

СОЧЕТАНИЕ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ С ОБРАБОТКОЙ ПУЛЬСИРУЮЩИМИ ГАЗОВЫМИ ПОТОКАМИ

Д.А. Иванов, к.т.н., доц.,

Санкт-Петербургский государственный университет гражданской авиации

О.Н. Засухин, зав. лаб.

Балтийский государственный технический университет ВОЕНМЕХ им. Д.Ф. Устинова

Рассмотрены результаты применения экономичной и экологически безопасной технологии закалки сталей с использованием в качестве закалочной среды пульсирующего воздушного потока. Показано, что предлагаемая технология обеспечивает сочетание высокой закалочной твердости деталей при наименьших закалочных напряжениях и деформациях.



Прогресс в области машиностроения тесно связан не только с созданием и освоением новых материалов, но и с развитием и внедрением в производство новейших технологий упрочнения традиционных сталей.

Многие современные технологии упрочнения материалов в машиностроении и других отраслях промышленности основаны на использовании струйных течений газа. Подобная обработка материалов позволяет улучшать их свойства и работоспособность в несколько раз.

Среди упрочняющих струйных технологий особое место занимает обработка изделий пульсирующим дозвуковым потоком воздуха (газоимпульсная обработка). Данный метод прост, экономичен, экологически безопасен и позволяет не только упрочнять изделие, но и формировать в нем благоприятное напряженное состояние, а значит повысить его надежность.

Известно положительное влияние воздействия на конструктивную прочность металлических материалов и изделий нестационарных газовых потоков при сочетании этого воздействия с традиционной термической обработкой [1–9].

Вместе с тем нуждаются в уточнении оптимальные режимы подобной обработки, включая выбор оптимальных амплитудно-частотных характеристик газового потока, воздействующего на металлические изделия и заготовки, продолжительность воздействия, а также положение изделия в потоке, обеспечивающее наилучший результат, в том числе с учетом направления эксплуатационной нагрузки.

При закалке сталей закалочная среда должна, прежде всего, обеспечивать высокую твер-

дость. С другой стороны, режим охлаждения должен быть таким, чтобы исключить возникновение значительных закалочных напряжений, приводящих к деформации изделия и образованию закалочных трещин.

Существующие закалочные среды лишь в большей или меньшей степени соответствуют этим требованиям, также не все они являются экономичными и экологически безопасными.

В связи с этим актуальной является задача разработки экономичных и экологически чистых способов закалки, способных обеспечить сочетание высокой закалочной твердости с меньшими, чем при стандартной закалке закалочными напряжениями и деформациями.

Ранее авторами был разработан способ термической обработки конструкционных сталей на высокопрочное состояние [3, 9], в соответствии с которым подвергают стандартной для сталей данной марки закалке на мартенсит с последующим воздействием пульсирующего дозвукового воздушного потока, имеющего частоту 1130–2100 Гц и звуковое давление 120–140 дБ при комнатной температуре. Этот способ инициирует процессы, аналогичные происходящим в закаленной стали при низком отпуске.

Недостатком данного способа является разделение операций закалки и обработки пульсирующим воздушным потоком, что снижает производительность процесса. При этом использование стандартных закалочных сред не обеспечивает получение высокой твердости материала без сопутствующих закалочных напряжений и деформаций.

Для совершенствования этой технологии была поставлена задача повысить производитель-

ность процесса за счет объединения закалки и обработки стали пульсирующим воздушным потоком при одновременном снижении закалочных напряжений и деформаций.

Задача была решена следующим образом. Конструкционные стали подвергают закалке на мартенсит в пульсирующем воздушном потоке, имеющем частоту до 2300 Гц и звуковое давление до 145 дБ, что обеспечивает скорость охлаждения выше критической скорости закалки. За счет пульсаций газового потока происходит сглаживание пиков закалочных напряжений, уменьшая тем самым деформацию при закалке. При последующем воздействии на закаленную сталь в течение 10–15 минут пульсирующего дозвукового воздушного потока при комнатной температуре, имеющего частоту 1130–2100 Гц и звуковое давление 120–140 дБ, на метастабильную структуру мартенсита закаленной стали оказывается комплексное влияние, способствующее протеканию в ней процессов, аналогичных превращениям при низком отпуске, вызывая более значительное, чем при низком отпуске, снижение остаточных напряжений. При этом закалка и последующее воздействие на закаленную сталь пульсирующего воздушного потока осуществляется за одну операцию, без перемещения обрабатываемого изделия.

Импульсное воздействие воздушного потока в процессе мартенситного превращения аустенита увеличивает количество центров образования новой фазы, повышая дисперсность мартенсита.

Увеличение дисперсности мартенсита в результате закалки в пульсирующем воздушном потоке обеспечивает стали более высокую твердость в сравнении с закалкой в стандартных средах при той же скорости закалочного охлаждения. Повышение дисперсности мартенсита способствует увеличению дисперсности продуктов его распада, инициированного последующим воздействием пульсирующего дозвукового воздушного потока, результатом которого является релаксация остаточных микронапряжений, что обеспечивает рост ударной вязкости и пластичности без снижения прочности.

Так, в случае конструкционной легированной стали 40X закалка осуществлялась с температуры 860 °С в пульсирующем воздушном потоке, обдувающим образец со скоростью около 250 м/с, что позволило обеспечить скорость охлаждения образца выше критической скорости закалки. Уровень звукового давления составлял 140 дБ. Образцы при закалке располагались параллельно щели сопла (поперек истекающей струи). Последующее воздействие на закаленную сталь пульсирующего воздушного потока осуществлялось за одну операцию (без перемещения обрабаты-

ваемого изделия) в течение 15 минут. При этом скорость воздушного потока была снижена на треть, обеспечив экономию воздуха. Уровень звукового давления составлял 130 дБ. Направление обдува совпадало с направлением статического и динамического нагружения при механических испытаниях.

В табл. 1 приведены сравнительные механические свойства стали 40X после различных видов термической обработки. Твердость стали после газоимпульсной обработки составила 53–54 единиц HRC, при этом ударная вязкость KCU достигала значения 1,1 МДж/м² благодаря ультрадисперсной мартенситной структуре в результате закалки в пульсирующем газовом потоке и снятию закалочных напряжений при последующем обдуве. Закалочные напряжения, судя по практически отсутствующей закалочной деформации, изначально могли быть существенно меньше, чем при стандартной закалке.

Приведенные данные показывают, что пластические свойства у образцов, обработанных по экспериментальной технологии, не уступают соответствующим свойствам после стандартных закалки и отпуска, а прочностные их превышают.

Применение воздействия нестационарных газовых потоков может существенно повысить конструктивную прочность деталей машин и других изделий, изготовленных из конструкционных металлических материалов традиционных марок.

Механические волны, возникающие в металлическом изделии при воздействии на него пульсирующим газовым потоком, способны оказать значительное влияние на подвижность дислокаций, напряженное состояние, а значит, и механические свойства материала детали.

Вместе с тем при упрочнении стандартно термообработанных металлических изделий с использованием газовых потоков необходимо ориентировать эти изделия относительно воздействующего потока с учетом направления будущих рабочих нагрузок. Устранение возникающей при этом в изделии анизотропии механических

Таблица 1

Механические свойства стали 40X

Обработка	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	KCU, МДж/м ²	δ , %	HRC
Закалка	585	—	0,0125	0	54–55
Закалка и обдув закаленной стали в пульсирующем газовом потоке. Направление обдува совпадает с направлением статического и динамического нагружения	1983	1640	1,1	3	53–54
Закалка и отпуск 200° 1,5 ч	1800	1543	0,2	3	50–51

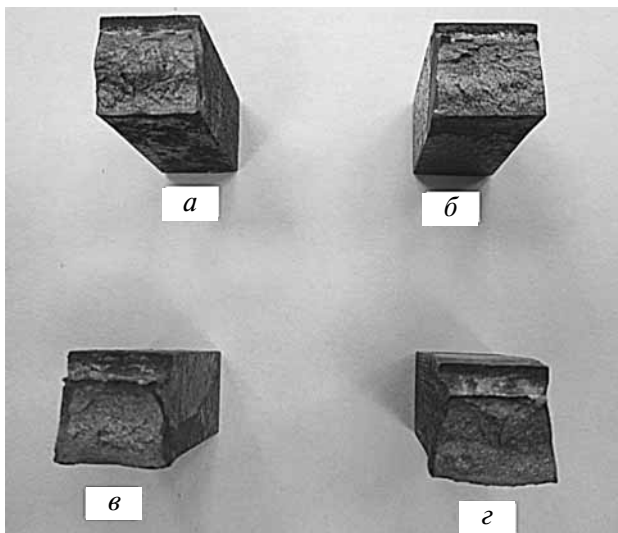


Рис. Сталь 40, газоимпульсная обработка после нормализации. Вид изломов ударных образцов (Менаже) в зависимости от размещения ударного образца относительно пульсирующего воздушного потока:

a — без обдува (КСУ 0,8 МДж/м²); *б* — вдоль потока (КСУ 0,725 МДж/м²); *в* — поперек потока (КСУ 1,225 МДж/м²); *г* — вдоль и поперек (КСУ 1,725 МДж/м²)

Таблица 2

Сталь 40, нормализация. Значения показателей ударной вязкости в зависимости от направления газоимпульсной обработки

Ударная вязкость в зависимости от направления газоимпульсной обработки КСУ, МДж/м ²			
Без обработки	Направление обдува совпадает с направлением динамического нагружения	Направление обдува перпендикулярно направлению динамического нагружения	Обдув в продольном и поперечном направлении
0,8	1,225	0,725	1,725

свойств будет способствовать дальнейшему повышению его эксплуатационной стойкости.

Как показали результаты исследований, повысить показатели надежности термобработанных металлических изделий, подвергаемых газоимпульсной обработке, возможно вне зависимости от направления эксплуатационного нагружения (рис.).

Для этого стандартно термообработанные изделия размещают на выходе из успокоительной камеры установки, генерирующей колебания параметров газового потока, и обрабатывают пульсирующим газовым потоком при комнатной температуре последовательно в двух или более направлениях, до обеспечения изотропии свойств относительно направлений испытываемых эксплуатационных нагружений. Обработка изделия пульсирующим газовым потоком в

каждом из направлений составляет 10–20 минут. Суммарная продолжительность обработки зависит от геометрических параметров изделия и условий его эксплуатации.

В случае изделий из стандартно нормализованной стали 40, обработанных пульсирующим газовым потоком с частотой порядка 900 Гц и звуковым давлением до 130 дБ (табл. 2) последовательно в продольном и поперечном направлениях, значение показателей ударной вязкости благодаря воздействию механических волн, генерируемых в изделии пульсациями газового потока, на 23 % превышают максимальные значения, полученные при односторонней обработке.

Литература

1. *Иванов Д.А.* Повышение конструктивной прочности машиностроительных сталей путем импульсного воздействия при отпускном охлаждении // *Двигателестроение*. — 2005. — № 4. — С. 30–32.
2. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Газоимпульсная обработка машиностроительных материалов без предварительного нагрева // *Двигателестроение*. — 2010. — № 2. — С. 20–22.
3. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Повышение конструктивной прочности машиностроительных материалов в результате сочетания термической и газоимпульсной обработки // *Двигателестроение*. — 2012 — № 3. — С. 12–15.
4. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Обработка пульсирующим газовым потоком высокопрочных и пружинных сталей // *Двигателестроение*. — 2014. — № 3. — С. 34–36.
5. *Иванов Д.А.* Воздействие газоимпульсной обработки на структуру и механические свойства нормализуемых сталей // *Технико-технологические проблемы сервиса*. — 2013. — № 3. — С. 19–22.
6. *Булычев А.В., Иванов Д.А.* Воздействие газоимпульсной обработки на структуру, свойства и напряженное состояние металлических изделий // *Технология металлов*. — 2013. — № 11. — С. 30–33.
7. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Использование пульсирующего дозвукового газового потока для повышения эксплуатационных свойств металлических изделий // *Технология металлов*. — 2015. — № 1. — С. 34–38.
8. *Иванов Д.А., Засухин О.Н.* Повышение коррозионной стойкости конструкционных сталей газоимпульсной обработкой // *Технология металлов*. — 2015. — № 10. — С. 27–31.
9. Пат. 2506320 С1 Российская Федерация, (51) МПК С21D 1/78. Способ термической обработки конструкционных сталей на высокопрочное состояние / *Иванов Д.А., Засухин О.Н.*, заявитель и патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего профессионального образования Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова. — № 2012125788/02, заявл. 20.06.2012, опубл. 10.02.2014. Бюл. № 4. — 3 с.