

УДК  
621.74.002:669.1

Д.А. Волков,  
А.П. Мельников,  
А.Д. Волков  
(ОАО «БЕЛНИЛИТ»),  
П.С. Гурченко (БНТУ)

Аннотация

The Summary

## Технологии производства литой дроби из Fe-C-сплавов Technologies of Making Cast Shot from Iron-Carbon Alloys

D.A. Volkov, A.P. Melnikov, A.D. Volkov, P.S. Gurchenko

В работе описана конструкция дроболитейной машины, порядок ее работы, влияние химического состава и термической обработки на качество дроби.

### Ключевые слова

Гранулятор, дроболитейная машина, диаметр фракции, химический состав дроби, режимы нагрева дроби.

Design of a shot casting machine, its operation sequence, effect of chemical composition and heat treatment on shot quality is described.

### Key words

Granulator, shot casting machine, fraction diameter, chemical composition of shot, shot heating regimes.

Разработка технологий и оборудования для производства высококачественной стальной дроби вызвана резким повышением требований к качеству поверхностей обрабатываемых деталей. Применяемая сегодня чугунная дробь не обеспечивает качество поверхности обрабатываемых деталей, имеет малую оборотность и повышенный износ лопаток дробеметных аппаратов.

Поэтому выбрали стальную дробь, которая варьируется по трем параметрам: размеру, форме и твердости. Для повышения отдельных технологических свойств дробь может быть подвергнута термообработке (ТО) по разным режимам. Основной химсостав изготавливаемой дроби, %: 0,8...1,0 C; 0,8...1,0% Si и 0,4...0,6 Mn. При необходимости, возможно изготовление дроби с другим химсоставом.

Разработанная технология имеет преимущества перед известными способами грануляции расплава.

Жидкий металл через лоток попадает на вращающийся гранулятор (рис. 1), дробится на капли, которые отбрасываются к стенкам корпуса в слой воды, образуемый вращением крыльчатки. В это время капли жидкого металла формируются в дробинки. Охлажденная дробь скатывается по конусной части корпуса в элеватор, откуда дробь выгружается.

Поверхность воды, вовлеченной во вращение крыльчатки, приобретает форму параболоида. Установленная в крышке диафрагма обеспечивает постоянный слой воды толщиной  $\geq 225$  мм. Избыточная часть воды переливается через диафрагму и через патрубок уходит в обратную систему на охлаждение.

Таким образом, вода постоянно циркулирует и охлаждается. Пар, образующийся при охлаждении дроби, отсасывается через паровой патрубок и может использоваться для цеховых нужд.

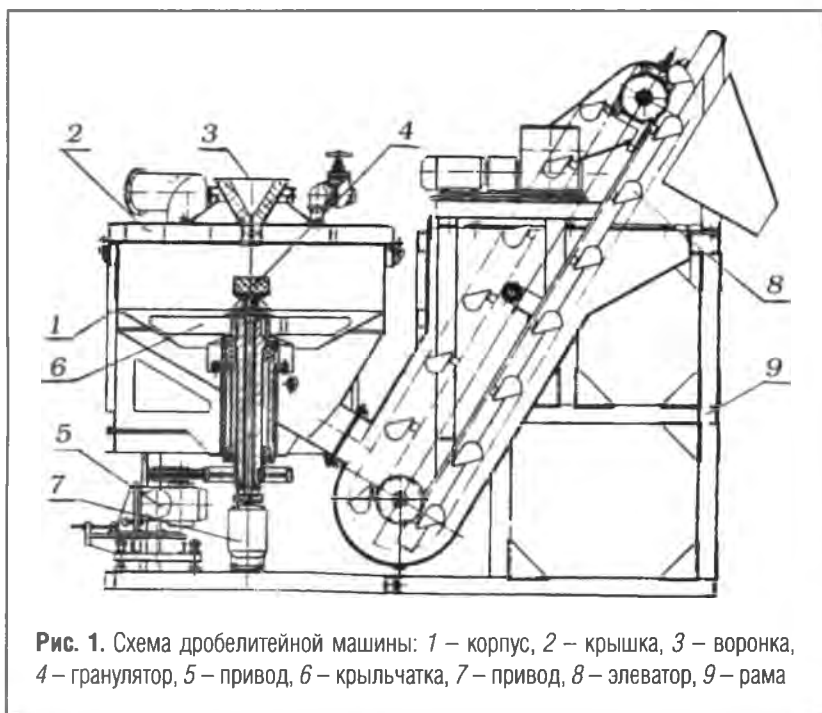


Рис. 1. Схема дробелитейной машины: 1 – корпус, 2 – крышка, 3 – воронка, 4 – гранулятор, 5 – привод, 6 – крыльчатка, 7 – привод, 8 – элеватор, 9 – рама

За период создания технологии были созданы дробелитейные машины моделей 46159, П1347А, 46145 производительностью 0,2; 1 и 3 т/ч, соответственно, которые освоены:

- **мод. 46159** (1 шт.) – на РУП «Белоозерский энергомеханический завод»;
- **мод. П1347А** (3 шт.) – на ОАО «Полтавский турбомеханический завод», ОАО «Росабразив» г. Екатеринбург, РФ, ООО «ЛЦ» г. Канаш, РФ;
- **мод. 46145**, с установкой для сушки дробы и предварительным рассевом дробемассы (2 шт.) – на РУП МАЗ, МоАЗ.

Процесс изготовления дробы на РУП «МАЗ» состоит в следующем (рис. 2). Плавка стали – в дуговых печах ДСН6 и ее транспортировка 6-т ковшом 1 к металлоприемнику 2 дробелитейной машины 3. Разливка стали – с помощью дробелитейной машины 3, основная часть которой – центробежный гранулятор с вертикальной осью вращения.

Струя металла, вытекающая из металлоприемника, через калиброванное отверстие падает на диск

вращающегося гранулятора и под действием центробежной силы разбрасывается в виде гранул в воду. Наклонным элеватором 4 дробемасса транспортируется из ванны дробелитейной машины и через воронку 5 подается в бункер 6 специальной сушильной барабанной печи 7. Рассев высушенной дробы по фракциям – на агрегате отсева 8.

Для изготовления дробы в сталелитейном цехе (СЛЦ-2) РУП «МАЗ» применяют производимую в цехе сталь 40 следующего химсостава, %: 0,37...0,40 С; 0,45...0,90 Мп; 0,20...0,52 Si (ГОСТ 977-88). Для производства дробы используют стали, которые по тем или иным причинам выходят по химсоставу за указанные пределы.

Физико-механические свойства дробы исследовали в центральной заводской лаборатории (ЦЗЛ) РУП «МАЗ». Для этого отбирали 1 кг дробемассы из каждой плавки и рассеивали через набор сит, согласно ГОСТ 11964-81. Дробь, выплавляемая на МАЗе, имела среднее содержание в дробемассе 34,4; 37,4; 15,5; 8,0 и 4,5% фракций диаметром 2,5...3,8; 1,6...2,5; 1,0...1,6; 0,63...1,0 и

0,1...0,63 мм, соответственно.

Установлено, что литая стальная дробь, производимая в СЛЦ-2 МАЗ, состоит на 70% из круглой фракции, овальной – на 25% и каплевидной – на 5%. Сравнение формы дробы производства РУП «МАЗ» и французской фирмы Wheelabrator Allevard (из рекламного проспекта фирмы) позволяет сделать вывод, что нашу дробь отличает более гладкая поверхность и сферическая форма. Ее плотность 7650 кг/м<sup>3</sup>, что значительно превышает нижний порог плотности по ГОСТ 11964-81 (≥ 7200 кг/м<sup>3</sup>).

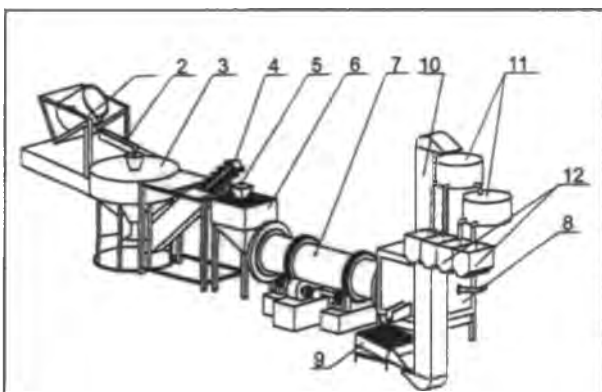
Прочность литой дробы всех типов определяли статистической нагрузкой до разрушения дробины на универсальной разрывной машине ZD 10/90, при сдавливании между твердосплавными пластинами, в специально разработанном приспособлении. Испытания проводили для номеров дробы 0,3...2,2 на 10 дробинах Ø 2 мм.

Образец для определения формы, усадочной рыхлоты, раковин, трещин, микроструктуры и твердости дробы изготавливали заливкой. Для этого из пробы, прошедшей ситовый анализ, отбирали по 20 дробин номеров дробы 0,1...1,8 и по 10 дробин номеров 2,2 и выше, а также по 10 дробин Ø 3,40 мм номеров 2,8 и выше, засыпали их в медную трубку и заливали сплавом Вуда с температурой плавления 68°C.

Прочность нашей литой дробы при сжатии до разрушения для фракции 2 мм составляет 4500...6250 Н, дробы фирмы Wheelabrator Allevard (испытанной по этой же методике для Ø 2 мм) 3000...4500 Н.

Металлографические исследования выполнены на металлографическом комплексе МКИ-2М-1, оснащенном системой видеонаблюдения, с выводом изображения на ПК для его дальнейшей обработки и распечатки. Твердость измеряли на приборе ПМТ-3.

Микроанализом также установ-



**Рис. 2.** Схема комплекса оборудования для литья дробы мод. 46145: 1 – ковш, 2 – желоб металлоприемника, 3 – дробелитейная машина, 4 – наклонный элеватор, 5 – приемная воронка, 6 – бункер печи, 7 – барабанная печь, 8 – блок горелочной печи, 9 – агрегат рассева дробы, 10 – элеватор, 11 – вибросита, 12 – тара для сбора дробы по фракциям

лено, что в литом состоянии в структуре дробы наблюдаются трещины и поры, которые образуются в процессе кристаллизации жидких капель стали при их попадании в поток воды и неизбежны для всех способов получения литой дробы. Нана дробь из-за высокой плотности имела небольшое количество пор и рыхлот.

Выполненные в институте исследования износостойкости стальной литой дробы, не подверженной ТО, показали, что ее износостойкость зависит от химсостава. При увеличении содержания С до 0,6% и выше стойкость дробы повышается, что может быть объяснено ростом в структуре остаточного аустенита, благодаря которому твердость и хрупкость снижаются. Аналогично влияет и содержание Si и Mn. Высокая стойкость дробы (800 циклов) установлена при содержании Si ≤ 0,1% и ≤ 0,1...0,2% Mn. Содержание 0,05...0,15% Cr, при низком содержании С, Si и Mn, обеспечивает наибольшую стойкость – до 900 циклов.

Повышенное содержание Р в дробы снижает ее стойкость до 200 циклов, а увеличение концентрации Ni > 0,5% значительно улучшает эксплуатационные свойства дробы, сглаживая отрицательное влияние повышенного содержания Cr.

Для улучшения эксплуатационных свойств в ЦЗЛ УГМет РУП «МАЗ» разработаны режимы и оборудование для ТО дробы индукционным нагревом (**рис. 3**). Установка представляет собой стальную вращающуюся трубу Ø 200 мм и длиной 2 м, помещенную в индуктор высокочастотной установки с определенным уклоном. Нагреватель запитан от преобразователя частоты ВПЧ 100/8,0. Отнимаемая при нагреве мощность 50 кВт, при частоте вращения трубы 17 об./мин, обеспечивает производительность установки 540...600 кг/ч. В ходе опытных



**Рис. 3.** Установка для ТО дробы индукционным нагревом

работ с разной температурой и временем ТО была установлена зависимость твердости и структуры обрабатываемой дробы от температуры и длительности нагрева.

Микроанализ показал, что грубая структура крупноглычатого мартенсита, формируемая при закалке в воду из жидкого состояния, претерпевает при отпуске полный или частичный распад, в зависимости от температуры. Уже в первые 5...7 мин индукционного нагрева до 280°C происходит частичный распад мартенсита, из него выделяются мелкодисперсные карбиды, тетрагональность мартенсита уменьшается, что приводит к снижению хрупкости дробы. Структура представляет собой отпущенный мартенсит. Твердость дробы, при этом, остается высокой – 600 HV и более.

При нагреве до 320...360°C структура имеет вид троостомартенсита, с точечными включениями карбидов и твердостью 540...575 HV. При нагреве до 420...450°C в процессе дальнейшего распада мартенсита формируется дисперсная троостинная структура с твердостью ≤ 400 HV. Твердость дробы, как и структура, также интенсивно изменяются в первые минуты нагрева, затем падение твердости замедляется. Быстрое изменение структуры и твердости в первые минуты – особенность процессов ТО при индукционном нагреве в созданной установке, что обусловлено быстрым прогреванием всей массы дробы, под одновременным воздействием радиационного и контактного теплообмена с нагретой трубой, а также электромагнитного поля высокой частоты и быстрого непрерывного перемешивания дробы в процессе нагрева.

Дробь производства РУП «МАЗ», термообработанная при 320...360°C в течение 5...7 мин, по своим параметрам (твердость 540...575 HV, структура – троостомартенсит и точечные карбиды) близка к дробы фирмы Wheelabrator Allevard с 0,9% С (твердость 540...575 HV, структура – троостомартенсит + незначительное количество точечных карбидов).

Индукционный нагрев при ТО дробы производится свободным доступом в зону нагрева атмосферного воздуха, который при температуре ТО обладает значительными окислительными свойствами. Благодаря малому времени нагрева воздействие окислительной среды приводит к образованию оксидной пленки, которая в дальнейшем предохраняет поверхность дробы от коррозии. ТО-дробь



**Рис. 4.** Дробелитейная машина с модернизированной системой управления

мод. 46159 производительностью 200 кг/ч.

Дробелитейные машины мод. 46159 освоены на ОАО «Лидский литейно-механический завод» и ОАО «Белозерский энерго-механический завод». В случае необходимости перехода со стальной дробы на чугунную и обратно, установленные ранее машины требовали трудоёмких операций смены скорости вращения гранулятора. В связи с этим, в настоящее время на ОАО «БЕЛНИИЛИТ» были модернизированы системы управления дробелитейными машинами, что позволило изменять скорость вращения гранулятора от 1000 до 2000 об./мин в течение нескольких секунд. Такая машина поставлена на ОАО «Севмаш», г. Северодвинск в 2011 г. (рис. 4).

Выпускаемая на оборудовании института литая стальная дробь по своим характеристикам соответствует лучшим мировым аналогам известных фирм (Wheelabrator Allevard Specifications, Франция, Vulkan и Metalltechnik, Германия и др.). Кроме того, оборудование имеет ряд преимуществ, так как технология грануляции центробежным способом осуществляется на малогабаритном оборудовании, которое, в сравнении с другими технологиями, занимает значительно меньшие производственные площади, а также имеет возможность гибкой переналадки для литья разных видов дробы, как по гранулометрическому, так и по химическому составу.

Основные физико-механические свойства дробы приведены ниже.

Гранулометрический состав, мм.....	0,6...6,0
Фактор формы.....	0,85...1,0
Плотность, г/см <sup>3</sup> .....	6,5...7,5
Твердость, HRC.....	26...60
Стойкость, циклов.....	350...420

имеет приятный сине-серый цвет и не нуждается в дополнительных защитных покрытиях.

ТО-дробь испытывали в цехе серого чугуна и СПЦ-1 РУП «МАЗ» при очистке отливок деталей автомобиля в дробеметной камере ДК-8. По предварительным результатам, стойкость ТО-дробы (на твердость 450...540 HV), по сравнению с литой, увеличилась в 3–5 раз. Стальная литая дробь, производимая на РУП «МАЗ» с использованием дробелитейного комплекса, отличается высоким выходом дробы (70%) правильной сферической формы с гладкой поверхностью.

Все разработанные малогабаритные машины имеют уменьшенный в 2–2,5 раза диаметр рабочего бака, поскольку эмпирически было установлено, что при центробежном способе гранулирования переход капли из жидкого состояния в твердое происходит уже в 0,5...0,7 м от оси вращения гранулятора. Это позволило создать малогабаритную дробелитейную машину нового поколения

**Сведения об авторах**

**Волков Десан Алексеевич** – заведующий отделом ОАО «БЕЛНИИЛИТ»  
тел. 340-02-22; e-mail: cast040@tut.by.

**Мельников Алексей Петрович** – кандидат технических наук, директор ОАО «БЕЛНИИЛИТ»  
тел. 340-11-22; e-mail: niilit@mail.belpak.by.

**Волков Алексей Десанович** – заведующий лабораторией ОАО «БЕЛНИИЛИТ»  
тел. 341-89-44; e-mail: cast040@tut.by.

**Гурченко Павел Семёнович** – доктор технических наук, профессор кафедры «Металловедение» Белорусского Национального Технического Университета  
тел. мобильный 8-044-779-00-71; e-mail: gurchenkoPS@yandex.ru