

GƏMİQAYIRMA VƏ GƏMİ TƏMİRİ TEXNOLOGİYASI

УДК 621.762.1:621.785.6:669.14.018.58

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РАБОЧИХ ЧАСТЕЙ ВЫРУБНЫХ ШТАМПОВ НА ОСНОВЕ ПОРОШКОВЫХ СТАЛЕЙ

Оруджев Ф.С., Садыгов В.Б., Мамедов Э.Д., Бабаев Л.В.

ПЮЛ «Азербайджанская Государственная Морская Академия»

Аз1000, г. Баку, ул. З. Алиевой, 18

E-mail: fazil.orujov@asco.az , vuqar.mirsadiq@asco.az , elxan.mammadov@asco.az,
lachin.babayev@asco.az

Аннотация. В статье представлены результаты исследований порошковой инструментальной стали X12MCT, полученной методом распыления жидкого металла. Установлено, что частицы порошка имеют округлую форму, гладкую поверхность и мелкодисперсную дендритно-ячеистую структуру. Для компактирования таких порошков наиболее эффективным является горячее изостатическое прессование при температуре 1150°C и давлении 110 МПа.

После прессования и последующей горячей пластической деформации структура стали становится мелкозернистой и однородной, с равномерно распределённой карбидной фазой. Из порошка ПР-X12MCT были изготовлены заготовки матриц для рубных штампов, прошедшие холодное прессование и спекание при 1150–1200°C. Оптимальные режимы термообработки определены: ковка — 1100–1150°C, отжиг — 840–860°C, закалка — 1020–1040°C, отпуск — 220–240°C.

Механические испытания показали: предел прочности при изгибе 2900–3000 МПа, твёрдость HRC 62–66. По износостойкости порошковая сталь превосходит компактную сталь того же состава в 1,5–2 раза, а стойкость штампов увеличена на 75–80 %. Таким образом, высокая дисперсность, равномерное распределение карбидов и легированность твердого раствора обеспечивают порошковой стали X12MCTП повышенные эксплуатационные характеристики и экономическую эффективность при производстве рабочих частей штампов.

Xülasə. Məqalədə işçi hissələrin hazırlanması üçün ovuntu metallurgiyası üsulu ilə əldə edilən X12MCT markalı poladdan istifadə imkanları tədqiq olunmuşdur. Tədqiqatlar ərintinin əridilmiş halda püskürdürülməsi (ikinci variant) üsulu ilə alınmış polad ovuntu üzərində aparılmışdır. Elektron və optik mikroskoplarla aparılan müşahidələr nəticəsində müəyyən olunmuşdur ki, ovuntu hissəcikləri dairəvi formalı, hamar səthli və yüksək dispersliyə malikdir. Belə ovuntuların sıxlaşdırılması üçün ən səmərəli üsulun isti qazostatik presləmə olduğu müəyyən edilmişdir.

1150°C temperaturda və 110 MPa təzyiqdə 4 saatlıq presləmə nəticəsində sıx struktur və homogen xassələr əldə edilmişdir. Sonrakı isti plastik deformasiya zamanı poladın mikrostrukturı daha da xırdalanmış və karbid fazası bərabər paylanmışdır.

Məqalədə həmçinin X12MCT ovuntusundan hazırlanmış matris hissələrinin soyuq presləmə və sinterləmə texnologiyası sınaqdan keçirilmişdir. Mexaniki sınaqlar göstərmişdir ki, bu üsulla alınmış poladın əyilmə möhkəmliyi 2900–3000 MPa, bərkliyi isə HRC 62–66 təşkil edir. Ovuntu poladı kompakt poladdan möhkəmlik baxımından bir qədər zəif olsa da, aşınmaya davamlılığı 1,5–2 dəfə, işləmə zamanı dözümlülüyü isə 75–80% yüksək olmuşdur. Nəticədə

X12MCTII markalı toz poladın qəlib və şamppların uzunömürlülüüyünü əhəmiyyətli dərəcədə artırdığı sübut olunmuşdur.

Abstract. The article presents the results of research on the production and properties of the powder tool steel X12MCT, obtained by atomizing molten metal (the second production method). It was found that the powder particles have a spherical shape, smooth surface, and a fine dendritic–cellular microstructure. Due to the poor pressability of such powders, the most effective consolidation method is hot isostatic pressing (HIP) at a temperature of 1150°C and a pressure of 110 MPa.

After HIP and subsequent hot plastic deformation, the microstructure of the steel becomes fine-grained and homogeneous, with a uniform distribution of carbides. Using the obtained PR-X12MCT powder, matrix inserts for blanking dies of electric motor laminations were manufactured by cold pressing and sintering at 1150–1200°C. The optimal heat treatment regimes were determined as follows: Forging: 1100–1150°C, Annealing: 840–860°C, Quenching: 1020–1040°C, Tempering: 220–240°C

Mechanical tests showed a bending strength of 2900–3000 MPa and a hardness of HRC 62–66. Although the powder steel is slightly inferior to conventional (wrought) steel in terms of strength, it exhibits 1.5–2 times higher wear resistance and 75–80% higher tool life between regrinds.

Thus, the high alloying, fine dispersion, and uniform carbide distribution in X12MCTII powder steel provide enhanced thermal conductivity, wear resistance, and operational durability, making it a cost-effective and advanced material for producing the working parts of stamping and cutting dies.

Ключевые слова: порошковая металлургия, штамповые стали, горячее изостатическое прессование, микроструктура, механические свойства, термическая обработка

Açar sözlər: ovuntu metallurjiyası, şamp poladları, isti izostatik presləmə, mikrostruktur, mexaniki xassələr, termiki emal

Key words: powder metallurgy, die steels, hot isostatic pressing, microstructure, mechanical properties, heat treatment

Введение. В настоящее время порошковая металлургия является одним из перспективных направлений получения инструментальных материалов с высокими эксплуатационными свойствами. Использование порошковых сталей позволяет значительно снизить расход дефицитных легирующих элементов, повысить равномерность структуры и улучшить износостойкость готовых изделий. Для изготовления рабочих частей вырубных штампов из порошковой стали возможно использовать три варианта получения материала:

- получение стали смешиванием отдельных компонентов для установления требуемого химического состава;
- получение порошка путем распыления расплава стали того же состава, из которого изготавливается инструмент;
- получение изделий из стружковых порошков стали необходимой марки.

В данной работе рассматриваются результаты исследований второго варианта – получения порошка методом распыления жидкого металла.

Целью работы является исследование структуры, технологических свойств и эксплуатационных характеристик порошковой штамповой стали марки X12MCT, полученной методом распыления жидкого металла, а также определение оптимальных параметров горячего газостатического прессования и последующей термомеханической обработки.

Основное содержание. Стальной порошок был изготовлен из стали X12MCT методом распыления жидкого металла с фракцией 5–800 мкм. Химический состав порошка приведен в таблице.

Таблица

Химический состав порошка из стали X12MCT

Марка стали	Химический состав, % по массе								
	Fe	C	Cr	Ni	V	Mo	Ti	Si	Mn
ПР-X12MCT	основн.	1,65-1,95	10,9-12,6	н.б.-0,4	0,23-0,57	0,55-1,05	0,35-0,75	0,6-1,1	0,2-0,7

Перед компактированием исследована форма и микроструктура частиц порошка (рис.1) на электронном микроскопе «Тесла» (а) и на оптическом микроскопе «Неофат» (б). Установлено, что частицы имеют округлую форму и гладкую поверхность, микроструктура их высокодисперсная, дендритно-ячеистая.



а x3000



б x1000

Рис. 1. Форма частиц порошков X12MCT

Как известно [1-4] легированные порошки, полученные распылением, в связи с округлой формой и гладкой поверхностью частиц, а также повышенной твердостью и недостаточно высокой дисперсностью плохо прессуются и трудно спекаются. Поэтому для компактирования подобных порошков (рис. 2) более приемлемой технологией может явиться горячее газостатическое прессование в капсуле.

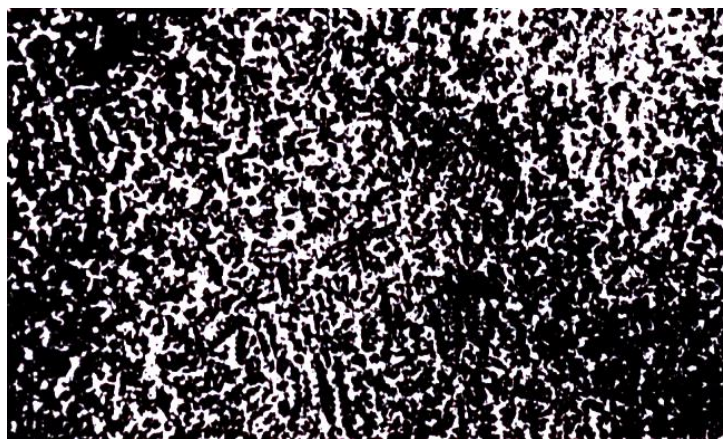


Рис. 2. Микроструктура частицы распыленного порошка: $\times 1000$

Порошки были загружены в капсулы диаметром 76мм, затем в условиях опытного завода газостатическим методом при температуре 1150⁰ и под давлением 110МПа прессовались.

Цикл горячего газостатического прессования длился 4,0 часа. Такая технология обеспечивает более мелкозернистую структуру металла, большую однородность свойств изделий, включает в себя меньшее число операций, дает экономию сырья и материалов является наиболее дешевой и прогрессивной технологией.

Микроструктуры прессовок после горячего газостатического прессования часто отличаются резкой неоднородностью (рис. 3), под микроскопом в них четко видны отдельные порошковые частицы с недостаточно развитой карбидной сеткой, вокруг которых расположены деформированные частицы с неравномерным распределением карбидов. Но после дополнительной горячей пластической деформации микроструктура порошковой стали (рис. 4) характеризуется высокой дисперсностью и однородностью распределения карбидной фазы, несвойственными металлу обычной металлургической технологии.

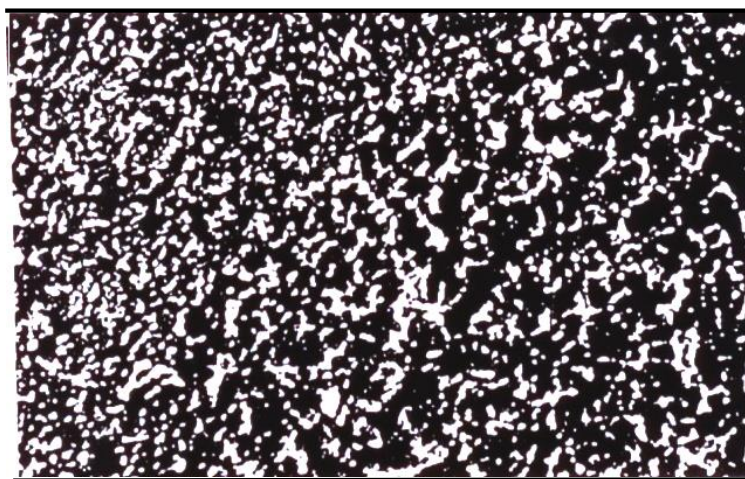


Рис. 3. Микроструктура прессованных порошковых заготовок: $\times 500$



Рис. 4. Микроструктура порошковых заготовок после горячей пластической деформации: X500

Кроме того, в условиях Бакинского филиала ВНИИЭлектромаш из порошка ПР-Х12МСТ были изготовлены комплекты точных заготовок секретов матриц штампов для вырубки листов магнитопроводов электродвигателей серии 4А–80. Заготовки получали методом холодного прессования с последующим спеканием при температуре 1150–1200°C.

Непосредственно после спекания при температуре 1000–1100°C заготовки подвергались пластическому деформированию в направлении вырубного усилия с деформацией 10–20%. Проведение этой операции позволило дополнительно повысить плотность заготовок и их сопротивление малым пластическим деформациям при эксплуатации штампов.

По структуре заготовки, полученные холодным прессованием и спеканием, не отличаются от заготовок, изготовленных методом горячего газостатического прессования, однако по пределу прочности при изгибе и ударной вязкости они уступают последним на 15–20 %.

Исследованием твердости и микроструктуры установлены оптимальные режимы термической обработки порошковой штамповой стали Х12МСТП:

- ковка — 1100–1150°C;
- отжиг — 840–860°C;
- закалка — 1020–1040°C;
- отпуск — 220–240°C.

Также установлено, что при повышении температуры закалки выше 1060°C закаливаемость и прокаливаемость стали уменьшаются. Это объясняется образованием многочисленных закалочных пор вакансионного характера и увеличением количества остаточного аустенита, что приводит к снижению твердости и предела прочности порошковой стали [5–8].

После оптимальной закалки и отпуска структура стали (рис. 5.10, б, в) состоит преимущественно из мелкокристаллического мартенсита с равномерно распределёнными карбидами хрома, ванадия и титана. Твердость составляет HRC 62–66, а предел прочности при изгибе — 2900–3000 МПа.

По механическим свойствам исследуемый материал несколько уступает компактной стали, однако по износостойкости превосходит её в 1,5–2 раза. При этом по усилиям резания при точении и шлифовании в сыром и закалённом состоянии порошковая сталь практически не отличается от компактной стали Х12МСТ (ЭП 952).

Средняя стойкость штампов из порошковой стали Х12МСТП между переточками составляет 200–230 тыс. вырубков, что на 75–80% выше, чем у штампов, изготовленных из компактной стали аналогичного состава.

Заключение. Проведенные исследования показали, что порошковая штамповая сталь Х12МСТП, полученная методом распыления жидкого металла, обладает:

- высокой однородностью структуры и дисперсностью карбидной фазы;
- повышенной теплопроводностью и износостойкостью (в 1,5–2 раза выше, чем у компактной стали);
- увеличенной эксплуатационной стойкостью (на 75–80% выше).

Для обеспечения экономически эффективного варианта порошковых штамповых сталей рекомендуется использовать технологию вторичной обработки – переработку стружковых отходов инструментальных сталей в порошок и последующее их использование для изготовления заготовок.

Данная работа выполнена при финансовой поддержке Фонда Науки Азербайджана – Грант № AEF-MGC-2024-2(50)-16/01/1-M-01

Литература

1. Геллер Ю. А., Моисеев В. Ф., Аранович А. О. Износостойкие штамповые стали с повышенным содержанием ванадия // Материаловедение и термическая обработка металлов. – 1971. – №3. – с. 17–19.
2. Гогаев К. А., Штакун В. А., Улышин В. И. Технология получения режущих инструментов из порошков быстрорежущих сталей, распыленных газом // Порошковые быстрорежущие стали (Структура, свойства, технология производства инструментов). — Киев: Наукова думка, 1990. — с. 97–108.
3. Гогаев К. А., Штакун В. А. Исследование сопротивления деформированию порошковых быстрорежущих сталей при высокоскоростном нагружении // Порошковая металлургия. — 1992. — №8. — с. 70–72.
4. Алиев Э.М., Гасанов Ш.М. Исследование свойств инструментальных сталей, полученных методом порошковой металлургии // Проблемы прочности и пластичности. — 2015. — №1. — с. 92–97.
5. Гогаев К.А., Пашкевич М.С. Влияние параметров горячего изостатического прессования на структуру и свойства порошковых быстрорежущих сталей // Порошковая металлургия и функциональные покрытия. — 2013. — №4. — с. 45–51.
6. Мамедов Ф.Э., Гафаров А.Р. Анализ технологических параметров получения изделий из порошковых сталей методом газового распыления // Вестник Бакинского инженерного университета. — 2018. — №3. — с. 54–60.
7. Гусейнов Э.Ш., Ибрагимов Р.Р. Микроструктура и износостойкость порошковых инструментальных сталей после термообработки // Металлургия и материаловедение. — 2020. — №2. — с. 27–32.
8. Rzayev, N.M., Hajiye, R.F. Study of wear resistance of hot-work tool steels produced by powder metallurgy methods // Azərbaycan Texniki Universitetinin Elmi Əsərləri. — 2021. — №2. — s. 77–84.

*Məqalə qəbul olunub: 29.10.25
Təvsiyə edib: prof. İsmayilov N.Ş.*