



The article is devoted to a vital problem of manufacture of cast steel grit which is widely used in foundry

Д. А. ВОЛКОВ, А. П. МЕЛЬНИКОВ, В. Л. РАССУДОВ,  
А. В. МИЦКЕВИЧ, НП РУП "Институт БелНИИлит", М. И. ДЕМИН, ПО "БелАвтоМАЗ"

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ПРОИЗВОДСТВА КОНДИЦИОННОЙ ЛИТОЙ СТАЛЬНОЙ ДРОБИ

УДК 621.762

В работе [1] проанализированы особенности технологии производства литой стальной и чугунной дробы, использующей при диспергировании струи расплавленного металла керамический гранулятор с вертикальной осью вращения. Приведены краткие сведения о конструкции малогабаритных дробелитейных машин мод. П1347, П1347А производительностью до 1 т дробемассы в час и мод. 4678, 46145 — до 6 т/ч, изготавливаемых и поставляемых заводам-заказчикам НП РУП "Институт БелНИИлит" индивидуально или в комплекте с агрегатами сушки и предварительного отсева дробемассы. Объем дробы, производимой на этих машинах, часто превышает потребности заводов в дробы, что приводит к простоем машин. К тому же цена изготовления БелНИИлитом машин такой производительности выше, чем финансовые возможности потенциальных заказчиков. Поэтому была поставлена задача создать малогабаритную дробелитейную машину производительностью 200—250 кг/ч, которую заказчик мог бы изготовить сам при авторском надзоре.

Разработка малогабаритной машины, связанная с уменьшением диаметра рабочего бака, т. е. сокращением пути свободного полета частицы металла после отрыва ее от торца диска гранулятора до водной завесы, потребовала проведения исследований по влиянию этого и других, связанных с ним параметров, на качество дробемассы, включая и кондиционность получаемых гранул.

Перед изложением методики исследований необходимо сделать следующие пояснения. Широкое использование кондиционных гранулированных материалов многофункционального назначения предъявляет высокие требования к их эксплуатационным характеристикам. Частично решить задачу получения необходимого качества таких материалов позволяет гранулярная металлургия, основой которой являются процессы формирования и кристаллизации металлических гранул, их структура, физико-механические и эксплуатационные характеристики и др.

Процесс получения литой дробы можно разделить на несколько этапов (рис. 1): распыление

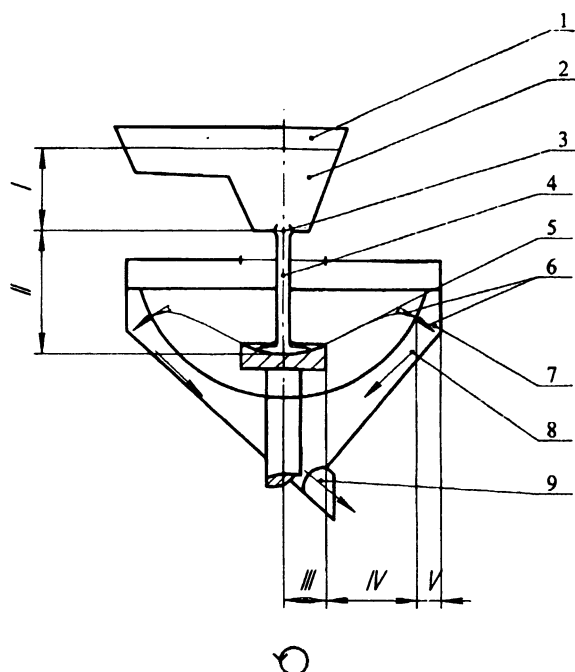


Рис. 1. Схема процесса диспергирования струи гранулятором с вертикальной осью вращения: 1 — приемный лоток; 2 — жидкая сталь; 3 — калибровочное отверстие; 4 — струя металла; 5 — керамический гранулятор; 6 — капли жидкой стали; 7 — водная завеса; 8 — гранулы затвердевшей стали; 9 — выгрузка дробемассы. Зоны: I — ферростатики; II — сплошной струи; III — грануляции струи; IV — формообразования частиц в свободном полете в воздухе; V — закалки

струи металла и затвердевание образовавшихся капель. Кроме того, некоторые характеристики формируются на этапах сушки и отсева полученных гранул, а также термической обработки или упрочнения гранул плазмой.

Первый этап предполагает механическое воздействие на струю жидкого металла, приводящее к нарушению ее сплошности и разрушению. На втором этапе происходит интенсивное охлаждение образовавшихся капель расплава, которое необходимо регулировать для предотвращения возникновения закалочных трещин.

При плавке и подготовке расплава, а также на первых этапах процесса создаются предпосылки к определенному формо- и структурообразованию и

достижению заданных физико-механических и эксплуатационных свойств.

На этапе сушки и рассева важен температурный режим атмосферы агрегата сушки, поскольку при перегреве дробемассы может происходить отпуск (снижение твердости) гранул или образование окалины на их поверхности, что ухудшает эксплуатационные свойства и внешний вид продукта.

Для достижения стабильного температурного режима агрегата сушки необходимо, во-первых, подобрать соответствующий регулируемый режим подачи теплоносителя, осуществляемый горелкой низкого давления, которой оснащена топка агрегата. Во-вторых, во избежание перегрева дробемассы или выхода ее недосушенной она должна поступать в приемник агрегата сушки при определенной и желательной постоянной температуре. Установление диапазона температуры поступления дробемассы в агрегат сушки проводилось при проведении экспериментов на стенде мод. П1347 для определения остаточного тепла гранул.

Задачей операции рассева высушенной дробемассы на фракции является не только выделение дробин заданных размеров, но и очистка дробы от неметаллических включений. При этом технология рассева должна предусматривать такое соотношение сит в агрегатах рассева, которое сводило бы к минимуму засорение основной выделяемой фракции дробы включениями соседних фракций.

Этап, включающий термообработку или плазменное упрочнение дробы, применяется для придания гранулам специальных свойств, оговариваемых требованиями заказчика. Примером может служить требование повышения твердости дробин размером 0,3—0,4 мм (металлического песка), используемых при электромагнитном шлифовании шеек коленчатых валов.

Учитывая изложенное выше, методика исследований заключалась в изготовлении гранул сплавов с различным содержанием химических элементов и отборе проб на всех этапах технологии. Для экспериментов был спроектирован и изготовлен стенд мод. П1347Б, состоящий из следующих основных элементов:

- заливочной воронки с комбинированным отверстием;
- сопла, распыляющего струю жидкого металла;
- корпуса, охлаждаемого водой;
- приемника-охладителя гранул;
- корзины для извлечения гранул из приемника.

При проведении экспериментов на стенде мод. П1347Б фиксировались такие параметры, как:

$t_{\text{зал}}$  — температура заливки стали;  $t_2 - t_1$  — изменение температуры охлаждающей жидкости;  $t_3$  — температура дробемассы после извлечения корзины из приемника-охладителя;  $Q_m$  — количе-

ство заливаемого металла;  $Q_0$  — количество охлаждающей воды.

Вторым по важности влияния на конечные характеристики гранул является этап распыления струи жидкого металла. На этом этапе происходит интенсивное охлаждение образовавшихся капель расплава. Одним из параметров затвердевания является интенсивность теплоотвода от боковой поверхности капли жидкого металла, величина которой во многом определяет форму и структуру распыленных частиц, газовыделение, окисленность и др.

При исследовании кинетики затвердевания диспергированной частицы принималось за основу то, что она имеет форму сферы и теплообмен с ее поверхностью определяется скоростью движения частицы относительно охлаждающей среды, закон изменения которой теоретически определяется из уравнения:

$$\frac{d}{dt}(m \cdot \vec{u}) = \vec{F},$$

где  $\vec{u}$  — скорость движения частицы;  $m$  — масса частицы;  $\vec{F}$  — вектор результирующей силы, действующей на частицу:  $\vec{F} = F_1 + F_2 + F_3$ . Здесь  $F_1 = \gamma_c \cdot v_b \cdot g$  — архимедова сила;  $F_2 = \gamma_b \cdot v_b \cdot g$  — гравитационная сила;  $F_3 = \gamma_c \cdot u^2 / 2 \cdot \alpha_g \cdot S_b$  — лобовое сопротивление;  $\gamma_b, \gamma_c$  — плотность среды и частицы;  $v_b$  — объем частицы;  $S_b$  — боковая поверхность частицы;  $\alpha_g$  — коэффициент аэродинамического сопротивления.

Установлено, что наибольшее влияние на эксплуатационные характеристики гранул оказывает содержание химических элементов в материале дробы. Например, для изготовления дробы в СЛЦ №2 ГП "МАЗ" применяется производимая в цехе сталь 40 со следующим содержанием элементов: 0,37—0,40% С; 0,45—0,90% Мп; 0,20—0,52% Si (ГОСТ 977—88).

Однако, как видно из рис. 2, для незакаливаемой дробы повышенные эксплуатационные свойства достигаются при содержании углерода ниже 0,1%, а при марочном содержании (0,4%) углерода стойкость гранул снижается до 200 циклов. С точки зрения циклической стойкости максимальное содержание углерода должно составлять 0,15—0,20%.

Аналогичное влияние оказывает и содержание кремния. Высокая стойкость дробы (до 600 циклов) установлена при содержании Si меньше 0,1%. Повышение содержания Si при наличии отклонений по марганцу и хрому снижает циклическую стойкость до 200 циклов.

Максимальная стойкость дробы достигается при содержании 0,1—0,2% марганца. При концентрации Мп более 0,45% стойкость падает до 300—200 циклов.

Содержание хрома 0,05—0,15% при низком содержании С, Мп и Si обеспечивает стойкость до 900 циклов. Увеличение концентрации Cr выше 0,15% приводит к снижению стойкости.

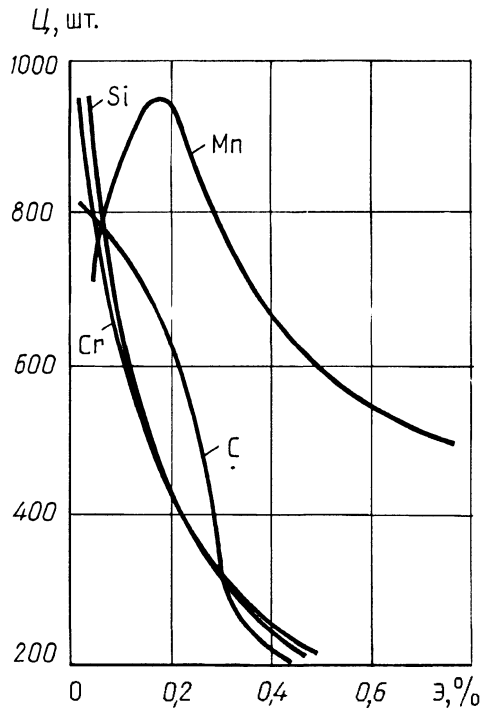


Рис. 2. Влияние концентрации химических элементов стали на циклическую стойкость гранулированных материалов

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

Теоретические и практические исследования показали, что в зависимости от интенсивности охлаждения образующихся гранул на их поверхности при затвердевании могут образовываться закалочные трещины. Они снижают механические характеристики дробы, которые не восстанавливаются при дальнейшем упрочнении, например при термической обработке. Наоборот, при термической обработке первоначальные трещины увеличиваются, что еще больше снижает характеристики.

В результате проведенных исследований был разработан состав охлаждающей жидкости, позволяющий уменьшить интенсивность охлаждения, что достигается путем создания "мягкой" закалочной среды. Однако эксперименты показали, что при содержании углерода 0,6% трещины образуются даже в "мягкой" среде и при температуре 90–95°C. Установлен диапазон изменения температуры гранул, при которой они поступают в агрегат для сушки. Температура их колеблется в пределах 20–60°C, что потребовало корректировки режима их сушки.

Полученные результаты использованы при оптимизации технологии и оборудования для производства кондиционных гранулированных материалов, в том числе создания малогабаритной дробелитейной машины нового поколения мод. 46159 производительностью 200 кг/ч.

#### Литература

1. Волков Д. А., Мельников А. П., Рассудов В. Л. и др. Особенности технологии производства литой дробы гранулятором с вертикальной осью вращения // Литье и металлургия. 1999. № 4. С. 23–24.