виготовлених з цих порошоків. Сталь Р9М4К8-МП, що отримана з порошку (з застосуванням СТЧО розплаву), має однорідну, високодисперсну структуру (рис. 2).



а



б



в

Рис. 2. Мікροструктура сталі Р9М4К8-МП, отриманої з порошку (з застосуванням СТЧО розплаву)
а – після відпалу, 400^x
б – після загартування, 500^x
в – після загартування та трьохкратного відпуску, 500^x.

Різання прутків на заготовки здійснювали відрізними стрічковими пилками. Зубці пилок оснащені пластинками з твердого сплаву типу ВК8. В зону різання подавалась мастильно-охолоджувальна рідина (емульсол ЄТ-20).

Точіння заготовок проводили відрізними та прохідними пластинками з твердого сплаву ВК8 з застосуванням мастильно-охолоджувальної рідини по наступних режимах:

швидкість різання 10 – 20 м/хв.;

глибина різання 1-2 мм;

подача 01 – 0,4 мм/об..

Торцеве фрезерування заготовок проводили фрезами з твердосплавними пластинками з сплаву ВК8 без застосування мастильно-охолоджувальної рідини по наступних режимах:
швидкість різання 15 – 20 м/хв.; глибина різання 1,5-2,0 мм; подача 20 мм/хв..

Термічну обробку заготовок, проводили по режимах, вказаних в таблиці 1. Були виготовлені дослідні партії фрез та різців.

Таблиця 1

№ п/п	Матеріал інструментів	Температура загартування, °С	Температура відпуску*, °С	Вторинна твердість, HRC	Зерно аустеніту, номер	Карбідна неоднорідність, бал	Красностійкість (58HRC при температурі протягом 4 год.), °С
1	P6M5Ф3-МП	1200	550	66,5	12	1	630
2	P6M5K5-МП	1200	550	67	12	1	630
3	P9M4K8-МП	1210	560	67,5	12	1	635-640

*відпуск трикратний по 1 годині.

В лабораторних умовах були проведені випробування ріжучих пластин з порошкових швидкорізальних сталей P9M4K8-МП, P6M5Ф3-МП і P6M5K5-МП, отриманих з застосуванням спеціальної температурно-часової обробки розплаву перед розпиленням, у порівнянні із пластинами із цих же сталей, отриманих без застосування СТЧО, при механічній обробці різних матеріалів. Проводилося також порівняння із пластинами з швидкорізальних сталей P6M5, й 10P6M5K5, отриманих по традиційній технології. Метою випробувань було отримання даних про ріжучі властивості інструментів, випробуваних в ідентичних умовах. Ці дані дадуть можливість зробити правильний вибір марки порошкової швидкорізальної сталі для конкретних умов експлуатації різального інструменту

Випробування проводили при точінні та фрезеруванні титанового сплаву BT-9. Критерієм стійкості інструментів при фрезеруванні було зношування по задній поверхні $h_3=0,5$ мм, а при точінні – повне затуплення.

Результати випробувань наведені в табл. 2.

Таблиця 2

Матеріал	Стійкість інструментів при точінні, хв.			Стійкість інструментів при фрезеруванні, хв.		
	швидкість різання $v=30$ м/хв.	подача $S=100$ мм/хв.	глибина різання $t=1,0$ мм	швидкість різання $v=15$ м/хв.;	подача $S=100$ мм/хв.	глибина різання $t=0,5$ мм
P6M5Ф3-МП (СТЧО)	42			35		
P6M5K5-МП (СТЧО)	75			54		
P9M4K8-МП (СТЧО)	90			66		
P6M5Ф3-МП, без СТЧО	29			21		
P6M5K5-МП без СТЧО	41			30		
P9M4K8-МП без СТЧО	54			34		
P6M5	22			18		
10P6M5K5	45			26		

Результати випробувань свідчать про те, що порошкові сталі мають істотну перевагу в порівнянні зі сталями традиційного способу виробництва. Це пояснюється в першу чергу

структурними відмінностями цих сталей. Крім цього, оцінка рівня теплопровідності різних марок швидкорізальних сталей показала, що порошкові швидкорізальні сталі, зокрема сталь Р9М4К8-МП, мають кращу теплопровідність, ніж сталі Р6М5 та 10Р6М5К5, що, як відомо, сприяє кращому відводу тепла із зони різання й, отже, підвищенню працездатності й стійкості інструменту.

Аналіз властивостей дозволяє також зробити висновок про те, що застосування СТЧО при отриманні порошків сталей підвищує стійкість інструментів, у порівнянні з матеріалами того ж складу, але отриманих без застосування СТЧО. Це пояснюється тим, що при однакових умовах загартування сталі з СТЧО відрізняються меншим розміром аустенітного зерна. Кількісний аналіз шліфів, показав, що кількість карбідів в 1,2 рази більша в сталях з СТЧО. При однаковому масовому вмісті карбідів вони, таким чином, повинні відрізнитись підвищеною дисперсністю. Це пов'язано з тим, що при застосуванні СТЧО розплаву, утворюється матеріал, у якому формуються карбідні мікрогрупи з більш дисперсною та гомогенною будовою.

При виготовленні інструментів відзначено, що порошкові швидкорізальні сталі мають високу здатність до шліфування при заточці інструментів. Встановлено, що продуктивність шліфування в порошкових швидкорізальних сталей в 2 і більше разів вища в порівнянні зі швидкорізальними сталями традиційного способу виробництва. Особливо ця різниця проявляється в складнолегованих марках сталей зі вмістом ванадію близько 3 % і вище, наприклад, в сталі Р6М5Ф3-МП.

Висока продуктивність шліфування поряд із вищою, приблизно на 11 %, теплопровідністю є важливими технологічними властивостями порошкових швидкорізальних сталей, що використовуються для виготовлення різальних інструментів. Вдале поєднання цих властивостей сприяє тому, що при більших об'ємах шліфування, характерних для виготовлення багатолезових інструментів, таких як фрези, свердла, мітчики й т.п., знижується ймовірність виникнення перегрівів поверхонь, що шліфуються.

Виявлено, що інструменти з порошкових швидкорізальних сталей чутливі до поверхневих дефектів таким, наприклад, як risks від абразивного круга, які при експлуатації інструменту стають концентраторами напруги і джерелами зародження тріщин. У зв'язку із цим, при виготовленні інструментів з порошкових швидкорізальних сталей, шліфування необхідно проводити абразивними кругами з розміром зерна на 1-2 номери менше, ніж рекомендується для швидкорізальних сталей традиційного способу виробництва.

Таким чином, висока здатність до шліфування і підвищена теплопровідність - це фактори, що вигідно відрізняють порошкові швидкорізальні сталі від традиційних швидкорізальних сталей.

Висновки.

Результати досліджень свідчать про те, що порошкові сталі мають більш високу стійкість в порівнянні зі сталями традиційного способу виробництва. Застосування спеціальної температурно-часової обробки розплаву сталі перед розпиленням при отриманні порошків сталі призводить до підвищення стійкості інструментів, у порівнянні з матеріалами того ж складу, але отриманих без застосування СТЧО.

1. Позняк Л. А. Инструментальные стали. – Киев: Наукова думка, 1996. – 487 с.
2. Баум Б.А., Тягунов Г.В., Попель П.С. Повышение технологических свойств металлопродукции путем термовременной обработки расплава // Сталь. – 1987. - № 10. – С.21-23.
3. Ulshin V. I., Poznyak L.A., Ulshin S.V. Phase and structure changes during the sintering of compacts of high-speed steels obtained from powders with various rates of solidification// Powder Metallurgy and Metal Ceramics, Vol. 38 Nos. 11-12. 2004.