

Традиционно периодическую составляющую тока короткого замыкания типового турбогенератора с автоматическим вводом резерва определяли по расчетным кривым. При этом начальное действующее значение этого тока соответствует формуле $I_*'' = 1/X_*$, а установившееся, когда напряжение на выводах генератора восстанавливается до номинального, соответствует формуле $I_{\infty} = 1/X_* - X''$, где X'' – сверхпереходное индуктивное сопротивление генератора. Использование ЭВМ и моделирующей программы *Simulink*, работающей вместе с *Matlab*, позволяет проводить исследования переходных процессов в системах электроснабжения с помощью визуального моделирования.

Рассмотрим структурную схему питания короткого замыкания от генераторов электростанции предприятия, на которой смоделировано однофазное замыкание фазы «А» на землю (рисунок).

В процессе проектирования электроснабжения предприятия или производственного участка необходимо учитывать, что существенное влияние на надежность обеспечения потребителей электроэнергией оказывают однофазные замыкания на землю, составляющие 75–85% всех видов повреждений. Степень такого влияния зависит от режима нейтрали источников питания. В сетях с изолированной нейтралью в результате однофазного замыкания возникают токи обратной последовательности, что может привести к индуктированию в обмотке возбуждения синхронных генераторов токов двойной частоты и к значительному нагреву ротора. Промоделировать и исследовать все возможные ситуации, связанные с замыканиями фазы на землю, также позволяет предлагаемая динамическая модель.

Г. К. Смолин

МГД-ГРАНУЛЯТОР

Известные в научно-технической и патентной литературе и заводской практике методы грануляции металлических расплавов сводятся к механическому дроблению струи металлического расплава, диспергированию центробежными силами, форсуночному распылению потоком газа или жидкости.

Механическое дробление осуществляется в результате удара струи металлического расплава о поверхность крыльчатки, диска, барабана

и т. п. Например, струя металлического расплава чугуна подается на вращающийся диск, разбивается на капли, которые затем охлаждаются, в результате чего получается чугунная дробь. Недостатки этого способа – значительный разброс гранул по размерам, проблема подбора материала вращающегося диска при диспергировании агрессивных металлов, например, алюминия.

Диспергирование центробежными силами осуществляется следующим способом. Дозированная по расходу струя металлического расплава направляется во вращающийся вокруг своей оси полый цилиндр с радиальными отверстиями в цилиндрической стенке для вылета частиц металлического расплава. Частицы металла в процессе свободного полета (невесомости) в бункере формируются в сферические гранулы, охлаждаются и кристаллизуются, причем кристаллизация направлена от периферии к центру. Время полета (размеры бункера) рассчитывается так, что частицы достигают дна бункера уже в твердом состоянии, по крайней мере со стороны поверхности частицы образуется корочка.

Небольшой срок службы цилиндра, выполняемого из графита, из-за разрушения его в зонах отверстий в цилиндрической стенке является главным недостатком этого способа диспергирования металлов, в особенности агрессивных, таких как алюминий, цинк, черные металлы.

Диспергирование потоком энергоносителя (распыливание) применяется в основном в порошковой металлургии для получения мелкодисперсных порошков металлов.

Таким образом, для получения гранул металла размером порядка одного миллиметра используют способ механического дробления струи и центробежный способ.

Магнитогидродинамический (МГД) способ диспергирования металлического расплава основан на расщеплении струи металлического расплава индуцируемыми в расплаве электромагнитными силами. Металлический расплав из металлургической печи поступает в МГД-насос, а из него под напором нагнетается в МГД-диспергатор с переменным во времени пилообразным периодическим магнитным полем. При движении металла в магнитном поле в металле наводятся в соответствии с законом электромагнитной индукции вихревые токи.

Пилообразное поле медленно нарастает до максимума, а затем резко уменьшается до нуля. ЭДС индукции достигает максимума при резком

уменьшении поля. При этом величина вихревых токов также достигает максимума. При взаимодействии вихревых токов с магнитным полем возникает электромагнитная сила,рывающая поток жидкого металла. Величина силы, достаточная для разрыва струи, определяется амплитудой и частотой пилообразного магнитного поля, которые при необходимости можно изменять.

Дроблению способствует пинч-эффект, а также взаимодействие частиц металла с газообразной фазой жидкометаллического потока.

Электромагнитная сила F определяется индукцией магнитного поля B , размером струи металла в МГД-диспергаторе D (диаметром вихря тока) и вихревым током I :

$$F = I B D. \quad (1)$$

Индукцированный в жидком металле вихревой ток определяется выражением

$$I = \frac{1}{R} \frac{d\Phi}{dt} = \frac{1}{R} \frac{S dB}{dt} = \frac{\pi D^2}{4R} \frac{dB}{dt}, \quad (2)$$

где Φ – магнитный поток, связанный с вихрем тока, Вб; S – площадь вихря тока, м²; R – электрическое сопротивление вихревому току, Ом.

Электрическое сопротивление можно оценить как

$$R = \frac{2\pi}{D\sigma}, \quad (3)$$

где σ – удельная электропроводность жидкого металла, См/м.

Подставляя (2) и (3) в (1), получаем выражение для электромагнитной силы разрыва потока жидкого металла

$$F \approx \frac{D^4 \sigma B}{8} \frac{dB}{dt}. \quad (4)$$

При практически используемых значениях

$$\frac{dB}{dt} = 10 \text{ Тл/с},$$

$$\sigma = 10^7 \text{ См/м},$$

$$B = 1 \text{ Тл}.$$

Электромагнитная сила определяется зависимостью (рис. 1):

$$F = 10^7 D^4. \quad (5)$$

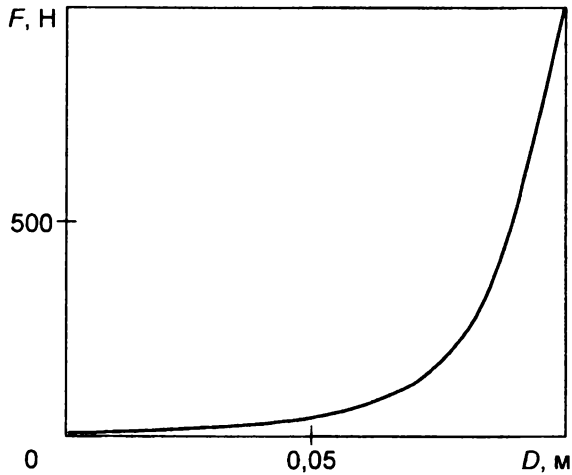


Рис. 1. График зависимости электромагнитной силы от диаметра вихря тока

Из анализа графика следует, что электромагнитные силы при данных значениях частоты, индукции, электрического сопротивления действуют на крупные струи (капли) жидкого металла, стремясь их разорвать, и практически не действуют на мелкие.

Определим порядок значения ускорения при дроблении сферических частиц, при этом предположим, что на металл действуют только электромагнитные силы и силы инерции (другими силами пренебрегаем, упрощая задачу):

$$a \cdot m \frac{\pi}{6} D^3 = \frac{D^4 \sigma}{8} B \frac{dB}{dt},$$

где a – ускорение, м/с²; m – удельная масса, кг/м³; σ – удельная электропроводность, См/м.

Отсюда получаем ускорение

$$a = \frac{3D\sigma B \frac{dB}{dt}}{4\pi m},$$

которое пропорционально размеру частиц металла, удельной электропроводности, индукции, первой производной индукции по времени и обратно пропорционально удельной массе диспергируемого металла.

Построим график зависимости ускорения от размера частиц металла для жидкого алюминия (рис. 2) при принятых выше параметрах индукции, частоты, удельной электропроводимости:

$$a = 5 \cdot 10^3 D.$$

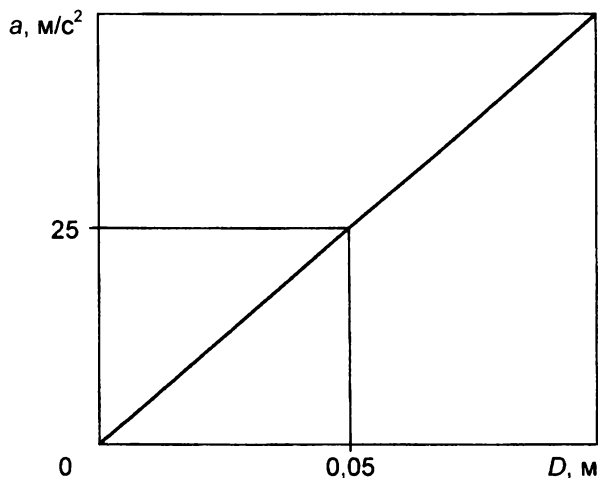


Рис. 2. График зависимости ускорения от размера частиц металла для жидкого алюминия

Из анализа графика следует, что капли размером 1 мм будут разваливаться с ускорением $0,5 \text{ м/с}^2$, но эффект дробления будет действовать значительно более эффективно на крупные образования жидкого металла.

Таким образом, оценочные расчеты показывают, что МГД-гранулятор отвечает принципам диспергирования жидких металлов. Электромаг-

нитные силы эффективно воздействуют на относительно крупные образования жидкого металла, с уменьшением размера частиц эффект дробления уменьшается, а на мелкие частицы силы практически не воздействуют. Если учесть другие силы, например, силы поверхностного натяжения, то, по-видимому, жидкие металлические частицы определенного размера уже не будут дробиться при использовании этого метода, т. е. на выходе диспергатора можно получать гранулы практически одного размера. Другим несомненным преимуществом является то, что частицы образуются без взаимодействия с металлом стенок или других частей диспергатора, а это существенно повышает срок службы установки.

Изменение параметров электромагнитного поля (частоты, индукции, структуры магнитного поля в активной зоне диспергатора) позволит регулировать работу диспергатора, достигать оптимальных режимов для жидких металлов с различными параметрами (температурой, вязкостью, электропроводностью и т. д.), сделать МГД-гранулятор автоматизированным.

МГД-гранулятор может быть применен для изготовления алюминиевой крупки на ферросплавных заводах, металлической дробы и т. п.