

*The technical and economic characteristic of the created and developed technological processes of the industrial production of the steel casting grit heat-treatable by induction heat is given.*

П. С. ГУРЧЕНКО, М. И. ДЕМИН, РУП «МАЗ»,  
Д. М. КУКУЙ, БНТУ,  
В. Л. РАССУДОВ, НП РУП «Институт БелНИИЛит»

УДК 621.74.042:669

## ПРОИЗВОДСТВО СТАЛЬНОЙ ЛИТОЙ ТЕРМООБРАБОТАННОЙ ДРОБИ В УСЛОВИЯХ МИНСКОГО АВТОЗАВОДА

### Участок литья

На Минском автомобильном заводе в 2000 г. освоены технология и высокопроизводительное малогабаритное оборудование для литья стальной дробы производительностью до 6 т/ч [1]. Плавку стали производили в печи ДС-5МТ в соответствии с технологической инструкцией РУП «МАЗ» «Плавка нелегированной конструкционной стали марки 40Л в дуговых сталеплавильных печах ДС-5МТ». [2]. Средняя продолжительность плавки составляет 1 ч 50 мин. Для литья дробы на РУП «МАЗ» применяли сталь, выплавляемую для изготовления всей номенклатуры стальных отливок деталей автомобиля. Химический состав выплавляемой стали приведен в табл. 1.

После завершения операций плавки стали, контроля проб и доводки химического состава

жидкий металл при температуре 1700–1780°C выпускали в раздаточный чайниковый ковш емкостью 8,5 т. После выпуска плавки из чайникового ковша, согласно заводской инструкции [3], брали контрольную пробу «всплеск», выполняли контроль химического состава металла в цеховой экспресс-лаборатории и при его соответствии данным, приведенным в табл. 1, мостовым краном транспортировали к дробелитейной машине (мод. 4615К), схема которой показана на рис. 1. На рис. 2 показан общий вид производственного участка литья дробы в сталелитейном цехе №2 Минского автозавода. Основные технические характеристики дробелитейной машины мод. 46145 сталелитейного цеха №2 РУП «МАЗ» приведены в табл. 2, а барабанной печи для сушки дробы дробелитейного комплекса – в табл. 3.

Таблица 1. Химический состав стали, выплавляемой для изготовления дробы в сталелитейном цехе №2 Минского автозавода

Марка стали	Массовая доля элементов, %				
	углерод	марганец	кремний	фосфор	сера
40Л	0,37–0,45	0,45–0,90	0,20–0,52	≤0,06	≤0,06

Литье дробы выполняют в соответствии с технологической инструкцией РУП «МАЗ» [3]. Перед началом операции литья дробы и в период ее выполнения контролировали температуру воды в дробелитейной машине, которая не должна превышать интервал 80–95°C, и температуру в топке сушильного барабана (300–400°C).

Чайниковый разливающий ковш, наполненный жидким металлом, устанавливают мостовым краном на разливающий стенд и включают механизмы дробелитейного комплекса: двигатели вращения гранулятора, элеватора, сушильного барабана, виброгрохота. При этом жидкий металл из подающего лотка через выпускное отверстие по-

падает на вращающийся гранулятор, дробится на капли, которые отбрасываются к стенкам корпуса в слой воды, образуемый вращением крыльчатки, и кристаллизуются в гранулы. Охлажденная дробь скатывается по конусной части корпуса машины в кожух, откуда элеватором подается по лотку в сушильный барабан. Из сушильного барабана дробь попадает на виброгрохот, где происходит ее предварительный рассев – вся масса дробы разделяется на дробемассу с размером гранул до 4,5 мм и гранулы размером более 4,5 мм.

Далее высушенную дробемассу гранул более 4,5 мм подают на участок окончательного отсева и термообработки.

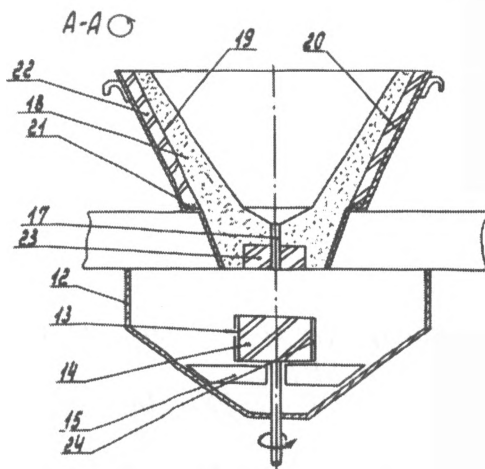
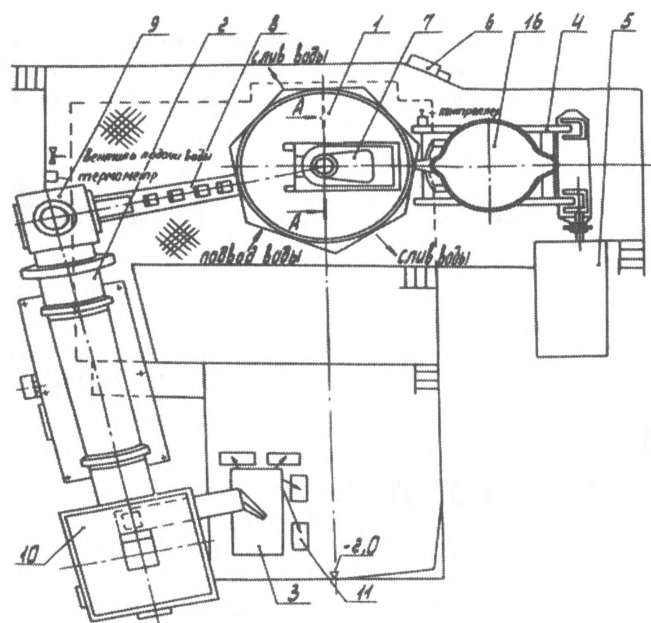


Рис. 1. Схема дробелитейного комплекса мод. 4615К сталелитейного цеха №2 РУП "МАЗ": 1 – машина дробелитейная; 2 – барабан сушильный; 3 – виброгрохот; 4 – стенд для разливки стали; 5 – привод стенда для разливки стали; 6 – пульт управления дробелитейным комплексом; 7 – лоток; 8 – элеватор; 9 – бункер промежуточный; 10 – топка (сушило); 11 – контейнер для дробы; 12 – корпус; 13 – обечайка гранулятора; 14 – тарелка гранулятора; 15 – крыльчатка; 16 – ковш чайниковый; 17 – выпускное отверстие лотка; 18 – огнеупорный жидкостекольный состав №3; 19 – слой жидкого стекла; 20 – листовой асбест; 21 – слой кварцевого песка; 22 – кирпич огнеупорный шамотный ША-1 №6; 23 – кирпич огнеупорный шамотный ША-1-67, ША-1-96 и др.; 24 – подпятник гранулятора

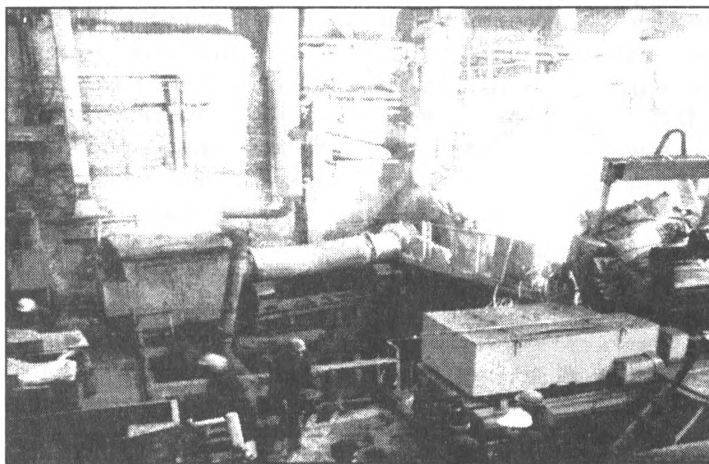


Рис. 2. Общий вид производственного участка литья дробы в сталелитейном цехе №2 РУП "МАЗ"

Таблица 2. Основные технические характеристики дробелитейной машины модели 46145

Наименование параметра	Значение параметра
Производительность, т/ч	Не более 6
Материал дробы	Сталь
Размер фракции дробы, мм	0,3–4,5
Температура заливки металла, °С	1630–1580
Частота вращения гранулятора, об/мин	600–1200
Частота вращения крыльчатки, об/мин	90–110
Число колебаний грохота в мин	1000
Максимальная амплитуда колебаний, мм	4
Расход воды, м³/ч	18
Установленная мощность двигателей, кВт	21
Габаритные размеры, мм:	
длина	8450+100
ширина	6280+100
высота	5500+100
Масса, кг	18600+100
Управление	Электрическое

Таблица 3. Основные технические характеристики барабанной печи сушки дробы мод. 46149

Наименование параметра	Значение параметра
Производительность, т/ч	Не более 6
Материал дробы	Сталь
Топливо	Природный газ
Температура сушки, °С	250–300
Частота вращения барабана, об/мин	8
Установленная мощность двигателей, кВт	5,5
Габаритные размеры, мм:	
длина	7600+100
ширина	2070+100
высота	2920+100
Масса, кг	8300+100
Управление	Электрическое

**Участок рассева и термообработки дробы с применением индукционного нагрева**

На лабораторной индукционной установке в условиях Центральной заводской лаборатории МАЗа в течение 2001–2003 гг. производили термическую обработку до 2 т в смену дробы для нужд сталелитейного цеха №1 РУП «МАЗ», отладки технологических параметров и проведения производственных испытаний ее стойкости [4–6]. В 2003 г. смонтирован, отлажен и запущен в производственную эксплуатацию специализированный участок по рассеву и термообработке дробы в сталелитейном цехе №2, обеспечивающий рассев на фракции и термическую обработку всего объема производимой на РУП «МАЗ» стальной литой дробы. Схема участка показана на рис. 3, а общий вид участка окончательного рассева дробы – на рис. 4.

Рассев дробы по фракциям выполняют в соответствии с заводской инструкцией РУП «МАЗ». [7]. По патрубку 11 (см. рис. 3) дробь подают на блоки ротационных сит 1–2–3 каскада 1 (12) и блоки ротационных сит 4–5–6 каскада 2.

Схема окончательно рассева представлена на рис. 5. Дробь из одного блока ротационных сит передается в последующие блоки, просеянная

дробь – в бункеры с челюстным затвором через дно сита, имеющего вваренный патрубок с насаженными рукавами. Рассеянная на фракции дробь подается к индукционным установкам для термической обработки. Общий вид участка термической обработки дробы при индукционном нагреве показан на рис. 6, а на рис. 7 – общий вид индукционной установки.

Термическую обработку дробы выполняют в соответствии с технологической инструкцией РУП «МАЗ» [8]. Перед началом работы производят внешний осмотр установки, продувают индуктор струей сжатого воздуха для удаления из токопроводящих трубок твердых включений, подают воду на охлаждение установки и проверяют ее прохождение по всем ветвям охлаждения. После включения силового автоматического выключателя двигателя генератора, снижения пускового тока двигателя до установленной величины включают возбуждение генератора. После разогрева барабана до температуры термической обработки в него подают дробь для обработки.

После выполнения операции термической обработки стальную литую дробь расфасовывают в специальную тару и передают потребителю.

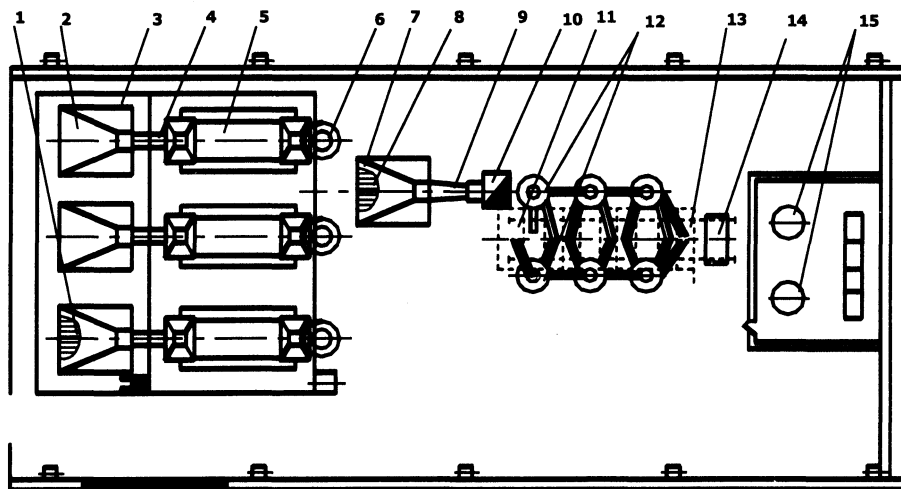


Рис. 3. Схема участка сталелитейного цеха РУП «МАЗ» по рассеву и термообработке стальной литой дробы: 1 – решетка; 2 – бункер накопительный; 3 – эстакада; 4 – патрубок; 5 – установка термообработки; 6 – контейнер для приема термообработанной дробы; 7 – бункер накопительный установки окончательного рассева дробы; 8 – решетка; 9 – патрубок; 10 – элеватор; 11 – патрубок; 12 – блоки ротационных сит; 13 – бункеры накопительные для приема фракций дробы после окончательного рассева; 14 – тара; 15 – генераторные установки

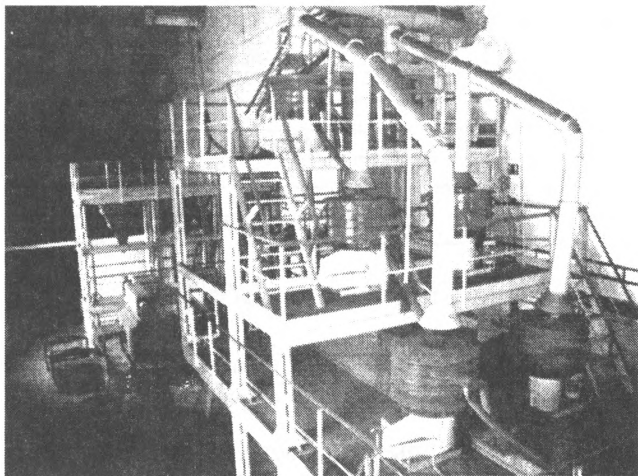


Рис. 4. Общий вид участка сталелитейного цеха №2 РУП "МАЗ" окончательного отсева

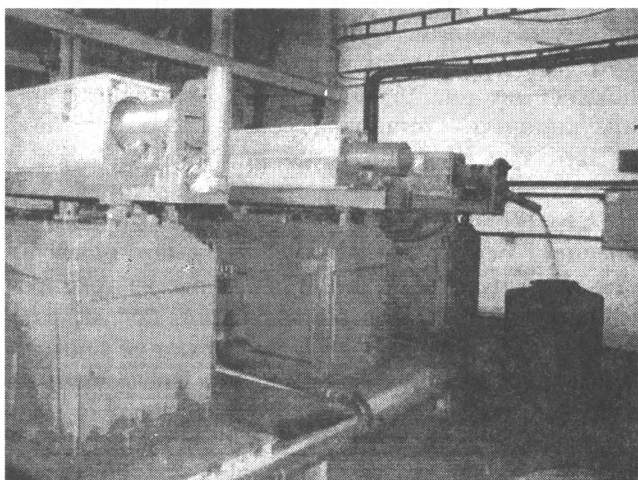


Рис. 6. Общий вид участка сталелитейного цеха №2 РУП "МАЗ" термической обработки стальной литой дроби при индукционном нагреве

**Технико-экономическая характеристика созданных и освоенных технологических процессов промышленного производства стальной литой термообработанной при индукционном нагреве дроби**

Созданная технология термической обработки дроби отличается гибкостью управления режима-

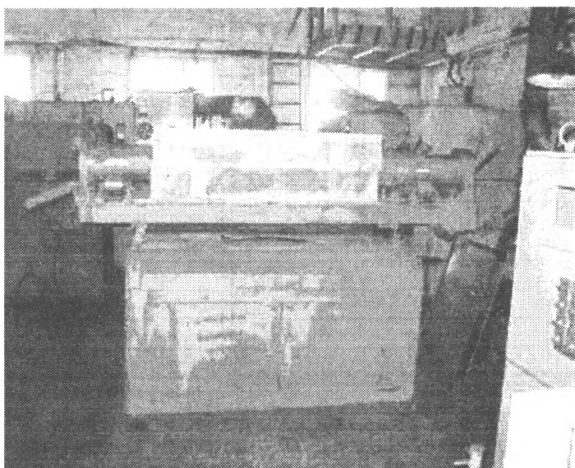


Рис. 7. Общий вид установки для термической обработки стальной литой дроби при индукционном нагреве токами высокой частоты

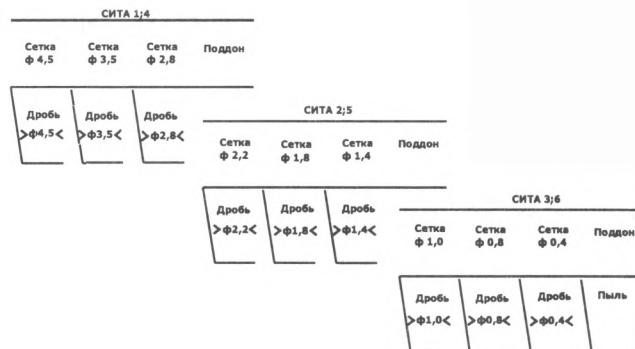


Рис. 5. Схема окончательного отсева стальной литой дроби на участке сталелитейного цеха №2 РУП "МАЗ"

ми, что позволило освоить производство дешевой конкурентоспособной дроби из применяемой для отливок стали 40Л. Термическая обработка при индукционном нагреве обеспечила сочетание вы-соких эксплуатационных характеристик дроби с высокой производительностью и низкой стоимостью процесса термической обработки, энергосбережением, низкой стоимостью созданного оборудования и малой занимаемой им площадью.

Стальная литая дробь производства МАЗа отличается более правильной сферической формой, гладкой поверхностью, высокой механической прочностью. Структура и твердость производимой дроби соответствуют лучшим мировым образцам при более низких энергетических, трудовых и материальных затратах при производстве. По механической прочности при разрушении, чистоте поверхности и правильности формы дробь производства МАЗа превосходит лучшие отечественные и зарубежные аналоги и может успешно конкурировать на мировом рынке.

Стойкость дроби после термической обработки при очистке отливок в дробеметных камерах литейных цехов РУП «МАЗ» возросла более чем в 5 раз. Одновременно повысились качество и производительность очистки, уменьшился в несколько раз износ и соответственно расход (до 5 раз) элементов дробеочистного оборудования (лопаток, дисков дробеметных роторов и др.), снизились затраты на ремонт очистного оборудования и потери от его простоев, связанных с заменой лопаток и дисков, уменьшились выбросы металлической пыли в окружающую среду.

Расчет экономической эффективности, учитывающий только снижение затрат от увеличения стойкости самой дроби и уменьшения ее потребления на потребность РУП

«МАЗ», показал, что снижение затрат на производство дробы при внедрении созданных технологических процессов литья и термообработки дробы составляет 1961,64 млн. руб. в ценах сентября 2003 г.

### Заключение

1. В процессе выполнения исследований при создании и внедрении комплекса технологических процессов и оборудования авторами изучена кинетика формирования и кристаллизации гранул стальной дробы в условиях гранулирования на центробежном грануляторе с вертикальной осью вращения. Разработана теоретическая модель формирования формы, структуры и свойств гранул дробы и установлено, что важнейшим параметром затвердевания капли, от которой зависит получение частиц заданного размера, является интенсивность теплоотвода от боковой поверхности. Путем анализа изменения скорости движения частиц выполнена оценка изменения интенсивности теплообмена с ее боковой поверхности в процессе полета и затвердевания. Анализ зависимости расчетного времени затвердевания от интенсивности теплообмена на поверхности частицы показал, что при теплообмене ниже  $200 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  размер гранулы оказывает большое влияние на полное время затвердевания. Так, стальная частица диаметром 2 мм при интенсивности  $125 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$  затвердевает за 1 с, а диаметром 5 мм — за 4 с. Экспериментально установлено, что частица жидкой стали размером менее 6 мм полностью сфероидизируется за время свободного полета на расстоянии 700–800 мм, если температура заливки  $T_3$  не превышает  $1600^\circ\text{C}$ .

2. Исследовано влияние технологических факторов (высоты падения и диаметра струи жидкого металла, диаметра и скорости вращения гранулятора, температуры заливки и химического состава металла) на формообразование дробы. Установлено, что при изменении высоты падения струи от 200 до 260 мм средний размер гранул дробы увеличивается от 1 до 3 мм при диаметре струи в пределах 12–17 мм. При увеличении скорости вращения гранулятора от 1500 до 2000 об/мин средний размер гранул уменьшается с 2,5 до 0,63 мм. По результатам проведенных исследований построена номограмма, позволяющая по заданному среднему размеру дробы подобрать параметры технологического процесса ее производства. Установлено, что наиболее благоприятными условиями, обеспечивающими получение максимального количества гранул правильной сферической формы диаметром 0,5–3,5 мм, являются температура заливки —  $1600\text{--}1650^\circ\text{C}$ , диаметр струи — 17–18 мм, скорость вращения гранулятора —  $1300\text{--}1500 \text{ мин}^{-1}$ , диаметр гранулятора — 190–210 мм, высота падения струи — 220–240 мм.

3. Изучены структура и свойства стальной литой дробы, закаленной из расплава и после термической обработки при печном и индукционном нагреве. Рентгеноспектральным и металлографическим анализами установлено, что морфология структуры литой дробы представляет собой дендритное строение в виде удлиненных, столбчатых и равноосных кристаллов. Диаметр столбчатых дендритов находится в диапазоне 13–40 мкм, равноосных — 16–30 мкм. Установлено, что состав и форма мартенсита в объеме зерна и вдоль междендритных поверхностей различаются. По границам зерна мартенсит имеет значительную степень аморфизации, что является особенностью полученной структуры дробы вследствие высоких скоростей кристаллизации дробы, закаленной из жидкого состояния. Наряду с этим в структуре содержатся мелкие избыточные карбиды и остаточный аустенит (до 15%). Выполненными исследованиями подтверждено, что междендритные поверхности, образованные в закаленных из расплава гранулах дробы, играют роль катализаторов выделений, приводящих к различию состава и морфологии мартенсита, сформированного на этих границах и в объеме зерен, о чем свидетельствуют светлые структурные составляющие по границам. Подтверждением этого предположения служит отсутствие светлых зон в микроструктуре повторно закаленной дробы. Полученные результаты свидетельствуют о том, что в мартенсите, сформированном по границе зерен, концентрация углерода выше, чем в теле зерна.

4. Микроструктура повторно закаленной дробы состоит из мартенсита, избыточных карбидов и характеризуется более высоким уровнем внутренних напряжений и степени искаженности кристаллической решетки по сравнению с закаленной из расплава. Структура повторно закаленной дробы и после отпуска при температурах до  $350^\circ\text{C}$  более дисперсная по сравнению с закаленной из расплава, а после отпуска при температурах  $400^\circ\text{C}$  и более структуры и твердость, закаленной из расплава и закаленной с повторного нагрева, практически одинаковы. Отпуск при температуре  $350\text{--}400^\circ\text{C}$  полностью снимает внутренние напряжения в гранулах дробы при сохранении высоких значений твердости (4000–5000 МПа), более высокая температура отпуска приводит к дальнейшему снижению твердости. Рентгеноструктурным анализом установлено, что в структуре повторно закаленной дробы аустенит отсутствует. В повторно закаленной дробы установлен более высокий уровень внутренних напряжений и тетрагональных искажений решетки, чем у закаленной из расплава. Эти факторы обуславливают более высокие значения микротвердости для повторно закаленной дробы по сравнению с закалкой из расплава. В первом случае она составляет 8100 МПа, во втором — 7200 МПа.

5. Созданные на МАЗе технология и оборудование термообработки дробы при индукционном нагреве позволяют регулировать температуру обработки и обеспечивать твердость дробы в заданном интервале с учетом изменения химического состава. При этом отпадает необходимость выплавки стали специального состава. Термообработка дробы при индукционном нагреве позволяет в 5 раз по сравнению с литым состоянием повысить стойкость дробы при очистке литых заготовок. Процессы отпуска при индукционном нагреве наиболее интенсивно протекают и практически завершаются в первые 5–7 мин нагрева. Повторная закалка обеспечивает более высокую твердость и мелкую структуру для неотпущенной дробы и отпущенной при температурах до 400°C. После отпуска при температуре 400°C и более структура и твердость закаленной из расплава и повторно закаленной дробы практически одинаковы.

6. Стальная литая дробь, производимая на МАЗе с использованием разработанного дробелитейного комплекса, отличается выходом дробы (70%) правильной сферической формы с гладкой поверхностью. Дробь, производимая на МАЗе из широко применяемых марок стали 35–40Л, не требует специальной подготовки химического состава и внедрения дополнительного внепечного

оборудования. Изготовление стальной литой дробы производится на действующем литейном оборудовании в условиях массового производства деталей машиностроения.

### Литература

1. Волков Д.А., Мельников А.П., Рассудов В.Л., Мицкевич А.В., Демин М.И. Технология и оборудование для производства кондиционной литой стальной дробы // *Литье и металлургия*. 2001. №1. С. 42–44.
2. Технологическая инструкция МАЗ. ИМ 37.160.380-98. «Плавка нелегированной конструкционной стали марки 40Л в дуговых сталеплавильных печах ДС-5МТ».
3. Технологическая инструкция МАЗ. ИМ 37.160.382-98 «Получение литой дробы на дробелитейном комплексе мод. 4615К».
4. Гурченко П.С., Демин М.И., Симонов Н.А., Волков Д.А., Рассудов В.Л. Структура и свойства стальной дробы производства МАЗ, термообработанной при индукционном нагреве // *Литье и металлургия*. 2001. №4. С. 58–61.
5. Гурченко П.С., Демин М.И. Индукционный нагрев и качество стальной литой дробы // *Автомобильная промышленность*. 2002. №4. С. 29–31.
6. Гурченко П.С., Демин М.И., Комаров А.И. Термическая обработка при индукционном нагреве и структура стальной дробы, закаленной из расплава // *Литье и металлургия*. 2003. №4. С. 78–86.
7. Технологическая инструкция МАЗ. ТИ 113.009-2003 «Работы, выполняемые на участке окончательного рассева и термообработки дробы».
8. Технологическая инструкция МАЗ. 9669-2588-000ИЭ «Комплекс для термообработки дробы ТСЧ».