

## НОВЫЙ СПОСОБ ПРОИЗВОДСТВА БЕЛОГО ДЕФОРМИРУЕМОГО ЧУГУНА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОГО МАТЕРИАЛА ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ СЕЛЬСКОХОЗЯЙСТВЕННОГО ОБОРУДОВАНИЯ

Скобло Т.С. доктор техн. наук, Кулешова И.А. канд. техн. наук

*(Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства)*

*Белый порошковый чугун, содержащий 4%С, имеет после пластической деформации механических свойств и может быть использован для изготовления деталей сельскохозяйственного оборудования.*

Применение рафинирующих переплавов для производства заготовок белого чугуна под пластическую деформацию является важным. С этой точки зрения электрошлаковый переплав (ЭШП) относится к числу высокоэффективных методов. Металл электрошлакового переплава характеризуется сравнительно высокой химической чистотой и большой однородностью механических свойств.

Кроме того, использование малоотходных технологий, как например изготовление деталей на основе материалов порошковой металлургии (с использованием методов экструзии и горячего изостатического прессования), в результате снижения химической неоднородности, улучшения распределения и повышения дисперсности избыточных фаз позволяет повысить как служебные, так и технологические характеристики металла.

В связи с высокой скоростью кристаллизации порошка наличие вредных примесей не оказывает столь существенного влияния на деформируемость заготовок, как это имеет место в литом металле.

В связи с этим были проведены сопоставительные исследования использования различных технологий в части обеспечения требуемых свойств /1-4/. Было изучено влияние данных технологий на структуру и уровень свойств белого чугуна, а также их изменение под действием пластической деформации. Исследование чугунов, полученных методом порошковой металлургии, показало: в низколегированном чугуне, содержащем 0,1% Сч после закалки в масло при 850°C и последующего отжига I рода при 500°C формируется бейнитная матрица с мелкими глобулярными карбидами, имеющая микротвердость  $H_{0,490} = 350-430$  и ледобурит  $H_{0,490} = 797-947$  (рис. 1, а, б). Чугун данного химического состава, полученный быстрой кристаллизацией после экструзии с ковкой и термической обработки (закалки в масло при 850°C и отжига I рода при 500°C) имеет однородную бейнитную матрицу ( $H_{0,490} = 300-362$ ) с карбидными включениями глобулярной и немного вытянутой формы (~15%), а также графитные включения пластинчатой и хлопьевидной формы (~5%) (рис.1, в, г). Электронно-микроскопическими исследованиями установлено наличие карбидов двух типов со сглаженной и шероховатой поверхностью. Последние характеризуются

сложным строением из-за обезуглероживания, чему соответствует и пониженная относительно литого состояния микротвердость карбидов, равная  $H_{0,490} = 741-893$ .

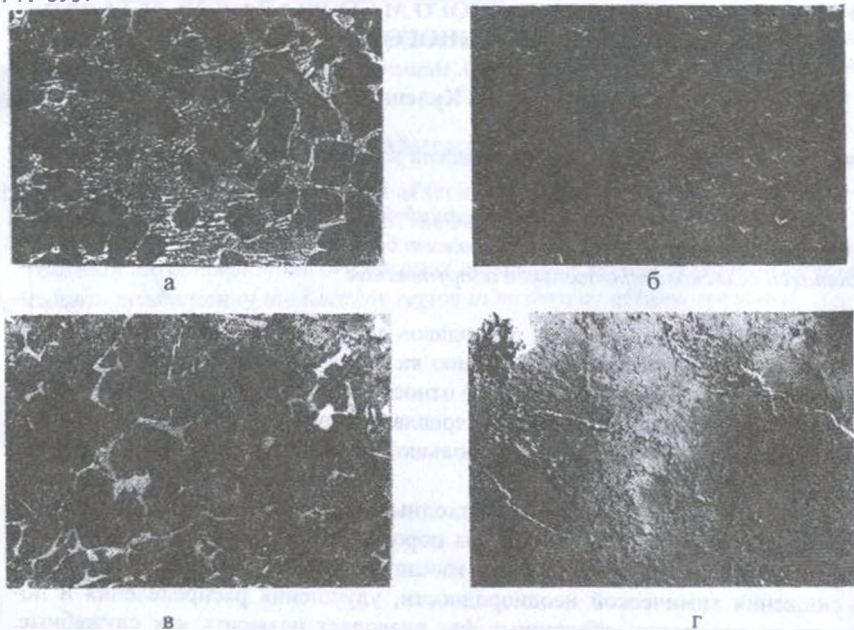


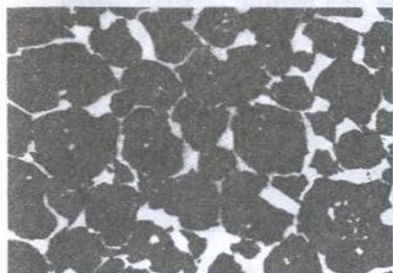
Рис. 1 Микроструктура белого чугуна

а, б – литейный чугун; в, г – чугун, полученный методом порошковой металлургии после экструзии; а, в –  $\times 100$ ; б, г –  $\times 4300$

Повышение содержания хрома в таком чугуне до 4,0% после горячего изостатического прессования (ГИП) приводит к формированию перлитной матрицы ( $H_{0,490} = 387-438$ ) и карбидной фазы в виде ограниченных включений ( $H_{0,490} = 1180-1370$ ) размером  $\sim 40-60$  мкм по границам зерен, величина которых  $\sim 45-55$  мкм (рис. 2, а). Количество карбидной фазы 38-40%. Уровень свойств этого чугуна следующий:  $\sigma_B = 290-314$  МПа,  $\sigma_H = 320-334$  МПа,  $KC = 3,4-4,2$  Дж/см<sup>2</sup>, НВ 433-443.

Как показали опыты, заготовки из данного чугуна обладают удовлетворительной деформируемостью (4-5балл) [5]. При степени укова  $S=2$  и 4 макроповреждаемости не выявлено.

Металлографическими исследованиями установлено, что пластическая деформация приводит к изменению структуры: вместо грубых включений карбидов формируется дисперсная карбидная фаза в виде мелких включений размером  $< 10$  мкм при отсутствии графитизации (рис.2,б). Кроме того, имеются отдельные включения размером 40-70 мкм ( $H_{0,490} = 1270-1370$ ).



а



б

Рис. 2. Микроструктура белого чугуна.

а – чугун, полученный методом порошковой металлургии, после горячего изостатического прессования;

б – чугун, полученный методом порошковой металлургии, после горячего изостатического прессования и последующейковки, степень уокова  $S=4$

Значительно повышаются свойства чугуна после горячего изостатического прессования и последующейковки:  $\sigma_{в-в}=2,7-3,1$  раза (824-922МПа) раза (9,8Дж/см<sup>2</sup>). При этом твердость снижается незначительно (до НВ=420-426). С увеличением степени уокова от 2 до 4 раз свойства такого чугуна увеличиваются на 5-10%.

Чугун с 4% С<sub>ч</sub> после горячего изостатического прессования имеет следующий состав карбидной фазы цементитного типа (%): Fe-86,8; Cr-5,9; Mn-0,9; Mo-0,84.

Пластическая деформация приводит к увеличению содержания хрома (до 6%) и марганца (до 1,1%).

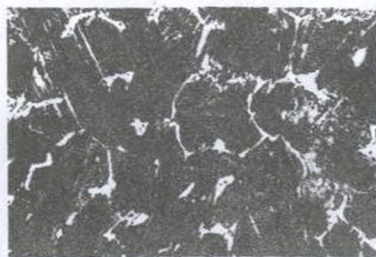
Исследование чугуна после ЭШП показало, что в заготовках по всему сечению имеются поры. Структура чугуна после переплава представляет собой перлит ( $H_{0,490}=343-378$ ) и карбидную фазу (~25%,  $H_{0,490}=1030-1180$ ) в виде сетки по границам зерен, величина которых ~85-100 мкм. Уровень свойств данного чугуна не превышает свойства белого (рис. 3, а), полученного традиционным методом литья, и составляет:  $\sigma_{в}=315-329$ МПа,  $\sigma_{н}=568-696$ МПа, КС-3,2-3,5Дж/см<sup>2</sup>, НВ=409-424.

Деформируемость заготовок при ковке можно оценить 2-3 баллом при степени уокова  $S=2$ , так как в процессе деформации на поверхности и в центральной части слитков появляются трещины, препятствующие проведению последующей пластической деформации. Это, очевидно, связано с образованием раковин в процессе получения заготовок методом ЭШП.

Пластическая деформация приводит к дроблению карбидной сетки ( $H_{0,490}=1030-1105$ ) (рис. 3, б). Повышаются свойства белого чугуна полученного методом ЭШП:  $\sigma_{в}$  - в 1,8 раза (до 579-599 Н/мм<sup>2</sup>),  $\sigma_{н}$  - в 2 раза (до 1235 Н/мм<sup>2</sup>), КС - в 2,5-3,0 раза (до 8,8 Н/мм<sup>2</sup>) при сохранении исходного уровня твердости.



а



б

Рис. 3. Микроструктура белого чугуна электрошлакового переплава.  
а – литой чугун, б – деформированный чугун, степень укова  $S=2$   
а, в –  $\times 100$

При доработке технологии ЭШП чугуна и получении слитка без пор и раковин возможно изготовление качественных деформированных заготовок с большей степенью укова и высоким уровнем свойств.

Анализ карбидной фазы чугуна (табл. 1,2) показал, что после ЭШП он имеет следующий состав (%): Fe-85,7; Cr-3,1; Mn-2,0; Mo-0,7.

Таблица 1. Содержание элементов в карбидной фазе белого чугуна

Условная маркировка	Способ обработки	Содержание элементов, %							
		Fe	Сч	Mn	Mo	Ni	Сс	Ссвоб	Ссвяз
П (порошковый)	Горячее изостатическое прессование	39,5	2,7	0,42	0,38	-	-	0,012	2,66
П2	Горячее изостатическое прессование	32,7	2,3	0,41	0,31	-	-	0,013	2,66
З	ЭШП	24,54	0,9	0,57	0,21	0,02	0,04	0,01	2,47
ЭЗ	ЭШП и ковка	24,0	0,92	0,28	0,19	0,02	0,04	0,12	2,36

Таблица 2. Содержание элементов в карбидной фазе белого чугуна

Условная маркировка	Содержание элементов, %							Количество карбидной фазы, %
	Fe	Сч	Mn	Mo	Ni	Сс	С	
П	86,8	5,9	0,9	0,8	-	-	5,6	45,5
П2	85,4	6,0	1,1	0,8	-	-	6,7	38,3
З	85,5	3,1	0,95	0,7	0,07	0,14	8,5	28,0
ЭЗ	86,3	3,3	1,0	0,7	0,07	0,14	8,5	27,8

Пластическая деформация практически не изменяет состав карбидной фазы.

На основе выполненных исследований установлено, что деформируемость чугуна после ЭПШ оценивается 2-3 баллом, чугуна из порошка 4-5 баллом /5/.

Пластическая деформация приводит к изменению карбидной фазы и повышению уровня свойств данных чугунов. Более высокий уровень свойств достигается в чугуне, полученном методом порошковой металлургии, после ГИП и последующейковки, в котором при степени укова  $S=4$  прочностные свойства ( $\sigma_B=903-922$ МПа,  $\sigma_H=1605-1628$ МПа) достигают уровень свойств белого деформированного низкоуглеродистого чугуна ( $S=3$ ), полученного традиционным способом литья.

Свойства деформированного чугуна после ЭШП значительно ниже:  $\sigma_B=579-599$ МПа,  $\sigma_H=1235$ МПа,  $KC=8,8$ Дж/см<sup>2</sup>.

Отмечается изменение состава карбидной фазы данных чугунов после пластической деформации. Для чугуна после ЭШП характерно увеличение содержания карбидообразующих элементов в карбидной фазе цементитного типа – Сч (с 3,1 до 3,3%), Мп (с 0,95 до 1,0%), в чугуне, полученном методом порошковой металлургии, после ГИП и последующейковки, увеличивается содержание Сч (с 5,9 до 6%) и Мп (с 0,8 до 1,1%), что повышает стабильность карбидной фазы данных чугунов.

Таким образом, установлено, что неудовлетворительная деформируемость заготовок после ЭШП (2-3 балл) и низкий уровень свойств при данной степени укова ( $S=2$ ) в связи с большим размером зерна (85-100Мкм), наличием пор и грубой карбидной сетки не позволяет использовать данную технологию для производства роликовой арматуры.

Белый порошковый чугун, содержащий ~40%Сг, можно рекомендовать для изготовления деталей сельскохозяйственного оборудования.

#### Список использованных источников

1. Жуков А.А., Энштейн Л.З., Сильман Г.И. Микроструктура стали и чугуна и принцип Шарпи // Известия АН СССР. Металлы. – 1971 - №2. С.145-151.
2. А.С. 1546510 СССР, МКИ С22С 37/06; Заявка №43989631/23-02; Заявл. 29.03.88; Опубл. 28.02.90, Б№8.
3. Воробьева Э.Л., Мигичев Б.А., Скобло Т.С. Структура белого чугуна и ее соответствие принципу Шарки // Металловедение и термическая обработка металлов – 1975. - №5. – С.48.
4. Цыпин И.И. Белые износостойкие чугуны. Структура и свойства. – М: Металлургия, 1983. – 176с.
5. Дзугутов М.Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. – М: Металлургия, 1977. – 431с.

## Анотація

**Новий спосіб виробництва білого деформуємого чавуна високоефективного матеріалу для деталей сільськогосподарського устаткування**

*Білий порошковий чавун, який містить 4%С, має після пластичної деформації високий рівень механічних властивостей та може бути використан для виготовлення, деталей сільськогосподарського обладнання.*

## Abstract

**New way of manufacture of white deformable pig-iron of a highly effective material for details of the agricultural equipment**

*White powder iron, wich contain 4%С, has high mechanical propertles after plastic deformation. It can be used for making of pats of agricultural equipment.*