

- **Металлизационные.** Покрытия наносят путем распыления струей воздуха или горячего газа расплавленных частиц цинка. В зависимости от способа напыления используют цинковую проволоку (пруток) или порошок цинка. В промышленности используют газопламенное напыление и электродуговую металлизацию.

- **Цинконаполненные.** Эти покрытия представляют собой композиции, состоящие из связующего и цинкового порошка. В качестве связующих используют различные синтетические смолы (эпоксидные, фенольные, полиуретановые и др.), лаки, краски, полимеры.

- **Комбинированные.** Покрытия данного типа представляют собой комбинацию цинкового покрытия любого вида с лакокрасочным либо полимерным. В мировой практике такие покрытия известны как «дуплекс-системы». В таких покрытиях сочетается электрохимический защитный эффект цинкового покрытия с гидроизолирующим защитным эффектом лакокрасочного или полимерного.

В таблице 1. приведены наименования деталей и возможность обработки их различными видами цинкования.

Таблица 1 – Сравнительный анализ применения различных видов цинкования к различным видам изделий

Наименование изделий	Горячее цинкование	Электролитический	Металлизация	ТДЦ	Цинконаполненные
Полосовой прокат	+	+	+	-	+
Трубы	+	+	+	+	+
Проволка	+	+	-	-	х
Сборные металлоконструкции	+	-	+	-	+
Мелкие детали	+	+	х	+	х

+ – технология применяется, - – применяется, х – применяется ограниченно.

Единого метода цинкования подходящего под все детали не существует, всё зависит от формы детали, а также допустимой температуры нагрева изделия. Рациональный выбор технологии позволяет сэкономить ресурсы.

УДК 621.785.54

Лазерная закалка

Студенты гр. 104210 Коротков А.С., Кривальцевич А.С.
 Научный руководитель Вейник В.А.
 Белорусский национальный технический университет
 г. Минск

Лазерная закалка металлов и сплавов лазерным излучением основана на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем охлаждении этого поверхностного участка со сверхкритической скоростью в результате отвода теплоты во внутренние слои металла.

При этом время нагрева и время охлаждения незначительны, практически отсутствует выдержка при температуре нагрева. Эти условия обеспечивают высокие скорости нагрева и охлаждения обрабатываемых поверхностных участков. Вследствие указанных особенностей формирования получают тонкую кристаллическую структуру.

Технология лазерной закалки полностью автоматизирована и позволяет упрочнить плоские, цилиндрические поверхности, а также детали со сложной геометрией (режущий инструмент, пресс-формы, штампы и т.д.). Чтобы закалить заготовку, лазерный луч нагревает

внешние слои до температуры аустенитного превращения со скоростью около 730 °С в секунду. Это приводит к гомогенизации металла и росту аустенита. В зависимости от материала, температура аустенитного превращения приблизительно равна 900...1400 °С и сохраняется 3-10 сек. После того, как заданная температура достигнута, лазерный луч перемещают по контуру обрабатываемой поверхности, после прекращения действия излучения участок охлаждается за счёт отвода теплоты во внутренние слои металла: происходит самоохлаждение. Быстрое охлаждение создает очень твёрдую мартенситную структуру. Технология лазерной закалки является экологически чистой, так как не требует использования дополнительной охлаждающей среды, такой как вода, масло или сжатый воздух.

Полученная прочность соответствует верхнему пределу мартенситного превращения, глубина проникновения зависит от типа материала и составляет от 0,1 до 0,2 мм, при твердости с 35 до 68 HRC (в зависимости от химического состава).

Основной целью лазерного термоупрочнения сталей, чугунов и цветных сплавов является повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения. В результате лазерной закалки достигаются высокая твердость поверхности, высокая дисперсность структуры, уменьшение коэффициента трения, увеличение несущей способности поверхностных слоев, минимальная деформация поверхности, сохранение в центре детали высокой пластичности, требуется минимальная (или даже иногда не требуется) механическая обработка и другие параметры. Заметно увеличивается износостойкость чугунов и алюминиевых сплавов в условиях трения скольжения после обработки непрерывным лазером. Повышение износостойкости чугунов после лазерной обработки обусловлено не только соответствующим структурным и фазовым составом, но и улучшением условий трения благодаря сохранившемуся в зоне лазерного воздействия графиту. Также повышается износостойкость сталей и некоторых других сплавов при трении в щелочной и кислой средах.

Режимы лазерной закалки

Для упрочнения инструментов применяется лазерная закалка импульсным излучением. Эффективна обработка боковых поверхностей вырубных пуансонов, так как в этом случае упрочненный слой сохраняется после многократных переточек. Стойкость пуансонов возрастает в 2,5 раза.

Более высокая производительность закалки обеспечивается лазерами непрерывного излучения при перемещении обрабатываемой детали относительно луча с постоянной скоростью. При этом на детали формируются закаленные поверхностные участки в виде полосы шириной от 1 до 10 мм. Максимальная глубина упрочнения при закалке сталей и чугунов без оплавления достигает 2,0 мм. При обработке с оплавлением это значение возрастает, но при этом ухудшается качество поверхности.

Закалка непрерывным лазером обеспечивает большую равномерность упрочнения поверхности по сравнению с импульсным воздействием, так как по длине упрочненной полосы твердость распределяется равномерно. При обработке больших поверхностей упрочненные полосы накладывают с перекрытием. В ряде случаев для обеспечения износостойкости поверхности целесообразно накладывать полосы на некотором расстоянии друг от друга без перекрытия.

Последующее выравнивание свойств упрочненной полосы и увеличение ее ширины до 20 мм достигается сканированием лазерного луча в поперечном направлении по отношению к перемещению обрабатываемой детали. При высокой частоте сканирования (200 Гц и более) обеспечивается равномерное воздействие лазерного излучения по ширине обрабатываемого участка.

Внедрение технологии лазерной обработки обеспечит России и Беларуси экономию ресурсов в размере 100 млрд. рублей.

Широкое распространение лазерной обработки материалов приведет к повышению износостойкости, увеличению срока службы техники. По экспертной оценке, внедрение этой технологии в масштабах Союзного государства России и Беларуси позволит уменьшить по-

требность в запасных частях, потери времени и затраты на ремонт оборудования, повысить общую производительность труда, а также обеспечит экономию ресурсов не менее чем на 100 млрд. рублей за небольшой промежуток времени.

УДК 621.785

Химико-термическая обработки конструкционных сталей

Студенты гр. 104210 Кривальцевич С.А., Коротков А.С.
Научный руководитель Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Изобретение относится к области металлургии, в частности к способам химико-термической обработки деталей из конструкционных теплопрочных сталей, зубчатых колес, валов, пар трения и других деталей, работоспособных при нагреве в зоне контакта до 500°C.

Способ химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, состоящий из цементации при 900-920°C, отпуска при 650°C в течение 5 часов, закалки с температуры 780-900°C в масле, обработки холодом -70°C в течение 2 часов, отпуска при 160-350°C. При этом твердость цементованного слоя составляет 58-60 HRC.

Уменьшается концентрация углерода в мартенсите при низкотемпературном отпуске, что приводит к снижению твердости слоя, т.е. разупрочнению. Детали могут быть использованы при рабочих температурах 150-300°C. В зоне контакта до 450-500°C идет резкое снижение твердости цементованного слоя до 50-54 HRC вместо ≥ 60 HRC, резкое снижение контактной долговечности и усталостной прочности при изгибе $\sigma_{-1} = 590-690$ МПа.

Известен способ термообработки вторичнотвердеющих быстрорежущих сталей, заключающийся в закалке от высоких температур 1240-1280°C в масле, обработке холодом и трехкратном отпуске при 530-560°C.

Способ не может обеспечить высокую ударную вязкость в комплексе с максимальной твердостью, что может быть обеспечено только на высоконикелевой теплостойкой вторичнотвердеющей стали. Этот способ термообработки пригоден только для безникелевых инструментальных сталей.

Никель и марганец во вторичнотвердеющей инструментальной стали считается вредной примесью, так как увеличивает устойчивость остаточного аустенита до такой степени, что он не превращается в мартенсит после трехкратного отпуска при 560-600°C, тем самым не обеспечивается максимальный уровень вторичного твердения. Для получения, кроме прочих свойств, высокой ударной вязкости необходимо использование стали со значительным количеством никеля, для которой требуется другая последовательность операций.

Последующая обработка холодом при -70°C формирует в слое неоднородную структуру - крупноигльчатый мартенсит различной травимости и остаточный аустенит, что приводит к возникновению в слое неблагоприятных растягивающих напряжений вместо сжимающих $\sigma_{ост} - 290--490$ МПа.

Недостатком способа является характер остаточных напряжений, создающихся в цементованном слое при непосредственном после закалки охлаждении до температуры ниже нуля, что резко снижает ударную вязкость цементованного слоя и усталостную прочность при изгибе.

Технической задачей предлагаемого изобретения является создание способа химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, обладающих повышенной усталостной прочностью при изгибе, контактной долговечностью и ударной вязкостью цементованного слоя, что обеспечит увеличение ресурса работы изделий.

Поставленная задача достигается тем, что предложен способ химико-термической обработки деталей из конструкционных сталей, включающий цементацию, закалку, промежу-