

Литейное материаловедение, специальные способы литья

New technologies of production of cast grit of iron-carbon alloys are given.

Д. А. ВОЛКОВ, А. П. МЕЛЬНИКОВ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ», П. С. ГУРЧЕНКО, РУП «МАЗ»,
А. Д. ВОЛКОВ, ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

УДК 621.74

НОВЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТОЙ ДРОБИ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ

Необходимость разработки ОАО «БЕЛНИИЛИТ» технологий и оборудования для производства высококачественной стальной дробы была вызвана резким повышением требований в 90-х годах к качеству покрытий поверхностей узлов и деталей, повышающих эксплуатационные свойства и товарный вид.

Ранее применяемая чугунная дробь и другие абразивные материалы не только не давали необходимое качество поверхности, но и технологически имели малую оборотность и повышенный износ лопаток и сопел.

Зачем нужна подготовка поверхности?

Нанесение любого покрытия (краска, резина, металлизация, рилсан и др.) на металлическую основу требует предварительной подготовки поверхности, чтобы увеличить стойкость и долговечность защитного слоя (особенно против коррозии). Эта подготовка зависит от особенности металлической поверхности (углеродистая и нержавеющая стали, легкие сплавы и др.); способа применения дробы (дробеструйная или дробеметная обработка); типа используемого абразива (литая, колотая дробь, минеральные абразивы и др.).

Что такое чистота поверхности?

Чистота определяется исходным состоянием поверхности и конечной степенью остаточного загрязнения после очистки. При очистке удаляют элементы, загрязняющие поверхность (окисление, окалина, следы от сварки, остатки старого покрытия и др.).

По международным нормам ISO 8501-1 исходное состояние классифицируется следующими обозначениями:

А – ржавчина практически отсутствует. Слой окислы прилегает к металлу.

В – проявляются пятна ржавчины. Слой окислы начинает отделяться.

С – окалина начинает исчезать под воздействием ржавчины. Появляются углубления.

Д – сплошная ржавчина. Многочисленные углубления, видимые невооруженным взглядом.

Выбор стальной дробы варьируется по трем параметрам.

Выбор размера: 1) гранулы дробы должны иметь такой размер и массу, чтобы обладать достаточной энергией для удаления всех загрязнений очищаемой поверхности или ее упрочнения; 2) в рамках первого условия дробь должна быть максимально мелкой, потому что чем больше частиц на 1 кг продукта, тем больше ударов в минуту.

Выбор формы и твердости дробы зависит от выполняемой работы (очистка литья, снятие окислы, подготовка поверхности, наклеп и др.); технологических и конструктивных особенностей обрабатываемых металлических поверхностей или конструкций; вида и технического состояния используемого оборудования.

На оборудовании, разработанном ОАО «БЕЛНИИЛИТ», выпускается как литая, так и колотая дробь (дробь из литой стали, получаемая с помощью дробления). По своим характеристикам она соответствует лучшим мировым аналогам таких известных фирм, как WHEELABRATOR ALLEVARD SPECIFICATIONS (Франция), VULKAN и METALTECHNIK (Германия) и др. Ее производительность на 40–90% выше, чем чугунной, а срок службы лопаток может увеличиться со 100 до 1500 ч. Что касается расхода стальной дробы, то ее 20 т могут заменить порядка 100 т чугунной дробы. Дробь, изготавливаемая на машинах ОАО «БЕЛНИИЛИТ», может также быть термически обработана на различных режимах с повышением отдельных технологических свойств. Основной химический состав изготавливаемой дробы: 0,8–1,0% С; 0,8–1,0% Si

и 0,4–0,6% Mn. При необходимости возможно изготовление дробы с другим химическим составом.

Технология, разработанная в институте, имеет преимущества перед известными способами грануляции струей расплавленного металла: 1) струей воды; 2) вращающимся барабаном; 3) воздушным соплом.

По первому и второму способам грануляции выход годной дробемассы достигает не более 50–60%, в то время как центробежным способом литья – 90%.

По форме наивысший показатель (0,9) принадлежит технологии центробежного гранулирования, у остальных технологий этот показатель ниже.

Цикловая стойкость дробы в основном зависит от выбранного химического состава сплава, применяемой для плавки шихты и последующей термической обработки.

Дробь, полученная с помощью центробежного гранулятора, имеет преимущества по исходному состоянию. Она имеет меньшие литейные напряжения и менее склонна к образованию поверхностных трещин, поскольку в отличие от первых трех технологий капля расплавленного металла сначала попадает на разогретый керамический гранулятор, затем с него проделывает определенный путь до образования наружной корочки в воздухе и только потом попадает в охлаждающую жидкость.

Технология грануляции центробежным гранулятором осуществляется на малогабаритном оборудовании, что в сравнении с другими технологиями занимает значительно меньшие производственные площади.

Краткое описание технологии

Жидкий металл через лоток попадает на вращающийся гранулятор, дробится на капли, которые отбрасываются к стенкам корпуса в слой воды, образуемый вращением крыльчатки. В это время происходит формирование капель жидкого металла в дробинки. Охлажденная дробь скатывается по конусной части корпуса в элеватор, откуда происходит выгрузка дробы. Поверхность воды, вовлеченной во вращение крыльчатки, приобретает форму параболоида. Установленная в крышке диафрагма обеспечивает постоянный слой воды толщиной не менее 225 мм. Избыточная часть воды переливается через диафрагму и через патрубок уходит в оборотную систему на охлаждение. Таким образом, вода постоянно циркулирует и охлаждается. Пар, образующийся при охлаждении дробы, принудительно отсасывается через паровой патрубок и может использоваться для цеховых нужд (рис. 1).

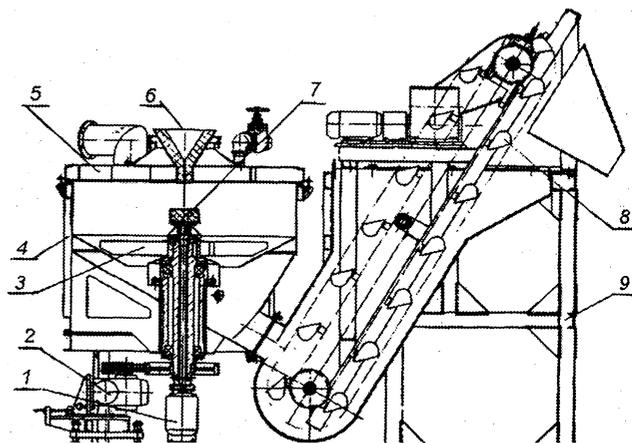


Рис. 1. Схема дробелитейной машины: 1, 2 – привод; 3 – крыльчатка; 4 – корпус; 5 – крышка; 6 – воронка; 7 – гранулятор; 8 – элеватор; 9 – рама

В связи с тем что на предприятиях машиностроительного профиля разный годовой выпуск отливок, узлов, подвергаемых термической обработке и изделий, изготавливаемых при помощи сварки, ОАО «БЕЛНИИЛИТ» была разработана гамма машин разной производительности (дробелитейные машины мод. 46159, П1347А, 46145 производительностью 0,2 т/ч, 1, 5 т/ч соответственно).

За период создания дробелитейных машин были внедрены 1 шт. машины мод. 46159 (РУП «Белоозерский энергомеханический завод»); 3 шт. машины мод. П1347А (ОАО «Полтавский турбомеханический завод», ОАО «Росабразив», ООО «ЛЦ»); 2 шт. машины мод. 46145 с установкой для сушки дробы и предварительным рассевом дробемассы (РУП «МАЗ», МоАЗ).

Процесс изготовления дробы на РУП «МАЗ» состоит в следующем (рис. 2). Плавка стали в дуговых печах ДСН-6 и ее транспортировка 6-тонным ковшом 1 от плавильных печей к металлоприемнику 2 дробелитейной машины 3. Разливка стали

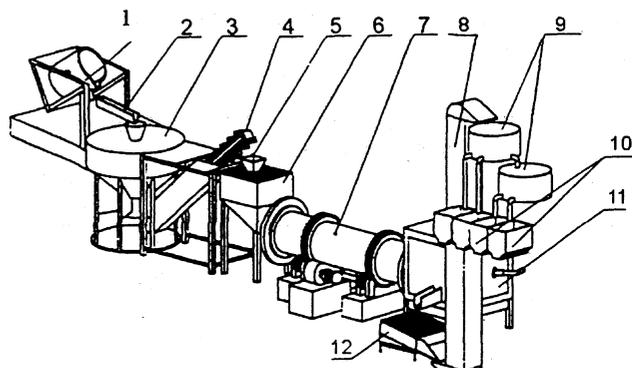


Рис. 2. Схема комплекса оборудования для литья дробы мод. 46145: 1 – ковш; 2 – желоб металлоприемника; 3 – дробелитейная машина; 4 – наклонный элеватор; 5 – приемная воронка; 6 – бункер печи; 7 – барабанная печь; 8 – элеватор; 9 – вибростата; 10 – тара для сбора дробы по фракциям; 11 – блок горелочной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

при помощи дробелитейной машины 3, основной частью которой является 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 производится на агрегате отсева 8.

Для изготовления дробы в СЛЦ-2 РУП «МАЗ» применяется производимая в цехе сталь 40 со следующим содержанием химических элементов: 0,37 – 0,40% С, 0,45 – 0,90% Мн, 0,20 – 0,52% Si (ГОСТ 977-88). Используются для производства дробы и плавки стали, которые по тем или иным причинам по химическому составу выходят за указанные пределы.

Исследования физико-механических свойств дробы проводили в Центральной заводской лаборатории РУП «МАЗ». Для этого отбирали 1 кг дробемассы из каждой плавки и отсеивали через набор сит согласно ГОСТ 11964-81.

Изучение фракционного состава показало, что литая стальная дробь, производимая в СЛЦ-2 РУП «МАЗ», по форме состоит из круглой фракции на 70%, овальной – на 25 и каплевидной – на 5%. Сравнение формы дробы производства МАЗ и французской фирмы «Wheelabrator Allevard», взятой из рекламного проспекта, позволяет сделать вывод, что дробь производства МАЗ имеет более гладкую поверхность и сферическую форму. Фракционный состав стальной литой дробы МАЗ приведен в таблице. Плотность выплаваемой на МАЗ стальной литой дробы составляет 7650 кг/м³, что значительно превышает нижний порог плотности, оговариваемый ГОСТ 11964-81 (7200 кг/м³ не менее).

Фракционный состав стальной литой дробы, выплаваемой на РУП «МАЗ»

Диаметр фракции, мм	Среднее содержание в дробемассе, %
2,5–3,8	34,4
1,6–2,5	37,4
1,0–1,6	15,5
0,63–1,0	8,0
0,1–0,63	4,5

Прочность всех типов литой дробы 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 диаметром 2 мм. Образец для определения формы, усадочной рыхлоты, раковин, трещин, микроструктуры и твердости дробы изготавливали методом заливки. Для этого из пробы, прошедшей ситовый анализ, отбирали по 20 дробин номеров дробы 0,1–1,8 и по 10 дробин номеров дробы 2,2 и выше, а также по 10 дробин диаметром 3,40 мм номеров дробы 2,8 и выше, засыпали их в медную трубку и заливали сплавом Вуда с температурой плавления 68 °С. Прочность литой дробы производства МАЗ при сжатии до разрушения для фракции 2 мм составляет 4500–6250 П, прочность дробы фирмы «Wheelabrator Allevard», испытанной по этой же методике для диаметра 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 установлено также, что в литом состоянии в структуре дробы наблюдаются такие дефекты, как трещины и поры. Выявленные дефекты образуются в процессе кристаллизации жидких капель стали при попадании их в поток воды и неизбежны для всех способов получения литой дробы. Высокая плотность дробы, выплаваемой на МАЗ, свидетельствует о небольшом количестве пор и рыхлот.

Исследования износостойкости стальной литой дробы, не подверженной термической обработке, выполненные ОАО «БЕЛНИИЛИТ», показали, что износостойкость зависит от ее химического состава. При увеличении содержания углерода до 0,6% и выше стойкость дробы повышается, что может быть объяснено ростом в структуре остаточного аустенита, благодаря которому твердость и хрупкость снижаются. Аналогичное влияние оказывает содержание кремния и марганца. Высокая стойкость дробы (800 циклов) установлена при содержании меньше 0,1% кремния и 0,1–0,2% марганца. Содержание хрома 0,05–0,15% при низком содержании углерода, кремния и марганца обеспечивает наибольшую стойкость до 900 циклов.

Повышенное содержание фосфора в дробы снижает ее стойкость до 200 циклов, а увеличение концентрации никеля выше 0,5% значительно улучшает эксплуатационные свойства дробы, сглаживая отрицательное влияние повышенного содержания хрома.

Для улучшения эксплуатационных свойств в ЦЗЛ УГМет МАЗ разработаны режимы и оборудо-

дование для термообработки дробы при индукционном нагреве.

Установка представляет собой стальную вращающуюся трубу диаметром 200 мм и длиной 2 м, помещенную в индуктор высокочастотной установки с определенным уклоном. Индукционный 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 проведения опытных работ с различными температурой и временем термической обработки была установлена зависимость твердости и структуры обрабатываемой дробы от температуры и длительности нагрева.

Микроанализ показал, что грубая структура крупноугольчатого 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 минут индукционного нагрева до температур 280 °С происходит частичный распад мартенсита, из него выделяются мелкодисперсные карбиды, тетрагональность мартенсита уменьшается и это приводит к снижению хрупкости дробы. Структура представляет собой мартенсит отпущенный. Твердость дробы при этом остается высокой – 600 HV и более. При нагреве до температур 320–360 °С структура имеет вид троостомартенсита с точечными включениями карбидов и твердостью 540–575 HV. При нагреве до 420–450 °С в процессе дальнейшего распада мартенсита формируется дисперсная трооститная структура с твердостью менее 400 HV. Твердость дробы, как и структура, интенсивно изменяется также в первые минуты нагрева, а затем падение твердости замедляется. Быстрое изменение структуры и твердости в первые минуты является особенностью протекания процессов термообработки при индукционном нагреве, что обусловлено быстрым прогреванием всей массы дробы под одновременным воздействием радиационного и контактного теплообмена с нагретой трубой, воздействием электромагнитного поля высокой частоты и быстрого непрерывного перемешивания дробы в процессе нагрева. Дробь производства МАЗ, термообработанная при индукционном нагреве при температуре 320–360 °С в течение 5–7 мин, по своим параметрам (твердость – 540–575 HV, структура – троостомартенсит и точечные карбиды) близка к дробы фирмы «Wheelabrator Allevard» с содержанием углерода 0,90% (твердость – 540–575 HV, структура – троостомартенсит + незначительное количество точечных карбидов).

Индукционный нагрев при термообработке дробы производится свободным доступом в зону нагрева окружающего атмосферного воздуха, который при температуре термической обработки обладает значительными окислительными свойствами. Благодаря малому времени нагрева воздействие окислительной среды приводит к образованию оксидной пленки, которая в дальнейшем предохраняет поверхность дробы от коррозии. Термообработанная дробь имеет приятный синеватый цвет и в дополнительных защитных покрытиях не нуждается.

Испытание термообработанной дробы производили в цехе серого чугуна и СЛЦ-1 РУП «МАЗ» при очистке отливок деталей автомобиля в очистной дробеметной камере ДК-8. По предварительным результатам, стойкость термообработанной на твердость 450–540 HV дробы по сравнению с литой увеличилась в 3–5 раз.

Стальная литая дробь, производимая на МАЗ с использованием дробелитейного комплекса, отличается выходом дробы (70%) правильной сферической формы с гладкой поверхностью.

Все разработанные малогабаритные машины имеют уменьшенный диаметр рабочего бака почти в 2,0–2,5 раза. Это связано с тем, что при центробежном способе гранулирования переход капли из жидкого состояния в твердое происходит уже на расстоянии 0,5–0,7 м от оси вращения гранулятора, что позволило создать малогабаритную дробелитейную машину нового поколения мод. 46159 производительностью 200 кг/ч (рис. 3).

Дробелитейные машины мод.46159 внедрены на ОАО «Лидский литейно-механический завод» и ОАО «Белозерский энергомеханический завод». В связи с малогабаритностью и простотой кон-



Рис.3. Машина для литья дробы мод. 46159

струкции машины мод.46159 были изготовлены ОАО «БЕЛНИИЛИТ» на заводах-заказчиках.

В настоящее время ОАО «БЕЛНИИЛИТ» разработана новая дробелитейная машина производи-

тельностью 3 т/ч, тем самым, завершена разработка гаммы машин производительностью 0,2 т/ч, 1, 3, 5 т/ч, что может обеспечить предприятия дробью в зависимости от вида производства.