

ЭНЕРГОЭФФЕКТИВНЫЕ ИНДУКЦИОННЫЕ НАГРЕВАТЕЛИ КУЗНЕЧНЫХ ЗАГОТОВОК

В.И. Лузгин, А.Ю. Петров, С.М. Фаткуллин
("РЭЛТЕК", г. Екатеринбург)
И.Е. Лопатин, А.С. Коптяков
(УрФУ, г. Екатеринбург)

Современные кузнечно-прессовые производства машиностроительной промышленности, как правило, оснащаются установками индукционного нагрева заготовок из сплавов черных и цветных металлов перед обработкой на деформирующем оборудовании. Особенностью работы таких установок является высокая энергонасыщенность, обеспечивающая высокую производительность при заданной точности объемного нагрева. Наиболее важными критериями оценки эффективности работы установок, методического индукционного нагрева являются уровень приведенных затрат на нагрев тонны металла, расход электроэнергии на тонну нагреваемого металла, к.п.д. установки, аксиальный и радиальный перепад температуры заготовок.

При нагреве ферромагнитных заготовок повышение экономических показателей достигается в установках мультizonного разночастотного индукционного нагрева [1], в которых оптимально выбираются режимы работы индукторов в каждой зоне по мощности и частоте тока.

Предприятиями "РЭЛТЕК" (г. Екатеринбург) и "Роботерм" (Чехия) разработана новая серия установок индукционного нагрева кузнечных заготовок, в которых реализуется метод непрерывного трехзонного двухчастотного нагрева ферромагнитных цилиндрических заготовок. Конструктивно установка выполнена с двухуровневой компоновкой. На верхнем уровне размещены три одинаковых по геометрическим параметрам и числу витков индуктора, а также механизмы подачи и съема заготовок. На нижнем уровне размещены блоки компенсации реактивной мощности индукторов, тиристорный преобразователь частоты, построенный по схеме двухэнерго-канального параллельного инвертора тока [2], насосная станция для охлаждения оборудования и микропроцессорная система управления. На рис. 1 представлена конструктивная схема размещения трех индукторов для нагрева заготовок диаметрами 90-150 мм.

Расчет процесса нагрева заготовок разного диаметра производился методом конечных элементов в программном пакете UNIVERSAL 2D [3]. Управление мощностью первого индуктора осуществлялось по первому энергоканалу преобразователя частоты, работающего на частоте 600 Гц, а управление суммарной мощностью параллельно соединенных второго и третьего индуктора производилась по второму энергоканалу преобразователя частоты, работающего на частоте 1000 Гц. При этом обеспечивалась заданная производительность установки 3,8 т/ч. Общая мощность преобразователя составляла 1400 кВт, а мощность по энергоканалам распределялась в процентном отношении.

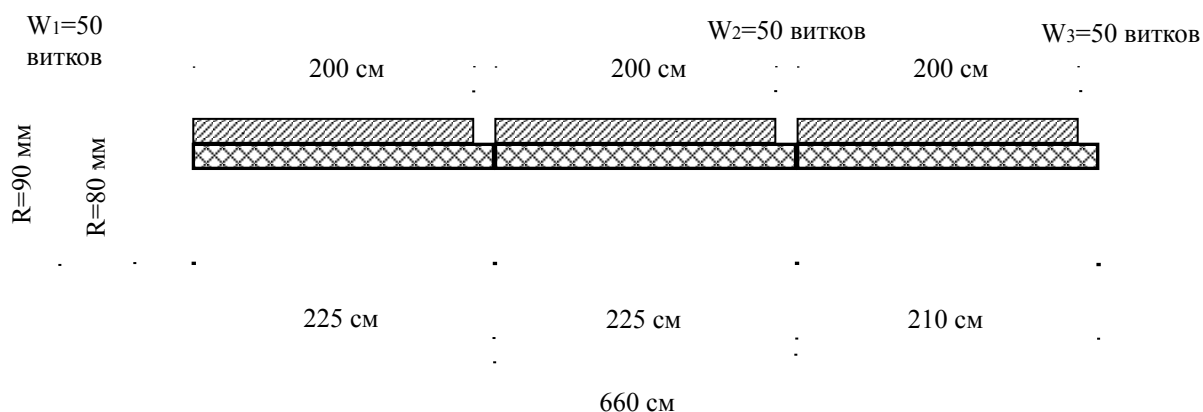


Рис. 1. Индукторы для 3-ехзонного нагрева

Результаты расчета по точности нагрева заготовок $\varnothing 90$ мм и $\varnothing 130$ мм могут быть оценены данными перепада температуры ΔT по радиусу заготовки в зависимости от соотношения мощностей энергоканалов преобразователя частоты, которые приведены в таблице 1.

Таблица 2

Соотношение мощности по энергоканалам преобразователя частоты		40% - 60%	45% - 50%	50%-50%	55% - 45%	60% - 40%
Перепад температуры по радиусу заготовки, ΔT , °C	$\varnothing 90$ мм	59	50,4	39,6	39,1	40,4
	$\varnothing 130$ мм	82	67	53,9	42,9	44,3

По данным таблицы 1 видно, что минимальный перепад температуры ($\Delta T < 50^\circ\text{C}$) по радиусу заготовки при выходе из третьего индуктора достигается при соотношении 50-60 % от общей мощности на первом индукторе. По мере увеличения диаметра заготовки мощность на первом энергоканале необходимо также увеличивать, при этом оптимальное соотношение мощностей соответствует 55% на первом энергоканале и 45% на втором.

При методическом нагреве ферромагнитных заготовок процесс нагрева обусловлен существенной нелинейностью зависимости распределения интенсивности продольного тепловыделения в заготовках, что предопределяет нелинейный характер распределения температуры нагрева поверхности по аксиальной координате. В установках трехзонного нагрева обеспечивается возможность управления нагревом заготовок путем контролируемого распределения мощностей по участкам нагрева, что позволяет создать системы адаптивного многозонного нагрева и обрабатывать возможные возмущения, связанные с изменением скорости движения заготовок, диаметра заготовок, начальной температуры и др.

Система управления многозонным нагревом может быть реализована либо как управление по цифровой модели, либо как управление с использованием

обратной связи по температуре в определенной точке внутри нагревателя (точка визирования). Выбор точки визирования пирометрическим датчиком нагрева поверхности заготовок может быть сделан на основании расчета профилей продольного распределения температуры нагрева поверхности заготовок при разном распределении активной мощности по энергоканалам преобразователя частоты.

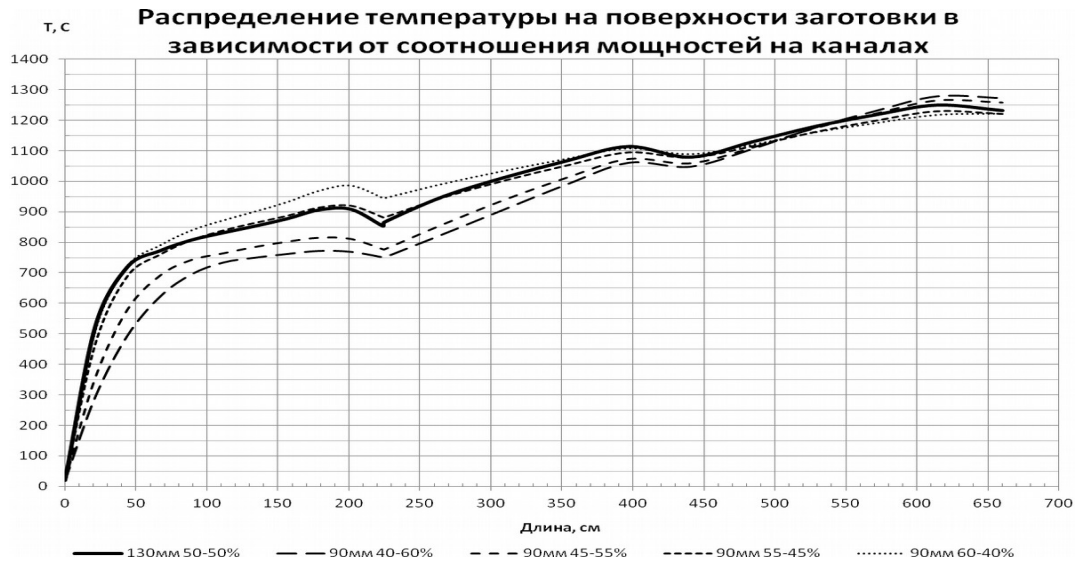


Рис. 2. Распределение температуры поверхности по длине заготовки для частот 600 и 1000 Гц

На рис. 2 приведен график распределения температуры поверхности заготовок по аксиальной координате трехзонного нагревателя для заготовок диаметром 130 мм при распределении мощности 50 % в первом индукторе на частоте 600 Гц и 50% во втором и третьем индукторе на частоте 1000 Гц, а также графики распределения температуры заготовок диаметром 90 мм при различных соотношениях мощности в первом индукторе и суммарной мощности второго и третьего индуктора. По этим графикам видно, что в качестве точки визирования системы управления с обратной отрицательной связью по температуре целесообразно выбрать участок перед входом в третий индуктор. Здесь достигается одинаковая температура при нагреве заготовок $\varnothing 130$ мм и $\varnothing 90$ мм с распределением мощности 55% на первом энергоканале и 45% на втором энергоканале. Этому же соотношению мощностей соответствует, как было показано выше, минимальный перепад температуры по радиусу заготовки на выходе нагревателя.

Таким образом, установка пирометрического датчика на входе третьего индуктора целесообразна для систем управления нагревом с обратной отрицательной связью по температуре непрерывного действия и для систем управления нагревом по модели при настройке ее параметров.

Индукционные нагреватели кузнечных заготовок мощностью 1750 кВт производительностью 3,8 т/ч изготовлены и поставлены в кузнечно-прессовое производство Камского автозавода, где производятся их промышленные испытания.



ЛИТЕРАТУРА

1. Установки индукционного нагрева: Учебное пособие для вузов / А.Е. Слухоцкий, В.С. Немков, Н.А. Павлов, А.В. Бамунер; под ред. А.Е. Слухоцкого –Л. Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние. 1981, -328 с., ил.
2. Патент РФ № 2394400. Преобразовательное устройство для индукционного нагрева и его варианты / Лузгин В.И., Петров А.Ю., Черных И.В. и др. Опубликовано 10.07.2010 г. Бюл. № 19.
3. Модульные индукционные установки в кузнечном производстве / Демидович В.Б., Оленин В.А., Григорьев Е.А., Ситко П.А. // Индукционный нагрев. -2013, -выпуск № 4(26). С. 9-12.