



The investigation results of structure and properties of iron shot of MAZ production in as-cast condition and after tempering during induction heating to 280–450 °C are presented. It is shown that during induction heating tempering processes run completely during 5–7 minutes' heating. Due to tempering, in purification operations durability raises by 3–5 times.

П. С. ГУРЧЕНКО, М. И. ДЕМИН, Н. А. СИМОНОВ, РУП "МАЗ",  
Д. А. ВОЛКОВ, В. Л. РАССУДОВ, НП РУП "Институт БелНИИлит"

## СТРУКТУРА И СВОЙСТВА СТАЛЬНОЙ ДРОБИ ПРОИЗВОДСТВА РУП "МАЗ", ТЕРМООБРАБОТАННОЙ ПРИ ИНДУКЦИОННОМ НАГРЕВЕ

УДК 621.785:669.14

На Минском автомобильном заводе в сталелитейном цехе №2 освоено производство литой стальной дробы с использованием дробелитейного комплекса производительностью до 6 т/ч, разработанного в НП РУП "Институт БелНИИлит". Схема дробелитейного комплекса показана на рис. 1. Принцип работы дробелитейной машины и процесс формирования дробинки описаны в [1, 2].

Процесс изготовления дробы состоит из следующих этапов.

- Плавка стали в дуговых печах ДСН6 и ее транспортировка 6-тонным ковшом 1 от плавильных печей к металлоприемнику 2 дробелитейной машины 3.

- Разливка стали 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

рассева 8.

Для изготовления дробы в СЛЦ-2 Минского автомобильного завода применяется производимая в цехе сталь 40 со следующим содержанием химических элементов: 0,37–0,40% С, 0,45–0,90% Mn, 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.

Изучением фракционного состава установлено, что литая стальная дробь, производимая в СЛЦ-2 МАЗ, по форме состоит из круглой фракции на 70 %, овальной — на 25 и каплевидной — на 5 %. Форма дробы показана на рис. 2. Сравнение формы дробы производства Минского автомобильного завода (рис. 2, а) и французской фирмы "Wheelabrator Allevard" (рис. 2, б), взятой из рекламного проспекта фирмы, позволяет сделать вывод, что дробь производства Минского автозавода отличается более гладкой поверхностью и сферической формой. Фракционный состав стальной литой дробы Минского автозавода приведен в

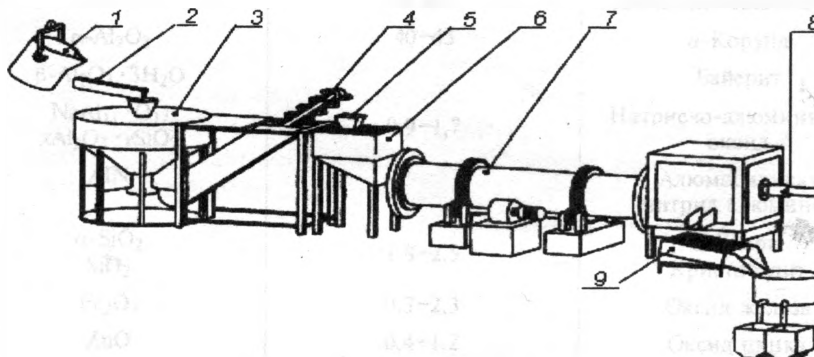


Рис. 1. Схема комплекса оборудования для литья дробы мод.46145: 1— ковш; 2— желоб металлоприемника; 3— дробелитейная машина; 4— наклонный элеватор; 5— приемная воронка; 6— бункер печи; 7— барабанная печь; 8— блок горелочной печи; 9— агрегат рассева дробы



Рис. 2. Форма стальных литых дробинок, выплавляемых в СЛЦ-2 МАЗ (а) и производства фирмы "Wheelabrator Allevard" диаметром 2,2 мм (б)

табл. 1. Плотность выплавляемой на МАЗе стальной литой дробы составляет  $7650 \text{ кг/м}^3$ , что значительно превышает нижний порог плотности, оговариваемый ГОСТ 11964—81 ( $7200 \text{ кг/м}^3$  не менее).

**Фракционный состав стальной литой дробы, выплавляемой на Минском автозаводе**

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  $68^\circ\text{C}$ . 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, составила 3000—4500 Н.

Металлографические исследования выполнены на металлографическом комплексе МКИ-2М-1, оснащенный 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 дефекты: трещины и поры, вид которых показан на рис. 3, б, в. Выявленные дефекты образуются в процессе кристаллизации жидких капель стали при попадании их в поток воды и неизбежны для всех способов получения литой дробы. Для установления количества внутренних дефектов литая дробь контролируется по удельному весу у всех производителей [3, 4]. Высокая плотность дробы, выплавляемой

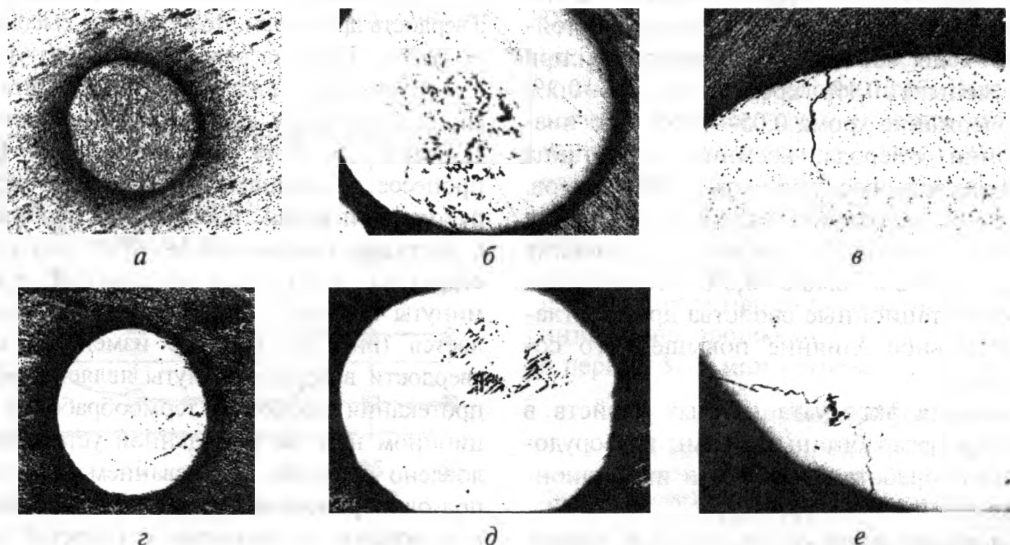


Рис. 3. Форма и дефекты дробы, выплавляемой в СЛЦ-2 МАЗ (а — форма дробинки диаметром 0,8 мм.  $\times 65$ ; б — поры.  $\times 100$ ; в — трещина.  $\times 100$ ) и фирмы "Wheelabrator Allevard" (г — форма дробинки диаметром 0,8 мм.  $\times 65$ ; д — поры.  $\times 100$ ; е — трещина.  $\times 100$ )

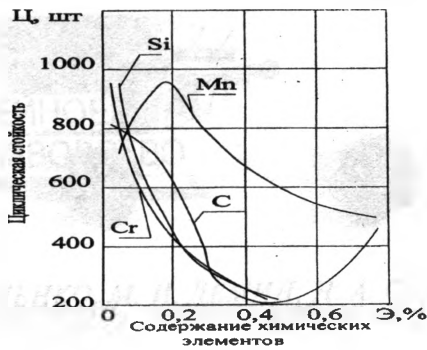


Рис. 4. Влияние концентрации химических элементов на циклическую стойкость стальной дроби в литом состоянии

на МАЗе, свидетельствует о небольшом количестве пор и рыхлот. Из-за наличия внутренних дефектов, высокой твердости, грубой структуры в литом состоянии стальная дробь обладает повышенной хрупкостью и в процессе использования быстро превращается в стальную пыль и уносится из дробеочистного оборудования вытяжной вентиляцией.

Исследования износостойкости стальной литой дроби не подверженной термической обработке, выполненные в НП РУП "Институт БелНИИлит", показали, что износостойкость зависит от ее химического состава (рис. 4). Как видно из рисунка, высокие эксплуатационные свойства достигаются при содержании углерода ниже 0,1%, а при марочном содержании выплавляемой на МАЗе стали 40Л (0,4% углерода) стойкость гранул снижается до 200 циклов. С точки зрения циклической стойкости максимальное содержание углерода должно составлять 0,15–0,20%, однако выплавка такой стали на машиностроительных предприятиях представляет определенные трудности. При увеличении содержания углерода до 0,6% и выше стойкость дроби 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 дроби — до 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 дроби снижает ее стойкость до 200 циклов, а увеличение концентрации никеля выше 0,5% значительно улучшает эксплуатационные свойства дроби, сглаживая отрицательное влияние повышенного содержания хрома.

Для улучшения эксплуатационных свойств в ЦЗЛ УГМет МАЗ разработаны режимы и оборудование для термообработки дроби при индукционном нагреве.

Установка представляет собой стальную вращающуюся трубу диаметром 200 мм и длиной 2 м, помещенную в индуктор высокочастотной установ-

ки с определенным уклоном. Со стороны поднятого торца трубы при помощи специального бункера, оснащенного дозирующим устройством, засыпается обрабатываемая дробь, которая благодаря наклону и вращению трубы непрерывным потоком течет вдоль трубы к нижнему торцу и высыпается в тару. Благодаря непрерывному вращению трубы дробь непрерывно перемешивается в процессе перемещения вдоль зоны нагрева. Нагрев происходит за счет одновременного воздействия трех факторов: теплового излучения разогретой поверхности трубы, контакта с ее разогретой поверхностью и воздействия высокочастотного электромагнитного поля. Время нахождения дроби в зоне нагрева составляет 5–7 мин. Углом наклона трубы и скоростью ее вращения и подаваемой к индуктору мощностью тока повышенной частоты регулируются скорость продвижения дроби, температура нагрева, время нахождения дроби в зоне нагрева и производительность установки. 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 дроби от температуры и длительности нагрева (рис. 5, 6).

Из анализа структуры видно, что грубая структура крупноигльчатого мартенсита (рис. 5, а), 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°C происходит частичный распад мартенсита, из него выделяются мелкодисперсные карбиды, тетрагональность мартенсита уменьшается и это приводит к снижению хрупкости дроби. Структура представляет собой мартенсит отпущенный (рис. 5, б). Твердость дроби при этом остается высокой — 600 НВ и более. При нагреве до температур 320–360°C структура имеет вид троостомартенсита с точечными включениями карбидов и твердостью 540–575 НВ, (рис. 5, в–г). При нагреве до 420–450°C в процессе дальнейшего распада мартенсита формируется дисперсная трооститная структура (рис. 5, д) с твердостью менее 400 НВ. Твердость дроби, как и структура, интенсивно изменяется также в первые минуты нагрева, а затем падение твердости замедляется (рис. 6). Быстрое изменение структуры и твердости в первые минуты является особенностью протекания процессов термообработки при индукционном нагреве в созданной установке, что обусловлено быстрым прогреванием всей массы дроби под одновременным воздействием радиационного и контактного теплообмена с нагретой трубой, воздействием электромагнитного поля высокой частоты и быстрого непрерывного перемешивания дроби

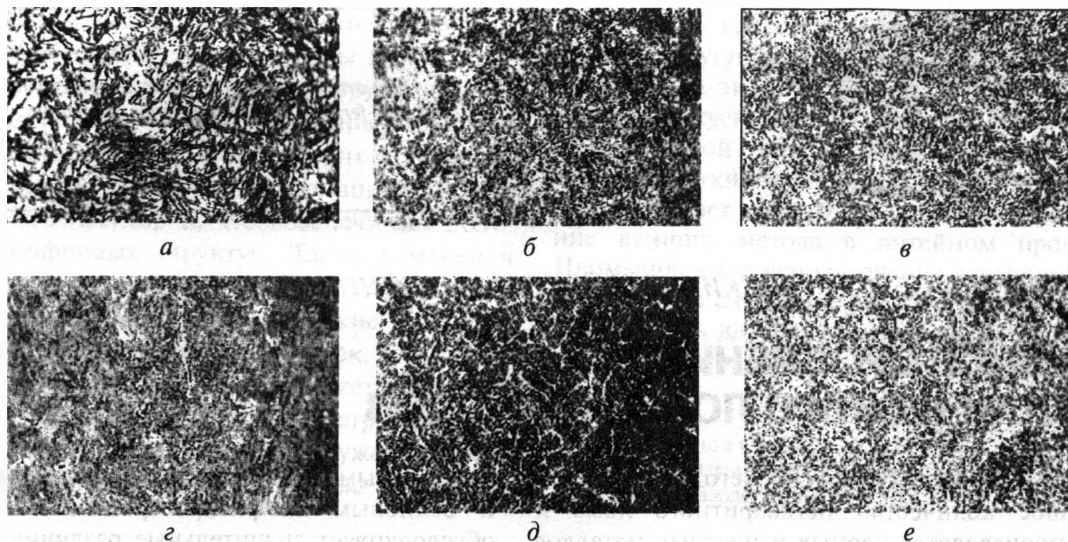


Рис. 5. Микроструктура термообработанной стальной литой дроби производства МАЗ (*a* — *d*) и фирмы "Wheelabrator Allevard" (*e*).  $\times 1000$ : *a* — дробь после литья, твердость 640 — 750 HV; *b* — отпуск 280°C, твердость 644 HV; *c* — отпуск 320°C, твердость 575 HV; *z* — отпуск 360°C, твердость 549 HV; *d* — отпуск 420, твердость 391 HV; *e* — твердость 540—575 HV, усилие до разрушения при сжатии дробины диаметром 2 мм — 3000 — 4500 Н

в процессе нагрева. Дробь производства МАЗ, термообработанная при индукционном нагреве при температуре 320 — 360°C в течение 5—7 мин, по своим параметрам (твердость — 540 — 575 HV, структура — троостомартенсит и точечные карбиды (см. рис. 5, *c*, *z*) близка к дроби фирмы "Wheelabrator Allevard" с содержанием углерода 0,90% (твердость 540 — 575 HV, структура — троостомартенсит + незначительное количество точечных карбидов (см. рис. 5, *e*)).

Индукционный нагрев при термообработке дроби 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 дроби от коррозии. Термообработанная дробь имеет приятный сине-се-

рый цвет и в дополнительных защитных покрытиях не нуждается.

Испытание термообработанной дроби производили 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 дроби по сравнению с литой увеличилась в 3—5 раз.

#### Выводы

Стальная литая дробь, производимая на Минском автозаводе с использованием дробелитейного комплекса, отличается выходом дроби (70%) правильной сферической формы с гладкой поверхностью. Созданные на МАЗе технология и оборудование термообработки дроби при индукционном нагреве позволяют регулировать температуру обработки и обеспечивать твердость дроби в заданном интервале с учетом изменения химического состава. При этом отпадает необходимость выплавки стали специального состава и становится возможным использование для производства дроби плавок стали как соответствующих, так и несоответствующих требованиям по химическому составу для производства отливок машиностроительных деталей. Термообработка дроби при индукционном нагреве позволяет в 3 раза по сравнению с литым состоянием повысить стойкость дроби при очистке литых заготовок. Процессы отпуска при индукционном нагреве наиболее интенсивно протекают и практически завершаются в первые 5—7 мин нагрева.

#### Литература

1. Рассудов В. Л., Шмидт В. И., Швецов Л. В. Изготовление литой дроби на малогабаритных машинах мод. 4678 // Литейное производство. 1995. № 3. С. 30—32.
2. Ефимов Ф. Т., Фролов Н. Г. Металлические дробь и песок. Производство и применение. М.: Машгиз, 1963.
3. Волков Д. А., Мельников А. П., Рассудов В. Л. и др. // Литейное производство. 2000. № 12. С. 21—22.
4. Дробь чугунная и стальная техническая. ГОСТ 11964—81.

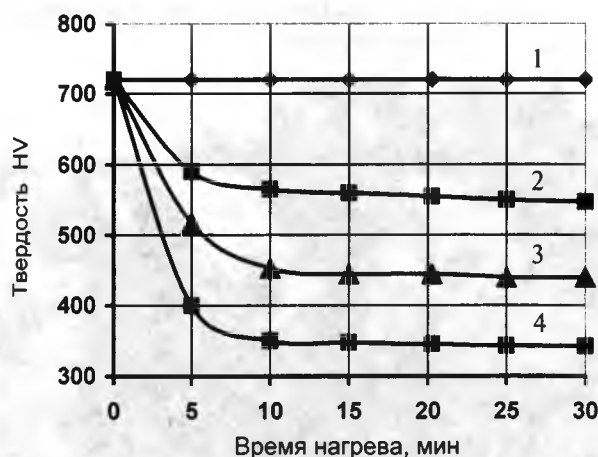


Рис. 6. Изменение твердости стальной литой дроби производства МАЗ в процессе термообработки при индукционном нагреве: 1 —  $T = 200^\circ\text{C}$ ; 2 — 320; 3 — 400; 4 — 450°C