



The technology of production of iron-carbon alloys grit of JSC «BELNIILIT» are studied.

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

ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА ЛИТОЙ ДРОБИ ИЗ ЖЕЛЕЗОУГЛЕРОДИСТЫХ СПЛАВОВ ОАО «БЕЛНИИЛИТ»

Разработка технологий и оборудования для производства высококачественной стальной дробы связана с резким повышением требований, предъявляемых к качеству поверхностей узлов и деталей. Применяемая чугунная дробь не обеспечивает качество поверхности обрабатываемых деталей, имеет малую оборотность и повышенный износ лопаток дробеметных аппаратов. Выбор стальной дробы варьируется по трем параметрам: размер, форма и твердость дробы. Дробь может 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. Разработанная технология имеет преимущества перед известными способами грануляции расплавленного металла.

Краткое описание технологии

Жидкий металл через лоток попадает на вращающийся гранулятор (рис. 1), дробится на капли,

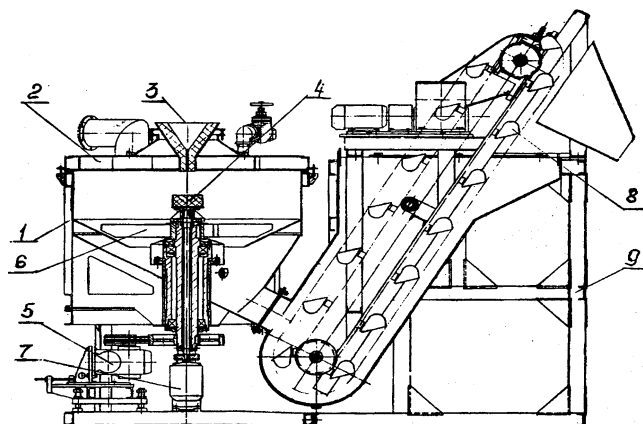


Рис. 1. Схема дробелитейной машины: 1 – корпус; 2 – крышка; 3 – воронка; 4 – гранулятор; 5, 7 – привод; 6 – крыльчатка; 8 – элеватор; 9 – рама

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 ее выгрузка. 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.

За период разработки технологии были созданы дробелитейные машины производительностью 0,2, 1, 5 т/ч, которые внедрены на ОАО «Белоозерский энергомеханический завод» (производительность 0,2 т/ч), ОАО «Полтавский турбомеханический завод», ОАО «Росабразив» (г. Екатеринбург), ООО «ЛЦ» (г. Канаш) (производительность 1 т/ч), РУП «МАЗ», РУП «МоАЗ» (производительность 5 т/ч) с установкой для сушки дробы и предварительным рассевом дробемассы.

Процесс изготовления дробы на РУП «МАЗ» состоит из следующих операций (рис. 2):

1. Плавка стали в дуговых печах ДСН-6 и ее транспортировка 6-тонным ковшом 1 от плавильных печей к металлоприемнику 2 дробелитейной машины 3.

2. Разливка стали при помощи дробелитейной машины 3, основной частью которой является центробежный гранулятор с вертикальной осью вращения. Струя металла, вытекающая из метал-

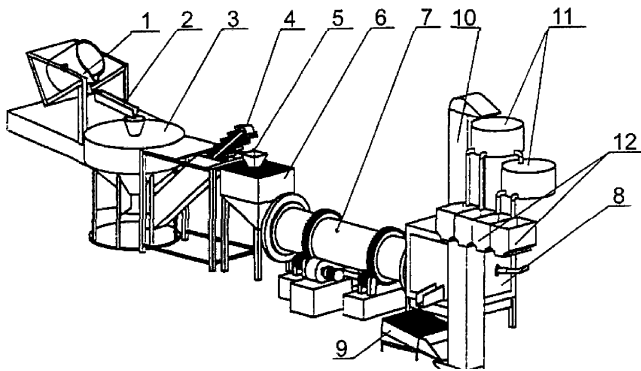


Рис. 2. Схема комплекса оборудования для литья дробы мод. 46145: 1 – ковш; 2 – желоб металлоприемника; 3 – дробелитейная машина; 4 – наклонный элеватор; 5 – приемная воронка; 6 – бункер печи; 7 – барабанная печь; 8 – блок горелочной печи; 9 – агрегат рассева дробы; 10 – элеватор; 11 – вибросита; 12 –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

лоприемника, 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 рассева 8.

Для изготовления дробы в СЛЦ-2 МАЗ применяется производимая в цехе сталь 40 со следующим содержанием химических элементов: 0,37–0,40% С, 0,45–0,90% Мn, 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 (табл. 1) 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 фирмы, позволяет сделать вывод, что дробь производства МАЗ отличается более гладкой поверхностью и сферической формой. Фракционный состав стальной литой дробы МАЗ приведен в табл. 1. Плотность выплавляемой на МАЗ стальной литой дробы составляет 7650 кг/м³, что значительно превышает нижний порог плотности, оговариваемый ГОСТ 11964-81 (7200 кг/м³ не менее).

Таблица 1. Фракционный состав стальной литой дробы, выплавляемой 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 Н, 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. В результате микроанализа установлено также, что в литом состоянии в структуре дробы наблюдаются дефекты: 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, выплавляемой на МАЗ, свидетельствует о небольшом количестве пор и рыхлот.

Исследования износостойкости стальной литой дробы, не подверженной термической обработке, 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 уста-

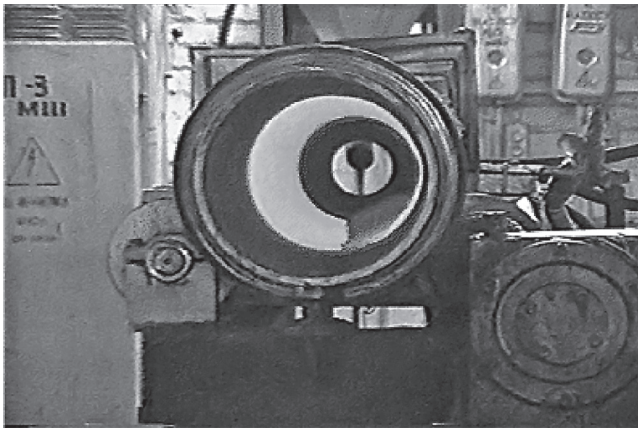


Рис. 3. Установка для термической обработки дробы методом индукционного нагрева

новлена 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 дробе 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 оборудование для термообработки дробы при индукционном нагреве (рис. 3).

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 крупногольчатого 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 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 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 дробе 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 сине-серый цвет и в дополнительных защитных покрытиях не нуждается.

Испытание термообработанной дробы проводили в цехе серого чугуна и СЛЦ-1 Минского автозавода 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 Минском автозаводе с использованием дробелитейного комплекса, отличается выходом дробы (70%) правильной сферической формы с гладкой поверхностью.

Вновь разработанные малогабаритные машины имеют уменьшенный диаметр рабочего бака

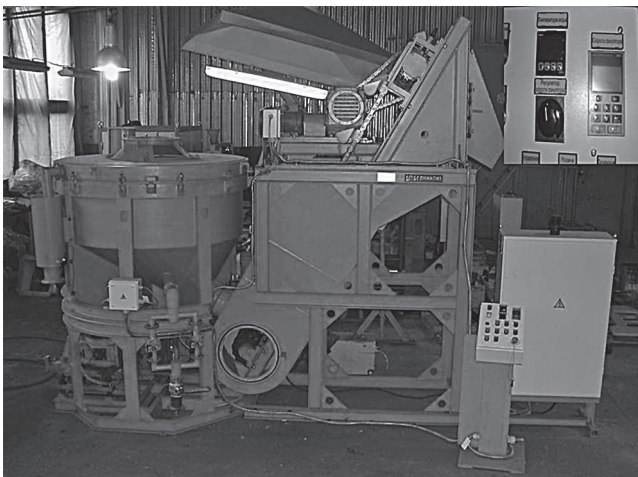


Рис. 4. Дробелитейная машина с модернизированной системой управления

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 производительностью 200 кг/ч.

Дробелитейные машины производительностью 200 кг/ч внедрены на ОАО «Лидский литейно-механический завод» и ОАО «Белоозерский энергомеханический завод». В случае необходимости перехода изготовления стальной дробы на чугунную и обратно ранее внедренные машины требовали проведения трудоемких 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 внедрена на ОАО «Севмаш» (г. Северодвинск) в 2011 г. и поставлена на фирму Kioshi Compresion S. A. (Аргентина) (рис. 4).

Особенность внедрения дробелитейной машины на фирме Kioshi Compresion S. A. (Аргентина) состояла в том, что она должна была работать в технологическом комплексе производительностью 1 т/ч (плавка, сушка, термическая обработка, предварительный и окончательный рассев), при этом может использоваться только оборотная вода для охлаждения дробы; изготавливаемая дробь должна была использоваться для очистки изделий от окалины и ржавчины в собственном производстве, а также на внешнем рынке, где давно приобретает дробь, изготавливаемая бразильской и американской компаниями. Поэтому в производимой дробы основная масса должна быть фракции диаметром от 0,425 до 1,4 мм (по классификации SAE

S 170, S 230, S 280, S 330, S 390, S 460, S 550), а фракции от 1,4 до 3 мм считаются некондиционной дробью и подлежат возврату на переплав, в то время как в литейном производстве, для чего первоначально и создавались дробелитейные машины конструкции ОАО «БЕЛНИИЛИТ», такая фракция считается годной. В связи с необходимостью увеличения производительности машины в 2,0–2,5 раза большое внимание уделялось увеличению скорости охлаждения ванны машины, стойкости расходуемых огнеупорных материалов, применяемых в грануляторе и воронке, так как от стабильности размера диаметра калиброванного отверстия и формы гранулятора зависят фракционный состав выпускаемой дробы и ее физико-механические характеристики.

В результате проведенных экспериментов и запуска в производство дробелитейной машины была усилена система охлаждения воды за счет увеличения мощности воздушных охладителей в 2 раза, что позволило производить первую заливку стали при температуре 1550–1600 °С в объеме 500–550 кг в течение 15–17 мин с последующим перерывом для охлаждения, в целом весь цикл разливки стали в объеме 1 т длился не более 45–50 мин, при этом выяснилось, что очень важным является не только стабильность размера диаметра калиброванного отверстия, но и постоянство формы канала, так как изменение формы канала с цилиндрической на постоянно меняющуюся неопределенную конфигурацию, полученную в результате взаимодействия металла и огнеупорного материала, приводит к захвату воздуха в период падения струи на гранулятор, увеличению разбрызгивания металла и т. д., что вызывает образование крупных пустотелых дробин, а это в свою очередь требует изменения уровня столба металла в воронке. В результате проведенных 30 экспериментальных плавов выяснилось, что стойкость гранулятора из шамота и калиброванного отверстия из набивной массы, которые изготавливаются в Аргентине, уступают при разливке стали по стойкости материалам, изготовленным в Российской Федерации. Несмотря на одинаковую огнеупорность (1650 °С), более высокие физико-механические характеристики при испытании при температурах 1000, 1450 °С, более высокое содержание Al_2O_3 шамотный гранулятор, изготовленный фирмой Ceramika Industrial Avellaneda S. A., уступает при разливке стали гранулятору, изготовленному Боровичским комбинатом огнеупоров. Стойкость гранулятора фирмы Ceramika Industrial Avellaneda S. A. – 1 плавка (1 т), стойкость гранулятора Боровичского комбината огнеупоров – 2 плавки (2 т). По результа-

там проведенных исследований можно сделать вывод, что основной причиной пониженной стойкости гранулятора является наличие в материалах крупной фракции (4–5 мм) и их количественное содержание, которое превышает в 3 раза содержание крупной фракции в грануляторах Российской Федерации. В то же время деталь с калиброванным отверстием, изготовленная из гранулятора фирмы Ceramika Industrial Avellaneda S. A., для замены набивного материала в воронке сохраняет форму канала. Поэтому можно сделать вывод, что при тепловом воздействии огнеупорные материалы, изготовленные в России, более эффективны при разливке стали при динамической нагрузке на гранулятор, а материалы фирмы Ceramika Industrial Avellaneda S. A. только при статической.

Исследования, проведенные на лабораторной установке фирмы ERVIN по методике этой же фирмы, показали, что циклическая стойкость дробы, полученная на дробелитейной машине конструкции ОАО «БЕЛНИИЛИТ», после термической об-

работки при температуре 380–420 °С достигает 5000–5100 циклов.

Выпускаемая литая стальная дробь, изготовленная на оборудовании ОАО «БЕЛНИИЛИТ», по своим характеристикам соответствует лучшим мировым аналогам известных фирм (WHEELBRATOR ALLEVARD SPECIFICATIONS (Франция), VULKAN и METALLTECHNIK (Германия) и др.), а малогабаритное оборудование, которое легко поддается демонтажу, размещается на значительно меньших производственных площадях и имеет возможность быстрой переналадки для литья разных фракций дробы.

Основные физико-механические свойства дробы приведены в табл. 2.

Таблица 2. Физико-механические свойства дробы

Гранулометрический состав, мм	0,6–6,0
Фактор формы	0,85–1,0
Плотность, г/см ³	7,2–7,5
Твердость HRC (в зависимости от вида термообработки)	45–61