

ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ МАТЕРИАЛОВ В РЕЗУЛЬТАТЕ СОЧЕТАНИЯ ТЕРМИЧЕСКОЙ И ГАЗОИМПУЛЬСНОЙ ОБРАБОТКИ

*Д.А. Иванов, к.т.н., доц., О.Н. Засухин, зав. лаб.
Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова*

Рассмотрен способ повышения конструктивной прочности металлических машиностроительных материалов в результате сочетания термической и газоимпульсной обработки и приводятся результаты экспериментальных исследований в данной области.

Сочетание термической и газоимпульсной обработки позволяет решить задачи достижения конструкционными качественными углеродистыми и экономно легированными сталями более высокой конструктивной прочности по сравнению со стандартной нормализацией без применения закалки на мартенсит с последующим отпуском. Предложенный способ позволяет уменьшить продолжительность технологического процесса упрочняющей термической обработки конструкционных сталей в 3–4 раза, получить более высокую твердость термоупрочняемых алюминиевых и титановых сплавов после закалки и последующего старения.

Положительное влияние газоимпульсной обработки на конструктивную прочность металлических материалов связано с релаксацией остаточных напряжений, воздействием на дислокационную структуру и повышением дисперсности образующихся фаз.

В практике машиностроительных предприятий к среднеуглеродистым качественным сталям 30–50 в качестве окончательной термической обработки вместо улучшения зачастую применяется нормализация, когда охлаждающей средой служит спокойный воздух. Данная термическая операция предполагает нагрев изделия до температуры полной аустенитизации с последующим охлаждением на спокойном воздухе. Такая термическая обработка менее затратна в сравнении с термоулучшением (закалка на мартенсит с последующим высоким отпуском 1,5–2 ч), а также позволяет избежать возникновения закалочных деформаций, трещин, значительных остаточных напряжений и применения неэкологичных закалочных сред — минеральных масел, растворов полимеров и др. Главный недостаток нормализации в сравнении с качественно выполненным термоулучшением — несколько более низкая конструктивная прочность.

Цель настоящего исследования состоит в достижении конструкционными качественными углеродистыми и экономно легированными сталями в результате воздействия дозвуковых пульсирующих газовых потоков (газоимпульсной обработки) более высокой конструктивной прочности по сравнению со стандартной нормализацией без применения закалки на мартенсит с последующим отпуском.

В ходе проведенных исследований спокойный воздух как охлаждающая среда был заменен на воздушный поток, обладающий скоростью ~ 30 м/с и пульсирующим с частотой ~ 550 Гц. В результате скорость охлаждения в сечениях 10–20 мм становится выше, чем при охлаждении на спокойном воздухе, но ниже критической скорости закалки для среднеуглеродистых нелегированных сталей. Были получены экспериментальные данные в результате механических испытаний образцов из стали 40, подвергнутой стандартной нормализации и охлажденной со структуры аустенита пульсирующим воздушным потоком. В последнем случае направление обдува было перпендикулярно направлению статического и динамического нагружения при механических испытаниях. В результате испытаний установлено, что твердость и прочность благодаря более высокой скорости охлаждения при газоимпульсной обработке оказалась выше, чем в результате обычной нормализации. При этом благодаря воздействию пульсаций на дислокационную структуру нагретой стали, а также релаксации остаточных напряжений, возникающих из-за более высокой, скорости охлаждения, чем на спокойном воздухе, остаются достаточно высокими такие показатели надежности, как пластичность и ударная вязкость. Сравнительно низкая частота пульсаций газового потока обеспечивает объемный характер воздействия на дислокационную структуру изделия. Таким образом, дозвуковой пульсирующий воздушный поток может применяться при термической обработке среднеуглеродистых качественных сталей с целью получения более высокой прочности и твердости, чем при нормализации без использования термоулучшения.

Экономно легированные конструкционные улучшаемые стали, такие как сталь 40X, также зачастую вместо закалки и высокого отпуска подвергаются нормализации. Такие стали обладают меньшей в сравнении с углеродистыми сталями критической скоростью закалки. Если после нормализационного охлаждения на спокойном воздухе пластичность и ударная вязкость достаточно высокие, то в результате охлаждения от температуры 860 °С, соответствующей структуре аустенита воздушным потоком, имеющим скорость 30 м/с, значения показателей пластичности и ударной вязкости изделий сечением не более 20 мм оказываются слишком низкими. В связи с этим был разработан и экспериментально опробован следующий режим термической обработки: образцы из стали 40X охлаждались с температуры 860 °С на спокойном воздухе до температуры порядка 670 °С, соответствующей феррито-цементитной структуре, после чего подвергались воздействию пульсирующего воздушного потока 30 м/с, 550 Гц вплоть до полного охлаждения. То есть сравнительно быстрое охлаждение пульсирующим воздушным потоком начинается при температуре, соответствующей практически полному распаду аустенита с образованием феррито-цементитной структуры и не может привести к образованию мартенсита, что избавляет от необходимости осуществлять последующий отпуск.

Направление обдува было перпендикулярно направлению статического и динамического нагружения при механических испытаниях. В ре-

зультате получены более высокие значения показателей прочности, пластичности и ударной вязкости по сравнению со свойствами после нормализации. В случае ударной вязкости было получено значение KCU 1,41 МДж/м² против 1,1 МДж/м² после нормализации.

Гистограмма (рис. 1) характеризует свойства стали 40X после охлаждения от 860 °С на спокойном воздухе (нормализации) и после охлаждения на воздухе от 860 до 670 °С с последующей обработкой пульсирующим дозвуковым воздушным потоком, где HRC — твердость (безразмерные единицы Роквелла); ψ — относительное сужение (%); δ — относительное удлинение (%); KCU — ударная вязкость (Дж/см²); σ текучести — предел текучести (МПа); σ времени — временное сопротивление разрыву (МПа).

Таким образом, охлаждение дозвуковым пульсирующим воздушным потоком может применяться при термической обработке конструкционных легированных улучшаемых сталей перлитного класса вместо стандартной нормализации с получением более высоких значений показателей прочности и надежности [1–2].

В качестве высокопрочных (предел прочности более 1600 МПа) часто используются легированные конструкционные улучшаемые стали, в том числе 38ХС и 40Х. Термообработка на высокопрочное состояние заключается в закалке на мартенсит с последующим низким отпуском продолжительностью 1,5–2 часа. Столь продолжительный отпуск требуется для полного осуществления процесса релаксации остаточных напряжений. Актуальной является задача уменьшения продолжительности отпуска без снижения конструктивной прочности.

Решение поставленной задачи достигается следующим образом.

Стальное изделие закаливается на мартенсит стандартно для стали данной марки, после чего при комнатной температуре размещается на выходе из резонатора установки и подвергается в течение 10–15 минут воздействию пульсирующего дозвукового воздушного потока, имеющего частоту 1130–2100 Гц и звуковое давление 120–140 дБ, оказывающего комплексное влияние на метастабильную структуру мартенсита и способствующее протеканию в ней процессов, аналогичных превращениям при низком отпуске, вызывая при этом более значительное, чем при низком отпуске снижение остаточных напряжений.

При этом выбор амплитудно-частотных характеристик воздушного потока и продолжительности обработки определяется геометрическими параметрами, а также материалом обрабатываемого изделия. Механические свойства сталей 40X и

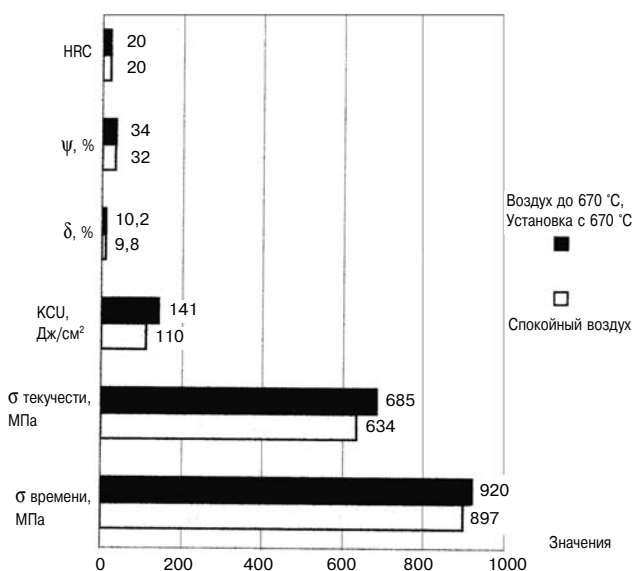


Рис. 1. Свойства стали 40X после охлаждения от 860 °С на спокойном воздухе и после охлаждения на воздухе от 860 до 670 °С с последующей обработкой пульсирующим дозвуковым воздушным потоком

38ХС после описанной обработки более высокие в сравнении со свойствами после стандартной обработки на высокопрочное состояние, заключающейся в закалке и последующем низком отпуске. При твердости в среднем на 2 единицы HRC выше и более высоких значениях показателей прочности значения показателей пластичности и ударной вязкости не уступают стандартным. Подобно тому как при механическом воздействии на остаточный аустенит в закаленной стали он превращается в мартенсит, метастабильный мартенсит закалки может распадаться с образованием мартенсита отпуска и ϵ -карбида в результате распространения в изделии механических волн. Также происходит релаксация остаточных закалочных напряжений вследствие перемещения дислокаций.

Данный способ позволяет применять обработку пульсирующим воздушным потоком к изделиям из конструкционных легированных сталей, термообрабатываемых на высокопрочное состояние.

Таким образом, удалось сократить в 3–4 раза продолжительность технологического процесса термической обработки конструкционных сталей на высокопрочное состояние при сохранении высоких значений показателей твердости и прочности и обеспечении достаточной надежности.

Деформируемые термоупрочняемые алюминиевые сплавы нашли широкое применение при изготовлении машин и аппаратов. В ходе изучения воздействия нестационарных газовых потоков на свойства материалов осуществлялась закалка образцов из деформируемого упрочняемого термической обработкой алюминиевого сплава Д16 как в воде, так и в пульсирующем дозвуковом низкочастотном воздушном потоке с последующим естественным старением. Закалка производилась с температуры 500 °С.

Результаты механических испытаний показали, что изделия сравнительно небольшого сечения (диаметр или толщина стенки < 20 мм) хорошо закаляются в воздушном потоке, имеющем скорость около 30 м/с, не требуя дополнительного введения в поток охлаждающей жидкости, что существенно упрощает технологию газоимпульсной обработки подобных сплавов.

После завершения естественного старения (более 7 суток) у образцов, закалочное охлаждение которых осуществлялось пульсирующим воздушным потоком, был получен прирост твердости на 8 единиц HRB больший, чем при закалке в воде, что может быть связано с увеличением в результате действия пульсаций количества центров образования зон Гинье–Престона (ГП-1).

Таким образом, закалка в пульсирующем воздушном потоке деформируемых термоупрочняемых алюминиевых сплавов позволяет по-

лучить более высокие значения твердости после естественного старения и одновременно избежать образования термических остаточных напряжений благодаря использованию существенно менее интенсивного охладителя, чем вода.

В конструкции деталей машин и приборов широко применяются упрочняемые закалкой и последующим старением детали из термоупрочняемых двухфазных титановых сплавов, причем их использование имеет тенденцию к увеличению. Для упрочняющей термической обработки подобных деталей важную роль играют охлаждающие среды. Применение при закалке таких интенсивных охладителей, как вода приводит к поводке, в особенности длинномерных деталей и деталей сложной формы, короблению и образованию трещин.

Использование в качестве закалочных сред таких менее резких охладителей, как минеральные масла, а также водные растворы полимеров создает проблему утилизации и при этом не всегда обеспечивает требуемую скорость охлаждения. Поэтому представляется перспективным использование закалочной среды, не уступающей вышеперечисленным по закаливающей способности, уменьшающей поводку и трещинообразование и в то же время являющейся экологически чистой — пульсирующий водовоздушный поток [3].

При стандартном термоупрочнении детали из сплава ВТ14 упрочняются закалкой от 850–880 °С в воде и последующим старением при 480–500 °С в течение 12–16 ч.

Основным недостатком данного способа является поводка в результате закалки изделий в таком интенсивном охладителе, как вода, а также их недостаточно высокая твердость и износостойкость.

Перед исследованием была поставлена задача: уменьшить поводку в ходе закалки двухфазных титановых сплавов, наблюдаемую у длинномерных изделий и изделий сложной формы при применении таких резких охладителей, как вода, а также повысить твердость после закалки и старения, благодаря чему увеличится износостойкость изделий из данных сплавов.

Поставленная задача решается следующим образом: изделия из титанового сплава ВТ14 упрочняются закалкой с температуры от 850 до 880 °С и последующим старением при температуре от 480 до 500 °С продолжительностью от 12 до 14 ч, при этом закалочное охлаждение изделий осуществляется в среде, представляющей собой пульсирующий водовоздушный поток, обладающий скоростью от 25 до 30 м/с, частотой колебаний от 830 до 1000 Гц, импульсным воздушным давлением от 8 до 12 кПа и переменным звуковым

давлением от 80 до 90 дБ. Расход воды при этом составляет от 1 до 1,5 л/мин. После закалки изделие подвергается искусственному старению в электропечи при температуре от 480 до 500 °С.

Как следствие, при меньшей чем в воде скорости охлаждения получена твердость не выше, чем при закалке в воде и более высокая твердость после старения. Пульсации водовоздушной смеси обеспечивают релаксацию напряжений, возникающих в результате закалочного охлаждения и тем самым уменьшают поводку изделий. Более высокая твердость после старения титанового сплава, закаленного в пульсирующей водовоздушной

смеси, в сравнении с закаленным в воде может быть объяснена более дисперсной мартенситной α'' -фазой, образующейся при закалке под влиянием пульсаций водовоздушного потока, распад которой в процессе старения обеспечивает повышение твердости и прочности.

Таким образом, исследование позволило получить технический результат, заключающийся в уменьшении поводки при закалке изделий из двухфазных титановых сплавов, а также повысить твердость и износостойкость в сравнении со стандартной упрочняющей термической обработкой подобных сплавов.

Литература

1. Иванов Д.А. Повышение конструктивной прочности материалов за счет воздействия пульсирующих дозвуковых низкочастотных газовых потоков / Д.А. Иванов. — СПбГУСЭ, 2008. — 123 с.
2. Пат. 2422540 С1 Российская Федерация, (51) МПК С21D 1/56, С21D 1/25. Способ термической обработки изделий из конструкционных сталей / Иванов Д.А., Засухин О.Н., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государ-

ственный технический университет ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова — № 2009144847/02. заявл. 02.12.09, опубл. 27.06.11, Бюл. № 18. — 5 с.

3. Пат. 2417950 С1 Российская Федерация, (51) МПК С02F 1/18. Способ термической обработки изделий из двухфазных титановых сплавов / Иванов Д.А., Засухин О.Н., заявитель и патентообладатель Государственное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова — № 2009144810/05. заявл. 02.12.09, опубл. 10.05.11, Бюл. № 13. — 3 с.

НОВЫЙ ГЕНЕРАЛЬНЫЙ ДИРЕКТОР ЗМЗ СОЗДАСТ ИНДУСТРИАЛЬНЫЙ ПАРК В ЗАВОЛЖЬЕ

Новая стратегия развития Заволжского моторного завода была принята Стратегическим Комитетом ОАО «СОЛЛЕРС». Согласно новому плану ЗМЗ будет выделен в отдельную управленческую структуру для создания на базе площадки индустриального парка.

Введенная ранее временная функция генерального директора УАЗ-холдинг приостановлена, а с 1 октября 2012 г. новым генеральным директором завода назначен Андрей Александрович Матюшин, ранее занимавший должность руководителя технического департамента ОАО ЗМЗ.

В соответствии с принятой концепцией развития ЗМЗ становится базовой площадкой для формирования индустриального парка с привлечением иностранных производителей автокомпонентов с целью поддержки локализации автомобильных производств в России. Сейчас на промплощадке ЗМЗ уже работают первые резиденты парка: компании «Дайдо Металл Русь» (производство подшипников скольжения), «Trelleborg Automotive» (производство антивибрационных компонентов), компания «LEONI» (производство кабелей и оптоволокон), также заключен договор с «Flaig+Hommel» (производство автотормозов).

«Я считаю, что у ЗМЗ есть потенциал стать одним из центров по поставке автокомпонентов для производств иностранных брендов в России, — комментирует Вадим Швецов, генеральный директор ОАО «СОЛЛЕРС», — мы собираемся не только привлекать иностранные компании на нашу площадку, но и развивать собственные технологии производства алюминиевых отливок и мехобработки. Сейчас ЗМЗ необходим независимый директор, который смог бы управлять сложным масштабным производством



НОВОСТИ ОАО ЗМЗ

и оперативно загружать мощности индустриального парка».

При непосредственном участии нового генерального директора были открыты проекты с компаниями Ford, Knorr Bremse и ZF-Kama, а также проработаны варианты сотрудничества и заключены договоры с резидентами площадки ЗМЗ.

ЗАВОЛЖСКИЙ МОТОРНЫЙ ЗАВОД ЗА 9 МЕСЯЦЕВ 2012 Г. НА 19% УВЕЛИЧИЛ ПРОИЗВОДСТВО ДВИГАТЕЛЕЙ

Всего за январь-сентябрь ЗМЗ выпущено более 67 тыс. двигателей всех модификаций, включая дизельную версию.

Рост производственной программы достигнут за счет выпуска 4-цилиндровых двигателей 406-го семейства по заказам УАЗа и дилерских организаций для реализации на вторичном рынке.

На долю Ульяновского автомобильного завода приходится 75 % общего объема поставок. По его заявкам было изготовлено 50 630 двигателей, что на 18 % больше по сравнению с аналогичным периодом 2011 г. По заказам ПАЗа было реализовано 4047 восьмицилиндровых двигателей — на 27,3 % больше факта января-сентября 2011 г. На ГАЗ в рамках госзаказа было поставлено 27 двигателей. Объемы поставок на вторичный рынок превысили уровень аналогичного периода прошлого года на 26,5 % и составили 12 765 двигателей.

При этом достигнуто повышение качества выпускаемых двигателей. За счет внедрения мероприятий заводской программы в области качества удалось на 26,5 % снизить внутреннюю дефектность, выявляемую на собственных испытательных станциях, и на 24 % — внешнюю, выявляемую у основного потребителя двигателей — Ульяновского автозавода. Количество рекламаций сократилось на 16 %.