

**ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ НАГРУЖЕНИЯ РАСПЛАВА ПРИ ОСЕВОЙ
МАГНИТНО-ИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКЕ**

Магнитно-импульсная обработка (МИО) металлических материалов в твёрдом состоянии достаточно активно используется в промышленности. При этом формализованы процессы взаимодействия электромагнитного поля (ЭМП) с объектом обработки, определены факторы, обеспечивающие задаваемые показатели качества готовых изделий, определены требования к генераторам импульсных токов (ГИТ), разработаны их серии, адаптированные к различным технологическим операциям МИО [1]. Применительно к МИО расплава полученные результаты показывают широкие функциональные возможности этого метода, в частности при осевом расположении индуктора [2 - 4]. Однако, здесь ГИТ практически калькировался из оборудования для МИО твёрдого состояния, а в качестве параметров воздействия принимались запасаемая энергия ГИТ, число импульсов и частота (период) тока. Но этих данных не достаточно для того, чтобы описать временную зависимость импульса разрядного тока в индукторе и далее перейти к решению задачи о параметрах индуцированного в расплаве ЭМП, которое и является сферой влияния на объект обработки, формирующей внутреннее (в расплаве) структурно-кинетические и фазовые изменения (ВСКФИ). В этом случае логично рассмотреть совокупность параметров системы «ГИТ-Индуктор-Расплав». В качестве параметров ГИТ необходимо выбирать ёмкость конденсатора (С), напряжение на его обкладках (U), сопротивление разрядного контура (R) и его индуктивность (L). В качестве параметров индуктора: его геометрию, индуктивность, проводимость материала и величину зазора между индуктором и расплавом. Параметры расплава для решения электродинамической задачи ограничиваются его проводимостью и конфигурацией, для решения гидродинамической задачи добавятся плотность и скорость звука, а также условия на стенках формы. В такой постановке, определив параметры ЭМП, можно показать широкий спектр функциональных возможностей осевой МИО расплава в пределах варьируемых параметров ГИТ, т. к. ЭМП является потребителем энергии ГИТ и генератором ВСКФИ в расплаве.

В данной работе решалась электродинамическая задача. В качестве выходного параметра анализировалось максимальное значение объёмной электромагнитной

силы (F) как ключевого фактора, определяющего процессы нагружения расплава. Рассмотрено жидкое состояние алюминия в идеализованном состоянии цилиндрической формы с разными сочетаниями диаметра ($2r$) и высоты (h). Индуктор выбран спиральным трёхвитковым, зазор (δ) между ним и расплавом анализировался в пределах от 1 до 5 мм.

Расчёт упрощён до моделирования синусоидального тока в индукторе и выполнен в модельных представлениях уравнений Максвелла для квазистационарного ЭМП [5]. Максимальное значение тока $I_0 = U/\sqrt{L/C}$, его период $T = 2\pi \cdot \sqrt{1/LC - R^2/4L^2}$. Задавая параметры ГИТ, анализировали диапазоны: I_0 от 5 до 25 кА, T от 13 до 200 мкс, что соответствует частотам f от 75 до 5 кГц. Решение задачи выполнено методом конечных разностей в программном пакете FEMM, который имеет набор всех функций для требуемого расчёта и (что очень важно) является бесплатным инструментом. Полученные результаты показали, что на величину F наиболее активно влияют значения δ и I_0 , изменяя её в анализируемых пределах больше, чем на порядок. В тоже время величина f (или T) только в полтора раза. Т.о. рационально с точки зрения энергопотребления ГИТ использовать для МИО расплава короткие импульсы за счёт малых значений C при U от 20 до 30 кВ. При этом можно увеличивать частоту следования импульсов, а, значит, их общее количество за время обработки.

Список литературы

1. Батугін Ю. В., Лавінський В. І. Імпульсні магнітні поля для прогресивних технологій. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2001. – Т.1. – 273 с.
2. Черников Д. Г. Исследование влияния обработки расплавов импульсным магнитным полем высокой напряженности на структуру и свойства алюминиево-кремниевых сплавов. Автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук. – Самара. – 2011. – 26 с.
3. Kiran S. Bhole, Kale B. S., Deshmukh P. D., Sonare O. G. Numerical Analysis and Investigation of Aluminum Electromagnetic Metal Forming Process// IJTES. - 2011. – 2(1). – P. 98-102.
4. Черников Д. Г., Глуценков В. А., Никитин В. И., Никитин К. В. Совершенствование способа магнитно-импульсной обработки алюминиевых расплавов// Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2014. – №16(6).
5. Кнопфель Г. Сверхсильные импульсные магнитные поля. – М.: Мир. – 1972. – 382 с.