

ных условиях для обработки инструмента паром можно использовать шахтную электропечь, оборудованную сварным муфелем и перфорированным змеевиком, или в специальные установки (рис. 27). При обработке паром инструмент в зависимости от конфигурации укладывают на стелжи или подвешивают. В результате отпуска, осуществляющегося при обработке инструмента паром, в металле уменьшаются напряжения, образующиеся при шлифовании. Стойкость инструмента, обработанного паром, возрастает в среднем в 1,5 раза; значительно повышается его коррозионная стойкость.

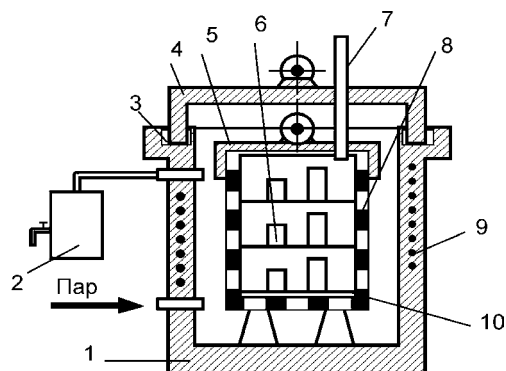


Рис. 27. Схема установки для обработки деталей в атмосфере пара:
 1 – электропечь; 2 – водяной конденсатор; 3 – песочный затвор;
 4 – крышка печи; 5 – крышка сварного муфеля; 6 – детали;
 7 и 9 – термопары; 8 – сварной муфель с отверстиями; 10 – сетка

Интенсификация процессов диффузионного насыщения

Интенсифицировать процессы диффузионного насыщения металлов, в том числе увеличить толщину карбидных покрытий, снизить температуру и время их формирования, можно, нанося на упрочняемую поверхность изделия химическим путем никель-фосфорное или кобальтофосфорное покрытие [а. с. 578363 (СССР)]. После этого нагревают обрабатываемые изделия при температуре 800-1000 °С в течение 1-6 ч в порошковых насыщающих средах. Способ позволяет получить карбидные слои толщиной до 70-80 мкм. Например, при предварительном нанесении никель-фосфорного или кобальтофосфорного покрытия и последующем диффузионном насыщении стали 45 в смеси состава, % (мас. доля): Al_2O_3 38; Al 12;

Cr_2O_3 48; Mn_4C 2 (хромоалитирование) скорость насыщения и толщина слоя в зависимости от температуры насыщения изменяются (табл. 48).

Скорость диффузионного насыщения карбидами, нитридами, боридами и иными сложными соединениями можно увеличить активным перемешиванием насыщающей среды с помощью ультразвука, пульсирующих потоков инертных газов или газов, содержащих активные вещества, присутствующие в рабочем составе насыщающей смеси или способствующие их возникновению в процессе реакции.

В соответствии с пат. 2416272 (Франция) (метод диффузионной поверхностной обработки металлических деталей в ванне расплавленных солей) в ванну с расплавом солей погружают полностью или частично обрабатываемую металлическую деталь. Через перфорированные трубы или пористую керамику со дна ванны

48. Характеристики процесса диффузионного насыщения стали 45 с предварительно нанесенным химическим покрытием

Предварительное нанесение покрытия	Режим обработки		Толщина слоя, мкм
	Температура, °С	Время насыщения, ч	
Никель-фосфорного	800	6	30-35
	950	6	70-80
	950	0,5	25-30
Кобальтофосфорного	800	6	25-30
	950	0,5	20-25

подается смесь горячих газов (образующих в жидкой соли мелкие пузырьки), активирующая процесс диффузионного насыщения поверхностного слоя детали. В зависимости от вида химико-термической обработки (ХТО) – цементации, азотирования, сульфидирования или борирования – в состав активирующих газов могут входить оксид углерода, метан, пропан и другие углеводороды; азот или преимущественно аммиак, а также смесь аммиака с углеводородами; сероводород или хлористая сера; треххлористый бор. В качестве газов-носителей активного вещества в смесях могут быть использованы инертные или активные газы – азот, аргон, водород или гелий. Из примеров, приведенных в описании к патенту, следует, что метод обеспечивает получение за 2 ч обработки толщину цементованного слоя, равную 0,8 мм, нитроцементованного 0,6-0,7 мм (твердость 700 HV), борированного 20-40 мкм (твердость 1500 HV). Метод ускоряет процесс химико-термической обработки и повышает стабильность качества упрочненного слоя деталей.

Для интенсификации процесса диффузионного насыщения, создания равномерного покрытия при парогазовом насыщении металлических изделий и уменьшения расхода насыщающих веществ на парогазовую смесь дополнительно воздействуют ультразвуковыми колебаниями резонансной частоты, подаваемыми на экран, который предварительно вводят в застойную зону контейнера [а. с. 588259 (СССР)]. Наличие “озвученного” экрана интенсифицирует движение активной парогазовой смеси и соответственно ее взаимодействие с поверхностью детали.

Классификация методов получения покрытий с использованием представлений термодинамики необратимых процессов

К.т.н. В.В. Тарантой предлагается классификация методов нанесения покрытий, которая позволяет на основе оценочного подхода обобщить и оптимизировать их выбор.

Эффективность и надежность работы современных транспортных средств во многом определяется технологией упрочнения рабочих поверхностей при их изготовлении и восстановлении. В подавляющем большинстве случаев в основе упрочнения лежат процессы переноса вещества на поверхность детали из какого-либо источника. Вполне очевидно, что они относятся к категории необратимых процессов, обеспечивающих направленный поток материала с целью достижения заданных размеров, формы и свойств поверхности. Важная роль в упрочнении принадлежит химико-термической обработке (ХТО).

Известные в настоящее время классификации методов химико-термической обработки в качестве основного признака используют число насыщающих элементов (одно-, двух- и более компонентная ХТО), их химическую природу (цементация, азотирование и т.п.), фазовый состав насыщающей среды (из твердой, жидкой или газообразной фазы) и прочие параметры процессов. Общий термодинамический подход применяется очень ограниченно – лишь для оценки вероятности протекания того или иного химического процесса на поверхности насыщаемой детали – и совершенно не отражает технологии его реализации.

В то же время термодинамика достаточно эффективно используется при прогнозировании поведения уже нанесенных покрытий непосредственно в эксплуатации: при изнашивании, окислении и т.п. Таким образом, между принятием решения о нанесении покрытия и его эксплуатацией существует неоправданный логический провал, затрудняющий оценку как самого покрытия в целом, так и целесообразности применения данной технологии его получения.

В основу предлагаемой классификации (табл. 49) процессов нанесения покрытий положено число градиентов (сил), которые прямо или косвенно создают направленные на упрочняемую поверхность потоки вещества. Таким образом, следует различать методы нанесения покрытий с использованием одного, двух, трех и т.д. градиентов (сил). При этом интенсивность потока будет определяться числом действующих сил, их величиной и значениями феноменологических коэффициентов, а соответствующее дифференциальное уравнение указывает на имеющиеся пути управления процессом.

Вполне очевидно, что при наложении нескольких полей увеличивается гибкость в управлении потоком наносимого вещества и становится возможной не только интенсификация процесса нанесения покрытия, но и получение каких-либо новых свойств воспринимающего поток объекта. При совпадении обоих этих направлений эффективность процесса оказывается наибольшей, при отсутствии – приходится искать компромисс.

Рассмотрим изложенный принцип применительно к процессам химико-термической обработки (табл. 49). При наличии только одной термодинамической силы – градиента химического потенциала, – приведенное уравнение (1) известно как закон Фика:

$$J_D = L_{DD} \frac{\partial \mu}{\partial x},$$

где J_D – диффузионный поток, вызванный градиентом концентрации химического вещества; L_{DD} – феноменологический коэффициент диффузии.

При термо- и электродиффузии, когда действуют уже две силы, зависимость усложняется и приобретает соответственно вид:

$$J_{D(\mu,T)} = L_{DD} \frac{\partial \mu}{\partial x} + L_{DQ} \frac{\partial T}{\partial x}; \quad J_{D(\mu,U)} = L_{DD} \frac{\partial \mu}{\partial x} + L_{DE} \frac{\partial T}{\partial x},$$

где $J_{D(\mu,T)}$ и $J_{D(\mu,U)}$ – потоки вещества, вызванные термо- и электродиффузией; L_{DD} и L_{DQ} – коэффициенты взаимности Онзагера, отражающие влияние градиента температуры или электрического потенциала на диффузионный поток вещества.

49. Классификация способов химико-термической обработки по числу используемых в процессе насыщения градиентов (сил)

Число сил	Способ ХТО	Создаваемые градиенты	Средства управления градиентом	Примеры практического использования
Одна	В порошках		Состав порошковой смеси	Цементация стали, силицирование ниобия
	В расплавах металла или соли		Состав ванны	Хромирование и цементация стали
	В вакууме (однозонный)		Состав засыпки	Силицирование молибдена, хромирование стали
	В газовой среде		Состав газа	Цементация и хромирование стали
Две	Из образков с нагревом ТВЧ	$\frac{\partial \mu}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial x}$	Состав обмазки, скорость нагрева	То же
	В газовой среде (двухзонный)		Состав газа (засыпки). Разность температур	Силицирование молибдена и ниобия
	Электролизом расплавов солей	$\frac{\partial \mu}{\partial x}, \frac{\partial U}{\partial x}$	Состав ванны, плотность тока	Борирование стали
Три	В тлеющем разряде	$\frac{\partial \mu}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial U}{\partial x}$	Состав порошковой смеси, разность температур образца и порошковой смеси, плотность тока (удельная мощность)	Азотирование стали, силицирование молибдена и ниобия
	Газовый циркуляционный	$\frac{\partial \mu}{\partial x}, \frac{\partial T}{\partial x}, \frac{\partial p}{\partial x}$	Состав порошковой смеси, разность температур образца и порошковой смеси, скорость продувки газа	Силицирование молибдена, хромирование стали и молибдена

Примечание: Для всех перечисленных способов насыщения к числу средств управления градиентами относятся также температура и длительность процессов.

Если в системе идет термоэлектродиффузия (ХТО в тлеющем разряде), то диффузионный поток вещества можно выразить обобщенной формулой, представляющей собой математическую модель процесса переноса вещества на насыщаемую поверхность:

$$J_D = L_{DD} \frac{\partial \mu}{\partial x} + L_{DQ} \frac{\partial T}{\partial x} + L_{DE} \frac{\partial U}{\partial x}.$$

Принципиально важным является то обстоятельство, что в такой системе, наряду с диффузионным потоком насыщающего элемента, в соответствии с принципом Онзагера возникают также потоки теплоты J_Q и электричества J_E . Первый экспериментально обнаружить трудно, т.к. он сливается с теплотой, под-

водимой извне или выделившейся при химических реакциях. Наличие же потока электричества было четко зафиксировано. Поэтому система с тремя термодинамическими силами в целом должна описываться следующей системой уравнений:

$$\begin{aligned} J_D &= L_{DD} \frac{\partial \mu}{\partial x} + L_{DQ} \frac{\partial T}{\partial x} + L_{DE} \frac{\partial U}{\partial x}; \\ J_Q &= L_{QD} \frac{\partial \mu}{\partial x} + L_{QQ} \frac{\partial T}{\partial x} + L_{QE} \frac{\partial U}{\partial x}; \\ J_E &= L_{ED} \frac{\partial \mu}{\partial x} + L_{EQ} \frac{\partial T}{\partial x} + L_{EE} \frac{\partial U}{\partial x}. \end{aligned}$$

Появление дополнительных сил, например, градиента давления, $\frac{\partial p}{\partial x}$ приведет

к появлению новых слагаемых в уравнении потока вещества и соответствующему изменению числа и структуры всех уравнений, описывающих потоки в системе.

Для решения получаемых таким образом систем уравнений необходимо знание законов распределения в исследуемой области химического и электрического потенциалов, температуры и др., а также численных значений феноменологических коэффициентов. Ограничения, налагаемые на них в соответствии со вторым законом термодинамики, позволяют найти их путем “изоляции”, т.е. устранения всех термодинамических сил, кроме той, коэффициент при которой определяется в настоящее время. Реально этого можно достичь разработкой и созданием соответствующих экспериментальных установок.

Таким образом, предлагаемый принцип классификации методов нанесения покрытий с использованием градиентов действующих полей позволяет ликвидировать отмеченный выше разрыв в использовании термодинамики, создать математическую модель конкретного процесса переноса вещества на насыщаемую поверхность и определить пути его оптимизации. Данный подход приемлем, по-видимому, не только для ХТО, но и для других методов: наплавки, осаждения гальванических покрытий и т. п.

Пример. Для получения равномерного покрытия на деталях сложной геометрической формы, изготовленных из стали 45, экран помещают в застойной зоне негерметичного контейнера. Над деталью устанавливают пластинчатый экран. С помощью трансформатора скорости ультразвуковые волны направляют на экран и вызывают его колебания. Контейнер помещают в печь, предварительно разогретую до температуры 1000 °С. Процесс диффузионного насыщения проводят в течение 3 ч. Рентгенографические и спектральные исследования показывают наличие равномерного распределения насыщающего элемента по всей поверхности детали. Металлографические исследования определяют наличие равномерного диффузионного слоя (420-360 мкм), отличающегося однородностью по всей поверхности детали.

Обработка этим методом позволяет без существенных затрат повысить равномерность покрытий при химико-термической обработке деталей и использовать преимущество парогазового насыщения (высокая чистота обрабатываемой поверхности, неизменность размеров деталей) для обработки крупногабаритных деталей в контейнерах с большими градиентами состояния активной смеси. Ме-

тод диффузионной обработки деталей позволяет экономить ресурсы, дает возможность заменить дорогостоящие сплавы, расходуемые для изготовления деталей.

Сокращение времени обработки и повышение стабильности свойств при диффузионном насыщении металла может быть также достигнуто переменным пульсирующим давлением, создаваемым струей насыщающего газа, нагретого до температуры обработки и подаваемого в рабочую зону с частотой, пропорциональной отношению температуропроводности материала в глубине насыщаемого слоя [а. с. 815078 (СССР)].

Этот способ обеспечивает создание условий для максимального контакта и высокую скорость реакции при взаимодействии насыщающего элемента с поверхностным слоем изделия. В результате происходит ускорение диффузионных процессов в поверхностном слое металла за счет термоциклирования и приложения переменного пульсирующего давления насыщенного газа.