

Список использованных источников

1. Лешок, А.В. Исследование условий переноса фрикционного материала МК-5 на поверхность стального контртела / А.В. Лешок, О.В. Хренов // Наука – образованию, производству, экономике : мат. 11-й междунар. науч.-техн.конф. Т. 1. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 321-322.
2. Арзамасов, Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах /Б.Н.Арзамасов, Ю.М.Лахтин. – М: Металлургия, 1979. – 224 с.
3. Арзамасов, Б.Н. Химико-термическая обработка металлов / Б.Н. Арзамасов, Ю.М. Лахтин. – М: Металлургия, 1985. – 256 с.
- 4.Борисенко, Г.В. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник / Г.В.Борисенко, Л.А.Васильев, Л.Г.Ворошнин. – М: Металлургия, 1981. – 424 с.
5. Бокштейн, С.З. Диффузия и структура металлов / С.З.Бокштейн. – М: Металлургия, 1973. – 200 с.
6. Вишневский, А.Э. Повышение стойкости стальных дорнов термохимической обработкой и покрытием / А.Э. Вишневский, В.А. Горохов // Новые материалы и технологии их обработки: XIII Респ. студ. науч.-техн. конф., 23–27 апреля 2012 г. / ред. Н.И. Иваницкий. – Минск: БНТУ, 2012. – С. 207–208.
7. Попов А.А. Теоретические основы химико-термической обработки стали / А.А. Попов. – М: Металлургия, 1962. – 120 с.
8. Хренов, О.В. Результаты испытаний фрикционных дисков из различных материалов для эксплуатации в гидромеханической передаче «БелАЗ» / О.В. Хренов, А.В. Лешок // Наука – образованию, производству, экономике: мат. 13-й Междунар. науч.-техн. конф. Т.1. – Минск: БНТУ, 2015. – С. 324.

УДК 621.785.53:620.186:620.178.16:669.018.29

Преимущества азотирования сталей в условиях низкотемпературного циклического нагрева

Студент гр. 10401116 Лешок В.А.
Научный руководитель – Ковальчук А.В.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Одним из наиболее перспективных методов химико-термической обработки стальных изделий является азотирование. Азотирование стали по сравнению с цементацией отличается рядом весомых преимуществ. Изделие не подвергается значительному термическому воздействию, при этом твердость его поверхностного слоя значительно увеличивается. Стоит отметить, что размеры деталей, подвергающихся азотированию, практически не изменяются. Это условие позволяет применять азотирование для стальных деталей, которые уже прошли окончательную термическую обработку – закалку с высоким отпуском, после чего отшлифованы до требуемых геометрических параметров. После азотирования изделия можно подвергать полировке или другим методам финишной механической обработки. Благодаря указанным достоинствам азотирование является одним из основных способов поверхностного упрочнения сталей [1–2]. Азотирование стали заключается в том, что металл подвергают нагреву и выдержке в химически активной (насыщающей) среде при температурах от 420 до 650 °С. Одним из наиболее распространенных на предприятиях машиностроительного профиля является процесс газового азотирования. Чтобы активировать процесс насыщения и упрочнения поверхности изделия при таком способе в печь под давлением подается аммиак. При нагреве происходит диссоциация аммиака на составные элементы, и данный процесс описывает следующая химическая формула:



При процессе диффузии атомарного азота в поверхностном слое стали образуются нитриды железа и легирующих элементов, характеризующиеся высокой твердостью. После выдержке при температуре насыщения для снижения окисления деталей и уменьшения термических напряжений обработанные детали медленно охлаждают вместе с печью [1].

Диффузионный азотированный слой на железе и углеродистых сталях формируется при азотировании и в процессе охлаждения. При температуре выдержки ниже эвтектоидной (591 °С) азотированный слой состоит из трех фаз: азотистого феррита, нитрида Fe_4N и нитрида $Fe_{2-3}N$. Если же температура насыщения выше эвтектоидной, то слой состоит из четырех фаз: азотистого феррита, нитрида Fe_4N , нитрида $Fe_{2-3}N$ и азотистого аустенита.

Микротвердость поверхности азотированного слоя на углеродистых сталях обычно составляет 3000...4500 МПа. Поэтому азотированию подвергают сложнолегированные среднеуглеродистые стали, которые легируют алюминием, хромом, молибденом и ванадием. Если подвергать азотированию специально разработанные немецким инженером А. Фри стали, которые называются нитраллои, то поверхностная твердость достигает 12000...13000 МПа. В свою очередь на легированных среднеуглеродистых сталях, не содержащих алюминия, поверхностная твердость азотированного слоя не превышает 6000...9000 МПа.

Нитридный слой, формирующийся на поверхности металла в процессе азотирования, может иметь эффективную толщину до 0,5...0,6 мм. Этого позволяет также повысить объемные прочностные характеристики деталей для тонкостенных деталей. Выполнение азотирования позволяет получить более стабильные показатели твердости стали, чем при осуществлении цементации [6–7]. Так, поверхностный слой изделия, которое было подвергнуто азотированию, сохраняет свою твердость даже при нагреве до температуры 550...600 °С, в то время как после цементации твердость поверхностного слоя может начать снижаться уже при нагреве изделия свыше 225 °С. Микротвердость стали 38Х2МЮА после азотирования составила 12500...13000 МПа. Прочностные характеристики поверхностного слоя стали после азотирования в 1,5...2 раза выше, чем после закалки или цементации [3]. За счет того, что твердость поверхностного слоя стали повышается, улучшается износостойкость детали в 2–4 раза, чем после цементации. Предел выносливости стали 40Х после азотирования на гладких образцах увеличился на 50...60 %, а на образцах с надрезом – на 25...35 % в сравнении с неазотированными. Предел выносливости легированной стали 38Х2МЮА повышается на 30...35 и 250...300 %. Повышение предела выносливости сталей, подверженных азотированию, объясняется формированием на поверхности высоких остаточных напряжений. Азотирование Стали 30 при 600 °С в течение 2 ч повышает предел коррозионной усталости в водопроводной и морской воде в 2 раза, также возрастает усталостная прочность изделия и повышается коррозионная стойкость поверхности. Защитные свойства нитридного слоя позволяют длительное время сохранять свойства поверхности при контакте стальной детали с водой, влажным воздухом и паровоздушной средой.

Однако при выборе сталей для азотирования необходимо осуществлять в зависимости от назначения и предъявляемых требований изделия. Так, если необходимо повысить износостойкость, то лучше всего подвергать азотированию нитраллои. Для повышения усталостной прочности можно подвергать азотированию обычные легированные среднеуглеродистые стали. Если азотирование проводят для повышения коррозионной стойкости, насыщению можно подвергать любые стали, в том числе углеродистые, а также чугуны [9].

Но в связи с оптимизацией производственных процессов встает вопрос о продолжительности процесса азотирования в насыщающей газовой среде. А именно в продолжительном процессе остывания изделия внутри печи. Одним из решений этой проблемы является использование метода термоциклирования. Циклическое воздействие на материал позволяет сформировать в металлах и сплавах мелкодисперсную микроструктуру и напряженно-деформированное состояние, которые обеспечивают условия ускоренной диффузии атомов внедрения и замещения [5].

При циклическом методе нагрева интенсификация диффузии осуществляется благодаря иным механизмам. Известно, что диффузионное насыщение при количестве теплосмен менее 8 за 8 часов обработки, не оказывает значительного влияния на кинетику формирования слоя. Однако, благодаря увеличению частоты теплосмен в единицу времени в количестве от 8 и более, приводит к интенсификации диффузии, что обусловлено образованием растягивающих напряжений в слое, под действием которых происходит активное движение атомов в глубь металла [5].

Еще одной причиной интенсификации азотирования является периодическое чередование циклов насыщения и «рассасывания» насыщаемого слоя. При температуре 500...600 °С происходит активное выделение азота из порошковой среды. Но когда температура среды снижается до 300°С, создается относительно большой перепад концентраций на поверхности и в глубине металла для стимулирования процесса диффузии. Таким образом, интенсификация метода азотирования происходит за счет двухстадийности процесса: насыщение и рассасывание (деазотирование) при разной температуре циклического нагрева [4].

Применение термоциклирования при азотировании сталей позволяет повысить толщину диффузионного слоя на 10...20 % от величины слоя, полученного в условиях стационарного насыщения. Авторами [6, 7] показано, что термоциклическое азотирование конструкционной стали 40Х в интервале температур 300...600 °С привело к сокращению продолжительности диффузионного насыщения в 8...10 раз по сравнению с изотермическим азотированием [8]. Ударная вязкость образцов стали 40Х после термоциклического азотирования, закалки и отпуска повышается в 1,5...2 раза. Термоциклирование в процессе азотирования увеличивает число карбидов в диффузионном слое в 1,5 раза по сравнению со стационарным процессом обработки, в результате чего поверхностная твердость возрастает с 60 HRC до 66 HRC. При этом также в 2...3 раза повышается коррозионная стойкость в условиях атмосферной коррозии.

Таким образом, применение низкотемпературного термоциклического нагрева при азотировании сталей позволяет дополнительно повысить свойства азотированного слоя за счет измельчения микроструктуры и интенсификации процессов вторичного структурообразования по сравнению со стационарным режимом, а также позволяет сократить общее время обработки.

Список использованных источников

1. Арзамасов, Б.Н. Химико-термическая обработка металлов в активизированных газовых средах / Б.Н. Арзамасов, Ю.М. Лахтин. – М: Металлургия, 1979. – 224 с.
2. Арзамасов, Б.Н. Химико-термическая обработка металлов / Б.Н. Арзамасов, Ю.М. Лахтин. – М: Металлургия, 1985. – 256 с.
3. Белашова, И.С. Влияние термогазоциклических воздействий на процесс азотирования / И.С. Белашова, Д.П. Шашков // Технология металлов. – 2003. – № 11. – С. 48–56.
4. Химико-термическая обработка металлов и сплавов. Справочник. / Г.В. Борисенко [и др.] – М: Металлургия, 1981. – 424 с.
5. Бокштейн, С.З. Диффузия и структура металлов / С.З. Бокштейн. – М: Металлургия, 1973. – 200 с.
6. Ткаченко, Г.А. Особенности структурообразования диффузионных азотированных слоев на сталях в условиях термоциклирования / Г.А. Ткаченко, А.В. Ковальчук // Наука – образованию, производству, экономике: материалы 16-й Международной научно-технической конференции. – Минск : БНТУ, 2018. – Т. 1. – С. 353.
7. Ткаченко, Г.А. Особенности термической обработки железоуглеродистых сплавов в условиях циклического нагрева / Г.А. Ткаченко // Металлургия: республиканский межведомственный сборник научных трудов. – Минск: БНТУ, 2016. – Вып. 37. – С. 155 – 164.
8. Тихонов, А.С. Термоциклическая обработка сталей, сплавов и композиционных материалов / А.С. Тихонов, В.В. Белов. – М.: Наука, 1984. – 168 с.

УДК 621.785

Термообработка быстрорежущих сталей в вакуумных печах

Студент гр. 10401115 Иванов А.И.
Научный руководитель – Вейник В.А.
Белорусский национальный технический университет
г. Минск

Быстрорежущие стали содержат 0,7–1,5% С, до 18% W, являющегося основным легирующим элементом, до 4,5% Cr, до 5% Mo, до 10% Co. Эти стали предназначены для изготовления инструментов (резцов, сверл, фрез), работающих при высоких скоростях резания. По сравнению с инструментальными сталями, не отличающимися высокой теплостойкостью, быстрорежущие стали обеспечивают большие скорости резания, при этом стойкость режущей кромки возрастает в 10–30 раз (теплостойкость быстрорежущих сталей составляет порядка 500–600°C) [1].

Цель термической обработки быстрорежущих сталей состоит в том, чтобы создать в стали определенного состава структуру, обеспечивающую такие физико-механические свойства, в которых имеется необходимость во время эксплуатации данного инструмента.

Основные преимущества термообработки быстрорежущих сталей в вакуумных печах:

- высокая стабильность свойств обрабатываемых деталей от партии к партии;
- отсутствие обезуглероженного слоя;
- уменьшение деформаций;
- отсутствие загрязнений окружающей среды и улучшение условий труда;
- упрощение контроля и управления технологическим процессом.

В настоящее время термическая обработка инструмента из быстрорежущей стали осуществляется в основном в однокамерных горизонтальных вакуумных печах с закалкой в потоке инертного газа, в том числе под избыточным давлением.

Процесс термообработки инструментальных сталей в вакуумных печах начинается с многоступенчатого нагрева. Для инструмента из низколегированной стали рекомендуется двухступенчатый нагрев, для быстрорежущего инструмента – трехступенчатый, а для крупногабаритного инструмента или инструмента переменного поперечного сечения – четырехступенчатый. Медленный прогрев с необходимым количеством ступеней дает определенные преимущества. Большая часть инструментальных сталей чувствительна к тепловым ударам из-за низкой теплопроводности. Уменьшение термических градиентов снижает склонность сталей к растрескиванию.

Для большинства инструментальных сталей следует подбирать температуру предварительного разогрева, чуть ниже критической температуры превращения материала (A_{c1}), и выдерживать по времени столько, чтобы по всему поперечному сечению достигалась однородность температуры.

Первую ступень подогрева для инструмента из быстрорежущей стали рекомендуется проводить при 850°C. При этом длительность выдержки должна обеспечивать выравнивание температуры сердцевины и поверхности инструмента, а также нагревателей. Время выдержки при первом подогреве в 2 раза превышает время выдержки при аустенизации. Первый подогрев инструмента из быстрорежущей стали до 850 °C и последующая выдержка при этой температуре осуществляется с целью уменьшения напряжений и сокращения времени нагрева при высоких температурах. Вторую ступень нагрева при 1050°C для инструмента из быстрорежущей стали необходимо использовать в случаях – для плотноупакованной садки из изделий малых размеров или для термической обработки изделий с поперечным сечением бо-