

ЭЛЕКТРОПЕЧЬ ВАКУУМНАЯ – ЗАКАЛКА ГАЗОВАЯ

Растущий интерес к газовой закалке объясняется эксплуатационными и экологическими преимуществами этой технологии, по сравнению с традиционной масляной закалкой. Детали, прошедшие газовую закалку, чисты и не требуют последующих доводочных операций. Кроме того, использование азота, аргона или гелия в качестве закалочной среды избавляет от необходимости в системах противопожарной безопасности.

Annotation *The growing interest in gas quenching is due to operational and environmental advantages of this techniques, as compared to conventional oil quenching. The parts undergone the gas quenching are clean and do not require sub segment finishing operations. Furthermore, use of nitrogen, argon or helium as a quench medium eliminates the need for fire protection systems.*

С точки зрения технических характеристик, скорость охлаждения в ходе масляной закалки меняется на несколько порядков в зависимости от температуры за счет одновременного теплоотвода по следующим механизмам: парообразование, кипение и конвекция. Все это приводит к возникновению значительных термодиаградиентов в закаливаемых деталях. В случае газовой закалки имеет место лишь конвекционный теплоотвод во всем диапазоне температур, поэтому скорость охлаждения в значительно меньшей степени зависит от температуры. Пониженные термодиаградиенты, а следовательно, более однородная скорость охлаждения приводит к снижению уровня искажений в закаливаемых деталях. Это преимущество особенно важно в массовом производстве, например, в автомобильной промышленности, поскольку расходы на окончательную доводку и отделку можно либо существенно сократить, либо вообще избежать их. Другое преимущество газовой закалки – возможность в широких пределах варьировать скорость охлаждения, за счет регулировки давления и скорости газа. Все это обеспечило триумф газовой закалки в практике вакуумной термической обработки.

Преимущества.

Газовая закалка в вакуумных электропечах обладает рядом преимуществ, по сравнению с общепринятыми системами закалки в жидких охлаждающих средах:

- Гибкое изменение скоростей охлаждения, даже в пределах одного цикла. Газовая закалка обеспечивает полное упрочнение многих сталей, которые ранее калились в масле. В случае закалки в жидкостях, когда скорость охлаждения фиксирована, требуются системы из нескольких



Рис. 1. Вакуумная элеваторная электропечь модели СЭВЭ-5.5/13-ИЗГ-НИТТИН. Буквенно-цифровое обозначение: С – нагрев сопротивлением; Э – конструктивный признак – элеваторная; В – среда в рабочем пространстве (вакуум); Э – тип теплоизоляции – экранно-вакуумная; 5 – диаметр рабочего пространства, дм; 5 – высота рабочего пространства, дм; 13 – номинальная температура, сотни °С; И – исполнение; ИЗГ – охлаждение садки в газе; НИТТИН – торговая марка.

ванн.

- Можно осуществлять микропроцессорный контроль и создавать направленный газовый поток для обеспечения однородности охлаждения.

- Возможность более тщательного контроля скоростей разогрева и закалки, что обеспечивает повышение производительности и сведение к минимуму деформаций деталей.

- Детали, прошедшие газовую закалку, имеют неокисленную, светлую поверхность.

- Вакуумные электропечи не имеют выхлопов, содержащих токсичные или воспламеняющиеся газы, что обеспечивает их повышенную

пожарную и экологическую безопасность по сравнению с закалкой в жидкости в обычной атмосферной электропечи.

Упрочнение газовой закалкой

Закалка инертными газами при давлении 2-20 бар – наиболее популярная разновидность закалки в вакуумных печах. В процессе газовой закалки размерные изменения серийных деталей все же не такие, как в процессах масляной закалки. Актуальная проблема газовой закалки – подбор закалочного давления. Т.е., использование только оптимального по величине давления обеспечивает требуемую закалку деталей.



Рис. 2. Вакуумная элеваторная электропечь сопротивления модели СЭВГ-3.3/13-ИЗГ-НИТТИН

Недавние достижения материаловедения и конструкции закалочного оборудования (переменные потоки газа, лопатки переменного направления, приводы с переменными скоростями) обеспечивают такую возможность. Поэтому газовая закалка в настоящее время используется для достижения предельной твердости практических всех марок сталей, традиционно закаливаемых в масле.

Критический интервал превращений для большинства сталей находится в пределах 500-800°C. Время, необходимое для прохождения этого температурного интервала, в настоящее время достижимо для многих марок сталей. Охлаждение в аргоне обеспечивает наименьшую теплопередачу от деталей садки газу. После аргона в ряду закалочных охлаждающих газов следует азот, затем гелий и, наконец, водород. Все эти инертные газы снискали популярность при газовой закалке, но наиболее привлекательным является азот, только из экономических соображений. Пределу повышения скорости охлаждения за счет давления и скорости газа, теоретически, не существует. Однако на практике системы с чрезвычайно высокими давлениями и скоростями газа являются сложными и дорогостоящими.

Скорость охлаждения регулируется изменением скорости газового потока и давления, что обеспечивает закалку не только обширного спектра марок сталей, но и деталей сложной формы, а также большого

или переменного поперечного сечения. Влияние массы садки на результирующую скорость охлаждения более ярко выражено в ходе газовой закалки, чем при закалке в жидкости. Максимальное поперечное сечение закаливаемых деталей является предметом особого рассмотрения.

Инструментальные стали.

Для большинства инструментальных сталей требуемые характеристики конечных продуктов, такие как твердость поверхности, механические и микроструктурные свойства (размеры карбидов и их распределение), вполне можно получить газовой закалкой в вакуумной электропечи, что не удавалось добиваться другими методами термообработки, например, в соляных ваннах или в ходе закалки в печах с атмосферной средой. Главное преимущество вакуумных электропечей заключается в отсутствии науглераживания / обезуглероживания деталей в ходе термообработки, при этом достигаются требуемые характеристики деталей.

В целом, газовая закалка деталей из инструментальных сталей в вакуумных электропечах во многом аналогична закалке в воздушной атмосфере. Детали сначала подвергаются предварительному разогреву, затем разогреву до температуры аустенизации и охлаждению с умеренной скоростью. Среднелегированные стали, ранее упрочняемые «на воздухе», а также высокоуглеродистые и высокохромистые стали теперь

упрочняются в вакуумных электропечах с газовой закалкой при давлении азота до 6 бар (атм.).

Для термообработки инструментальных сталей используется низкий вакуум, 1×10^{-1} – 1 торр. Такой вакуум требуется, главным образом, по причине относительно высоких давлений паров легкоиспаряемых легирующих стали элементов.

В настоящее время на предприятиях, использующих современные методы термообработки, многие марки обрабатываемых быстрорежущих сталей калятся в газобразном азоте при давлении 10 бар.

Во многих случаях, для минимизации искажений и деформаций, вводится дополнительная стадия – изотермическая выдержка. Сообщалось, что методами газовой закалки достигаются скорости закалки 40-70°C/мин, что вполне подходит для широкого спектра сталей различного применения. Более высокие скорости охлаждения повышают долговечность деталей и улучшают характеристики закаливаемых сталей.

Поскольку масляная закалка позволяет достигать скоростей охлаждения порядка 150°C, в минуту.

Мартенситные нержавеющие стали.

Все марки мартенситных нержавеющих сталей обрабатывают в вакуумных печах при одинаковых температурах аустенизации, исходя из тех же соображений, что и в печах с атмосферной средой. Поскольку температуры аустенизации таких сталей, как правило, не превышают 1100°C, зачастую используется средний вакуум порядка 10^{-3} торр-диапазона, что обеспечивает получение чистых и светлых поверхностей деталей. Во избежание испарения ряда легирующих элементов, процессы термообработки допустимо также проводить и в вакууме 10^{-1} - 10^{-3} торр, но с некоторым ущербом для качества поверхности. Из-за различий в упрочняемости мартенситных нержавеющих сталей имеются определенные ограничения по максимальным размерам поперечных сечений деталей, которые можно полностью упрочнить закалкой в циркулирующем газобразном азоте. Можно использовать и другие типы закалочных газов, но при этом необходимо тщательно учитывать экономические аспекты. Предельные размеры поперечных сечений деталей, подвергающихся закалке, определяются типом охлаждающих систем и специфическими особен-

Наименование параметра	Модели современных вакуумных электропечей		
	СЭВЭ-3.3/13-ИЗГ-НИТТИН	СЭВЭ-5.5/13-ИЗГ-НИТТИН	СЭВГ-3.3/13-ИЗГ-НИТТИН
Максимальная температура, °С	1300	1300	1300
Предельное остаточное давление (после дегазации), Па (мм. рт. ст.)	$1,33 \cdot 10^{-3}$ ($1 \cdot 10^{-5}$)	$1,33 \cdot 10^{-3}$ ($1 \cdot 10^{-5}$)	$9 \cdot 10^{-1}$ ($7 \cdot 10^{-3}$)
Габариты рабочей камеры, диаметр* высота, мм	300*300	500*500	300*300
Среда в рабочем пространстве: - при нагреве и выдержке; - при охлаждении	вакуум / газ	вакуум / газ	вакуум/ газ
Габаритные размеры электропечи, мм			
ширина	3350	5000	3500
длина	2875	5500	6700
высота	2960	4670	3900
Установленная мощность, кВт, не более	35	150	80
в т.ч. нагревателей камеры, не более	22	140	45
Расход охлаждающей воды, м ³ /ч, не более	2,5	8,5	2...13,5
Масса Печи, кг, не более	4300	5500	7400
Масса садки, кг, не более	50	200	50
Равномерность температуры в рабочем пространстве в установленном режиме в пределах температур 500–1300°С, не более	±10		
Время транспортировки из зоны нагрева в зону охлаждения, с	8		
Количество независимых зон нагрева	1		
Время вакуумирования, мин, не более	45		

ностями используемых вакуумных электропечей.

Вакуумные электропечи

Для закалки в инертном газе используется широкая гамма вакуумных электропечей с вертикальной или горизонтальной загрузкой зарубежного производства. Параметры охлаждения в таких электропечах зависят от целого ряда факторов. Например, типа закалочного газа. Гелий при сопоставимых параметрах охлаждает в два раза быстрее, чем аргон.

Необходимо отметить, что переход от одного охлаждающего газа к другому требует замены вентилятора газодувки внутри вакуумной печи для поддержания постоянной мощности охлаждения / теплоотвода.

Характеристики системы охлаждения также непосредственно определяются особенностями конструкции печи. Здесь есть ряд направлений усовершенствования: беспрепятственность потока газа через печь и садку, эффективность водоохлаждаемого теплообменника, размеры печи. При неизменности прочих факторов относительная эффективность охлаждения возрастает с уменьшением размеров рабочего пространства вакуумной электропечи.

Отечественной промышленностью освоены элеваторные вакуумные электропечи моделей СЭВЭ-3.3/13-ИЗГ-НИТТИН и СЭВЭ-5.5/13-

ИЗГ-НИТТИН (Рис. 1), а также СЭВГ-3.3/13-ИЗГ-НИТТИН и СЭВГ-5.5/13-ИЗГ-НИТТИН.

Вакуумная элеваторная электропечь сопротивления модели СЭВГ-3.3/13-ИЗГ-НИТТИН (Рис. 2) предназначена для закалки мелкого инструмента (с максимальным диаметром или толщиной менее 100 мм) из различных марок быстрорежущих (Р18, Р9, Р6М5, Р6М5Ф3, Р5М5К5 и др.) и высоколегированных сталей в потоке охлаждающего газа (азот или аргон) при давлениях меньше 0,17 МПа.

В зоне ускоренного охлаждения располагается газовый спрейер. К зоне ускоренного охлаждения пристыковывается наружная система циркуляции газа (показана на рис. 2), которая оборудована мощной газодувкой и теплообменниками для охлаждения охлаждающего газа.

Что впереди? (Тенденции и перспективы)

Углубленное понимание и использование основ теплопереноса приведет к дальнейшему усовершенствованию технологий газовой закалки. Теоретически, не существует предела увеличения скорости охлаждения за счет циркуляции и давления газа. Однако заманчивость создания сверхскоростных систем закалки неизбежно наталкивается на экономические ограничения и технические сложности. В будущем давление охлаждающих газов при

закалке превысит 20 бар, но такое усложнение рано или поздно столкнется с вопросом целесообразности.

Аргоно-гелиевые или азото-гелиевые охлаждающие смеси становятся популярными для все более расширяющегося круга применений, и, по всей видимости, эта тенденция сохранится. Разработка и коммерческое освоение относительно недорогих систем выделения гелия из воздуха существенно повысит масштабы его использования.

Увеличение мощности систем газового охлаждения, по-видимому, не будет играть существенной роли в повышении скорости охлаждения, поскольку большая часть производителей вакуумных печей уже сейчас освоили чрезвычайно крупногабаритные системы. Большие размеры и энергозатраты также говорят не в пользу использования крупногабаритных газодувок.

Однако непрерывное конструкторское новаторство таит в себе большие возможности существенного улучшения характеристик газовой закалки. Изучаются новые подходы к оптимизации газовых потоков и теплопереноса с целью повышения скорости охлаждения и достижения максимальной однородности при газовой закалке в вакуумных электропечах.