

М.И. Демин, П.С. Гурченко, А.И. Михлюк

## СТАЛЬ 40Л – МАТЕРИАЛ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА ВЫСОКОЭФФЕКТИВНОЙ ЛИТОЙ ДРОБИ

*Минский автомобильный завод  
Минск, Беларусь*

Повышение качества обрабатываемых деталей и заготовок, срока службы технологического оборудования и инструмента при одновременном снижении затрат на производство, экономия сырьевых и топливно-энергетических ресурсов для промышленных предприятий Республики Беларусь в настоящее время входят в число приоритетных задач развития экономики страны. В литейном, кузнечном и термическом производствах существенные затраты материалов и энергии приходятся на операции очистки отливок и заготовок, которые обычно осуществляются в дробеметных камерах с применением чугунной либо стальной дроби, произведенной, как правило, на специализированных предприятиях.

Опыт показывает, что для очистки отливок наиболее эффективной является стальная дробь, которая обычно изготавливается из специальных марок сталей. Как правило это сталь либо с малым содержанием углерода (до 0,1%) либо с высоким содержанием (0,8-1,2 %). Такое резкое ограничение по содержанию углерода связано с особенностями процесса изготовления литой дроби, когда в процессе разлива и распыления жидкой струи металла происходит резкое охлаждение жидких гранул с практически мгновенной кристаллизацией и достижением интервала температур мартенситного превращения. Это, при содержании углерода в расплавленном металле в интервале 0,37- 0,51 %, что соответствует среднеуглеродистым сталям, широко применяемым в машиностроении, приводит к закалке с расплава и формированию крупноигльчатого мартенсита в структуре, что при эксплуатации приводит к разрушению гранул и как следствие этого низкой стойкости. На рис 1 показан график зависимости циклической стойкости стальной литой дроби в зависимости от содержания химических элементов полученный в результате анализа литературных источников и на основании проведенных экспериментов.

Как видно из графика, высокие эксплуатационные свойства литой дроби достигаются при содержании углерода ниже 0,1 %, а при содержании углерода в стали в интервале 0,4% стойкость гранул снижается до 200 циклов. С точки зрения циклической стойкости максимальное содержание углерода должно составлять 0,15-0,20 %. При увеличении содержания углерода до 0,6 % и выше стойкость дроби увеличивается, что может быть объяснено увеличением в структуре остаточного аустенита, благодаря которому твердость и хрупкость снижаются.

Поэтому основные производители литой дроби вынуждены применять сложное специализированное оборудование и сталь с ограничением по содержанию углерода, что приводит к увеличению стоимости выпускаемой дроби и усложнению процесса её производства.

Целью проведенной работы явилось разработка технологии и оборудования литой дроби из стали 40Л, широко применяемых на машиностроительных предприятиях РБ, для получения конкурентоспособной литой дроби.

На Минском автомобильном заводе в 2000 году освоены технология и высокопроизводительное малогабаритное оборудование для литья стальной дроби производительностью до 6.0 т/ч. Плавку стали производят в печи ДС-5МТ в

соответствии с технологической инструкцией РУП «МАЗ». Для литья дробы на МАЗе применяют сталь 35Л-40Л, выплавляемую для изготовления всей номенклатуры стальных отливок деталей автомобиля. Химический состав выплавляемой стали приведен в табл. 1.

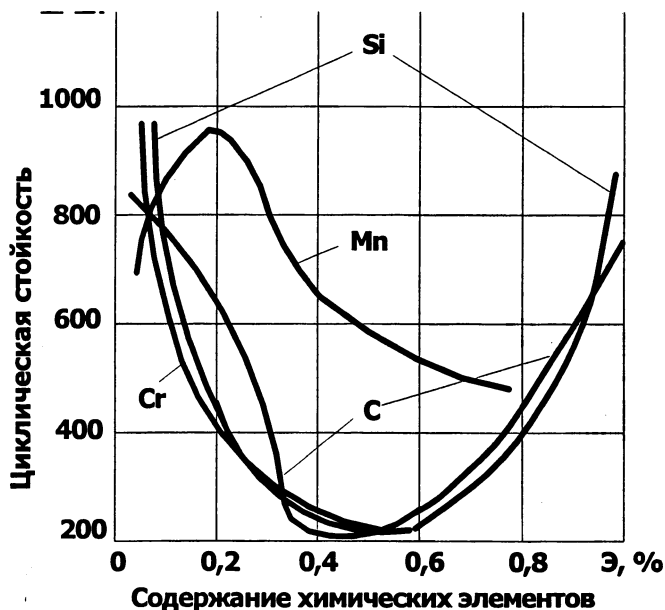


Рис. 1. Влияние концентрации химических элементов на циклическую стойкость стальной дробы в литом состоянии

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

Разлив дробы выполняли на дробелитейной машине мод. 4615К с последующей сушкой и предварительным рассевом.

Исследованием формы, размеров и фракционного состава в процессе производства стальной литой дробы, выплавляемой на Минском автозаводе на малогабаритном литейном комплексе, установлено, что при оптимальных режимах литья образуется до 10% крупных гранул размером до 10 мм, 90 % гранул дробемассы имеют форму, близкую к сферической с размерами гранул от 1,0 до 3,8 мм. Изучением фракционного состава установлено, что дробь состоит из круглой фракции на 70%, овальной – 25%, и каплевидной – 5%. В табл. 2 приведен фракционный состав данной дробы.

Дробь производства МАЗ при этом по сравнению с другими производителями стальной литой дробы отличается большей сферичностью формы и чистотой поверхности. Плотность ее составляет  $7650 \text{ кг/м}^3$ , что значительно превышает нижний порог, оговариваемый по ГОСТ 11964 – 81 ( $7200 \text{ кг/м}^3$ ), что свидетельствует о малом количестве газовых пор и раковин.

Фракционный состав стальной литой дроби производства 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

Вместе с тем при достижении высоких показателей по форме и фракционному составу получаемая дробь обладала малой стойкостью при эксплуатации. Как уже говорилось выше связано это с процессом закалки гранул дроби с расплавленного состояния. При формообразовании гранул дроби, которое происходит при непосредственном попадании жидкого металла в охлаждающую жидкость (в данном случае вода техническая или ее раствор), возникает ряд дефектов: закалочные трещины, неметаллические включения и поры, вид которых показан на рис 2.

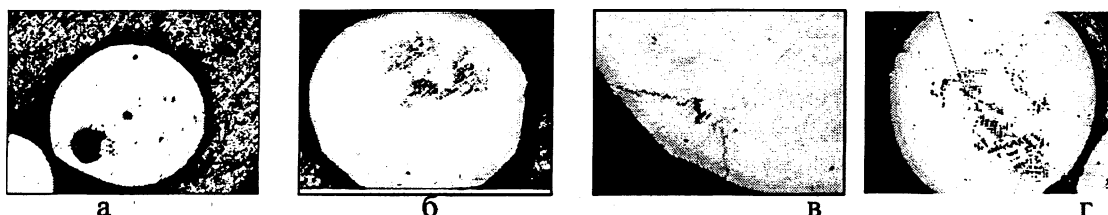


Рис 2. Дефекты стальной литой дроби производства МАЗ : а- неметаллические включения, б - поры, в – закалочные трещины, г – рыхлоты.

Структура стальной гранулы, закаленной из расплава, имеет дендритное строение, при этом в пределах одного образца зерна меняются от вытянутых, столбчатых, до равноосных. Структура стальной литой дроби, выявленная специальным травителем, позволяющем выявлять структурные составляющие с близкими физико-химическими свойствами, показана на рис. 3, а-в. Диаметр столбчатых дендритов находится в диапазоне 13...40 мкм, равноосных –16...30 мкм. Микроструктура дроби после закалки из расплавленного состояния представляет собой крупноигльчатый мартенсит (рис 3 г).

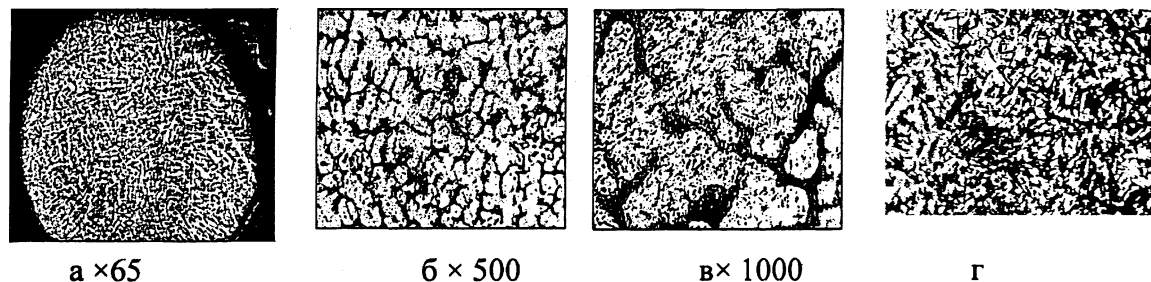


Рис.3. Микроструктура закаленной из расплава в воду дроби.

Непосредственно после закалки из расплава (рис.3,г) структура имеет вид слабо травящегося мартенсита с включениями карбидов и твердостью 669 – 810 HV . В процессе сушки дроби которая проводится при 150 – 200°C происходит частичный

отпуск мартенсита и в нем четко выявляется грубоигольчатая структура - следствие закалки из расплава. Твердость уменьшается незначительно и составляет 644 - 713HV. После отпуска 300 °С структура представляет собой троостомартенсит с твердостью 540 – 575HV. Дробь с такой структурой и твердостью обладает достаточной циклической стойкостью и показывает высокие эксплуатационные свойства. Достаточно сказать, что сравнительные производственные испытания отпущенной дроби в сравнении с не отпущенной показывают повышение срока службы от 3 до 5 раз.

Вместе с тем выполнение операции отпуска дроби на существующем термическом оборудовании практически неосуществимо, так как данное оборудование не приспособлено для обработки металлических гранул малых размеров. Было предложено принципиально новое техническое решение: применить для термообработки мелких металлических гранул индукционный нагрев.

Для нагрева мелких металлических гранул (0,5 – 4,5 мм) был предложен способ нагрева данных частиц при движении их вращающейся транспортирующей гладкостенной металлической трубе, помещенной в электромагнитное поле высокой частоты. Для обеспечения равномерности нагрева частиц по их потоку был выполнен выбор конструктивных (длины, диаметра трубы и угла наклона) и технологических параметров (потребляемой мощности, частоты источника ТВЧ, частоты вращения трубы, размеров и количество подаваемых изделий). Установлено, что нагрев потока мелкогабаритных металлических изделий (0,5-4,5 мм) осуществляется комплексно: путем конвективного и лучистого теплообмена, теплопередачи за счет контакта с разогретой поверхностью транспортирующей трубы и за счет тепла, выделяемого в самом материале при воздействии электромагнитного поля высокой частоты.

На основе полученных результатов созданы метод и устройство для термообработки мелкогабаритных металлических гранул 0,5-4,5 мм с движением их сплошным потоком во вращающейся транспортирующей гладкостенной металлической трубе (рис. 4), подвергаемой индукционному нагреву (патент РБ № 788, свидетельство РФ № 33118 и декларативный патент Украины № 2117).

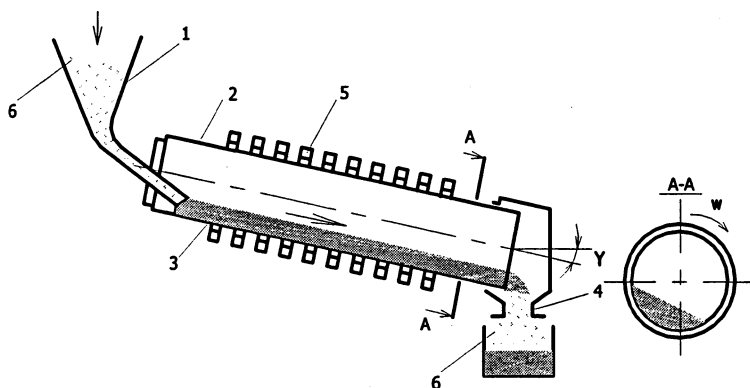


Рис. 4 Схема устройства для нагрева мелкогабаритных металлических гранул (0,5-4,5 мм) в транспортирующей гладкостенной трубе, помещенной в электромагнитное поле высокой частоты: 1 – лоток загрузки, 2 – труба, 3 – поток металлических изделий, 4 лоток выгрузки, 5 – индуктор, 6 – металлические изделия

Была изготовлена экспериментальная установка для термообработки стальной литой дроби и выполнен комплекс исследований влияния индукционного нагрева на формируемую при этом структуру металла. Уже в процессе первых 5 – 7 минут

индукционного нагрева до температуры 280 °С происходит частичный распад мартенсита, из него выделяются мелкодисперсные карбиды, тетрагональность мартенсита уменьшается и это приводит к снижению хрупкости дроби. Структура представляет собой мартенсит отпущенный. Твердость дроби 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 – 575HV. При нагреве 420 – 450 °С в процессе дальнейшего распада мартенсита формируется дисперстная трооститная структура, с твердостью менее 400 HV. Твердость дроби, как и структура, интенсивно изменяется также в первые минуты нагрева, а затем падение твердости замедляется. На рис 5 показано изменение твердости стальной литой дроби производства МАЗ в процессе термообработки при индукционном нагреве 200 – 450 °С.

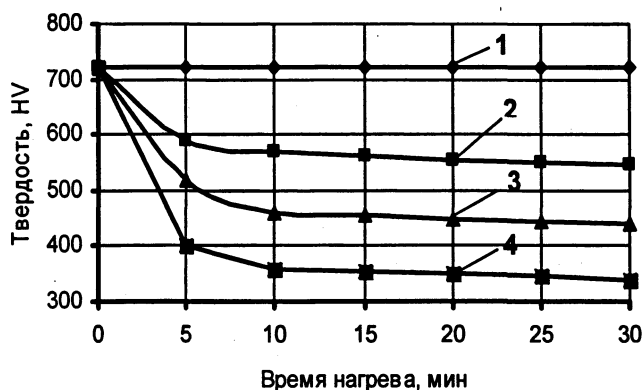


Рис.5.Изменение твердости стальной литой дроби производства МАЗ в процессе термообработки при индукционном нагреве: 1 - 200 °С, 2 - 320 °С, 3 - 400 °С, 4 - 450 °С

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 в процессе нагрева.

На основе проведенных исследований и комплекса полученных результатов была разработана технология и оборудование для индукционной термообработки литой дроби из стали 40Л (рис 6), внедренные на Минском автомобильном заводе.

Вывод:

Сталь 35-40Л, широко применяемая на машиностроительных предприятиях РБ, является высококачественным сырьем для получения литой дроби, не уступающей по своим показателям мировым производителям дроби. Эти показатели достигаются за счет применения индукционной термообработки на разработанной оборудовании. Дробь производимая на МАЗе из широко применяемых марок стали 35 – 40 Л не требует специальной подготовки химического состава и внедрения дополнительного внепечного оборудования. Изготовление стальной литой дроби производится на действующем литейном оборудовании в условиях массового производства деталей машиностроения позволило получить годовой экономический эффект 1961,64 млн. руб. РБ в ценах сентября 2003 года.

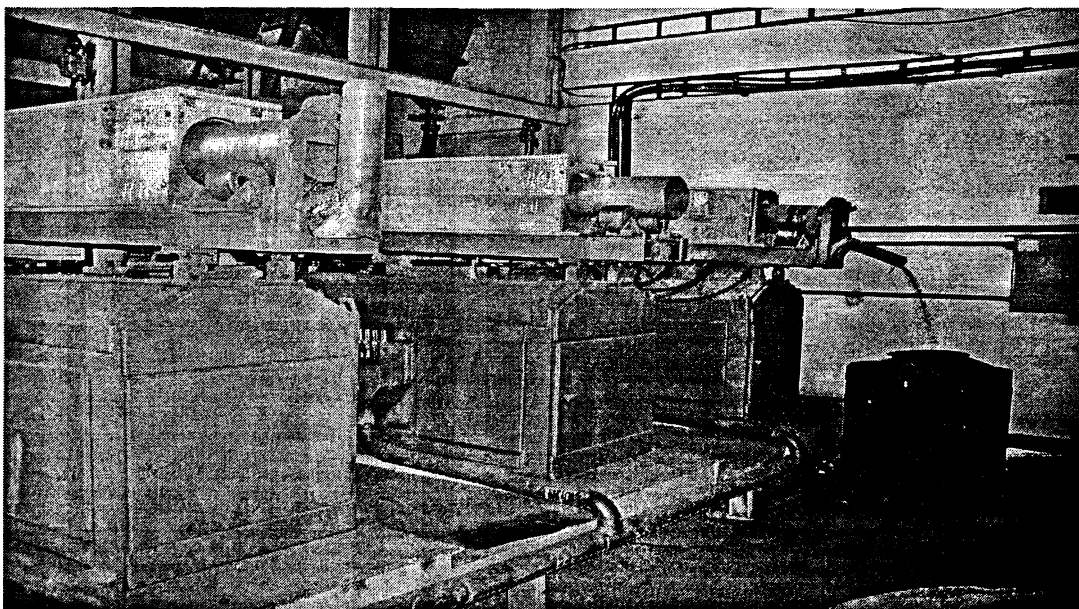


Рис 6. Общий вид участка сталелитейного цеха №2 МАЗ термической обработки стальной литой дроби при индукционном нагреве.

УДК 541.16, 536.7

**В.В. Баркалин**

## **КВАНТОВЫЕ УРОВНИ ИЕРАРХИИ МОДЕЛЕЙ НАНОМАТЕРИАЛОВ**

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Нанотехнология обычно понимается как отрасль науки и техники, объектом которой являются структуры, функции и процессы, основанные на использовании материалов, свойства которых определяются их структурой на пространственных масштабах 1 - 300 нм. С практической точки зрения, фундаментальной трудностью нанотехнологии является то, что наноустройства настолько малы, что на них трудно точно воздействовать, и слишком велики для использования точных химических методов типа геной инженерии. В этой связи особую важность приобретают методы компьютерного моделирования наноразмерных систем, которые должны быть достаточно быстрыми и точными для корректного прогноза структуры и свойств наноструктурированных материалов при внешних воздействиях. К наноструктурированным материалам в настоящее время относят материалы, в состав которых входят углеродные и неуглеродные нанотрубки, фуллерены, древообразные линейные структуры (дендриты), керамики, цеолиты, полимеры и жидкие кристаллы, наноразмерные кластеры, а также металлические и полупроводниковые наноструктуры (квантовые точки, квантовые стенки и квантовые провода). В применении к ним подход на основе моделирования имеет весьма значительные трудности. В кубе со стороной 100 нм насчитывается примерно 100 миллионов атомов, что значительно превышает вычислительные возможности компьютерной молекулярной динамики и, тем более, компьютерной квантовой механики. Поэтому необходимо обратиться к многомасштабному подходу, в котором на каждом нижележащем уровне вычисляются