

## ПОВЫШЕНИЕ КОНСТРУКТИВНОЙ ПРОЧНОСТИ МАШИНОСТРОИТЕЛЬНЫХ СТАЛЕЙ ПУТЕМ ИМПУЛЬСНОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ПРИ ОТПУСКНОМ ОХЛАЖДЕНИИ

Д.А. Иванов, доц. кафедры  
«Технология конструкционных материалов и производства ракетно-космической техники»,  
БГТУ «Военмех»

Дальнейшее повышение конструктивной прочности сталей традиционных марок требует сочетания термической обработки с дополнительными воздействиями, совмещенными с процессом закалки.

Выполнено исследование воздействия на стали в процессе отпускного охлаждения дозвуковыми воздушными потоками с частотой колебаний 400–1200 Гц, импульсным воздушным давлением порядка 10 кПа и переменным звуковым давлением до 100 дБ, оказывающий на остывающее изделие комплексное воздействие.

Получено существенное превышение значениями показателей пластичности и ударной вязкости значений аналогичных показателей после термообработки без импульсного воздействия. Определены наиболее благоприятные для импульсного воздействия режимы отпуска сталей, в два с лишним раза сокращена продолжительность технологических процессов закалки.

Дальнейшее повышение конструктивной прочности сталей традиционных марок требует сочетания термической обработки с дополнительными воздействиями: лазерным, электромагнитным, акустическим, в том числе ультразвуковым и другими. Обычно дополнительное воздействие совмещают с процессом закалки, охлаждение же после отпуска исследуется, как правило, лишь в связи с обратимой отпускной хрупкостью. Вместе с тем воздействие на стальные изделия в процессе отпускного охлаждения требует внесения меньших дорогостоящих технологических изменений, чем внедрение комбинированных методов закалки. Поэтому представляет практический интерес исследование воздействия на стали в процессе отпускного охлаждения дозвуковыми воздушными потоками, создание которых осуществимо по сравнению со сверхзвуковыми на менее сложном и дорогостоящем оборудовании.

В ходе исследования закаленное и нагретое до отпускной температуры изделие после требу-

емой выдержки помещалось в рабочую камеру экспериментальной установки, генерирующей воздушный поток с частотой колебаний 400–1200 Гц, импульсным воздушным давлением порядка 10 кПа и переменным звуковым давлением до 100 дБ, оказывающий на остывающее изделие комплексное воздействие (рис.). При изучении влияния пульсирующего воздушного потока на стальные изделия в процессе их охлаждения после отпуска исходили из предположения, что импульсное воздействие повышает подвижность дислокаций, а следовательно, и пластичность, а также способствует релаксации остаточных напряжений, присутствующих в изделии после закалки и полностью не устраняемых традиционным отпуском.

Влияние пульсирующих воздушных потоков на механические свойства сталей оценивалось путем испытания стандартных разрывных и ударных образцов из сталей 40Х и 40ХС, закаленных в масле и отпущенных с воздействием и без воздействия газовых импульсов в процессе отпускного охлаждения. Результаты испытаний показали, что воздействие газовыми импульсами, оказываемое в процессе охлаждения после отпуска при температуре 200 °С, позволяет несколько повысить прочность, что может быть связано с интенсификацией пульсациями процесса релаксации остаточных напряжений, сглаживания пиков напряжений путем эстафетной передачи деформации в ненапряженные микрообъемы. Данные, полученные с помощью специальных образцов — колец Френча — показывают, что при прочих равных условиях тангенциальные остаточные закалочные напряжения после отпускного охлаждения от температуры 200 °С с импульсным воздействием в среднем на 35 % меньше, чем остаточные напряжения в образцах, не подвергавшихся импульсной обработке. Вместе с тем очевидно, что при температуре нагрева 200 °С последующее импульсное воздействие не может в достаточной степени обеспечить повышение подвижности дислокаций. При более высоких отпускных температурах (450–600 °С) импульсное воздействие в процессе отпускного охлаждения способно

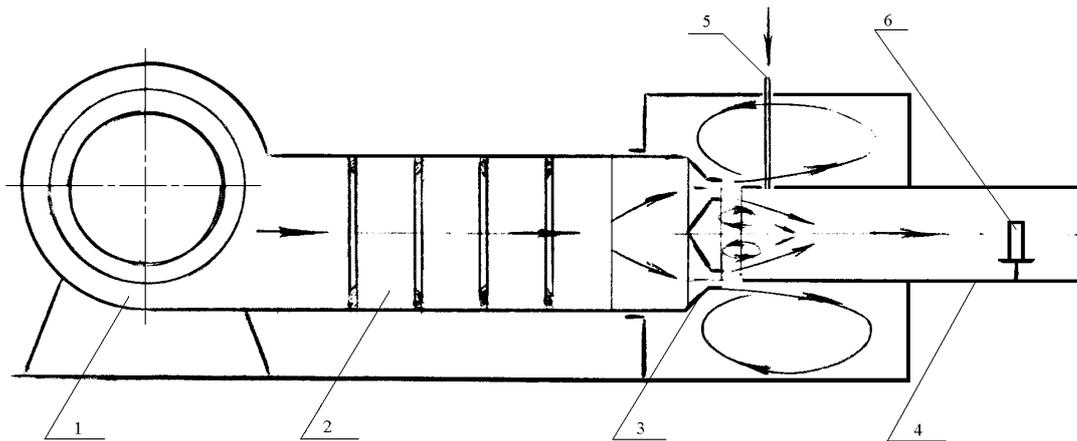


Рис. Установка для обдува термообрабатываемых изделий воздушным или водовоздушным пульсирующим потоком:

1 — воздуходувка ТВР-3; 2 — успокоительная камера; 3 — генератор пульсаций; 4 — рабочая камера; 5 — подвод воды; 6 — объект обдува

Таблица

**Механические свойства стали 40Х после закалки в масле при температуре 860 °С и последующего отпуска**

Режим отпуска			Механические свойства					
Температура, °С	Время, мин	Вид охлаждения	HRC	$\sigma_{в'}$ , МПа	$\sigma_{0,2'}$ , МПа	$\delta$ , %	$\psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
450	60	Воздух	40	1300	1215	9,5	42	0,42
	30	Воздух	43	1380	1280	6,7	40	0,26
	30	Пульсирующий	43	1380	1280	8,6	42	0,36
500	60	Воздух	38	1245	1175	9,7	45	0,69
	30	Воздух	40	1315	1230	9,3	42	0,66
	30	Пульсирующий	40	1335	1260	9,4	45	0,73
550	60	Воздух	32	1180	1085	12,9	57	0,84
	30	Воздух	32	1190	1110	12,0	51	0,7
	30	Пульсирующий	32	1290	1215	12,8	56	0,8
600	60	Воздух	28	1020	935	15,4	58	1,12
	30	Воздух	29	1040	955	13,8	52	1,1
	30	Пульсирующий	29	1055	970	14,5	58	1,15

оказать более значительное влияние на подвижность дислокаций, способствуя повышению пластичности и ударной вязкости.

Результаты исследований, приведенные в таблице, показывают, что для закаленной в масле стали 40Х после отпуска в течение 30 мин и последующего импульсного воздействия в процессе отпускного охлаждения достигается

уровень пластичности и ударной вязкости, соответствующий выдержке в течение 60 мин при обычном отпуске, значения же показателей прочности после импульсного воздействия остаются на уровне, соответствующем тридцатиминутной отпускной выдержке без последующей обработки газовыми импульсами. Подобные результаты получены и для стали 40ХС.

При термической обработке на высокопрочное состояние сталей 40X и 40XC применялся комбинированный отпуск, в ходе которого в целях повышения эффективности воздействия газовых импульсов производился кратковременный нагрев до более высоких температур, чем основная температура отпуска. В результате испытаний образцов из стали 40X, подвергнутой импульсной обработке в процессе отпускного охлаждения, получено существенное превышение значениями показателей пластичности и ударной вязкости значений аналогичных показателей после термообработки без импульсного воздействия. Рост относительного удлинения составил от 4,5 до 13,6 %, ударной вязкости — от 30 до 50 %. Подобная обработка стали 40XC позволила, как и в случае стали 40X, при прочих равных условиях повысить пластичность и ударную вязкость в высокопрочном состоянии.

Таким образом, воздействие дозвуковых пульсирующих газовых потоков при обработке на высокопрочное состояние сталей 40X и 40XC, осуществляемое в процессе охлаждения, после отпуска обеспечивает в сравнении с термообработкой без импульсного воздействия увеличение ударной вязкости до 1,5 раз, рост относительного удлинения и сужения при таких же или несколько более высоких показателях прочности, что повышает надежность изделий и позволяет снизить их металлоемкость.

При проведении термоулучшения, воздействие газовых импульсов в процессе охлаждения после высокого отпуска сталей 40X, 40XC обеспечивает повышение пластичности и ударной вязкости с сохранением или некоторым ростом прочности при равном времени отпускной выдержки со сталями тех же марок, отпущенными без импульсной обработки.

В случае высокого отпуска по интенсивным режимам, в два и более раза менее продолжительным по сравнению со стандартными, импульсное воздействие обеспечивает повышение

прочности при сохранении пластичности и ударной вязкости соответствующими значениями, полученным после обычного отпуска по стандартным режимам, что наряду с возможным снижением металлоемкости изделий уменьшает энергозатраты в ходе термообработки и продолжительность технологических процессов.

В ходе исследований были установлены режимы отпуска, в том числе комбинированного, при которых воздействие пульсирующего газового потока оказывает наибольшее влияние на структуру и свойства сталей. Так, при обработке на высокопрочное состояние, пятидесятипроцентное повышение ударной вязкости в сравнении с отпуском без импульсного воздействия для закаленной в масле стали 40X обеспечили нагрев до температуры 200 °С, выдержку в течение 1 ч и дополнительный кратковременный (7 мин) нагрев до температуры 300 °С с последующей обработкой пульсирующим воздушным потоком в процессе охлаждения.

В случае проведения термоулучшения наиболее высокие сравнительные механические свойства сталь 40X приобретает после отпуска при температуре 550 °С и импульсной обработки в ходе охлаждения с отпускной температуры.

Полученные данные свидетельствуют о высокой эффективности и практической значимости использования нестационарных газовых потоков в качестве средства повышения механических и эксплуатационных свойств стандартно закаленных сталей.

Для дальнейшего повышения эффективности термической обработки конструкционных экономично легированных сталей типа 40X и 40XC планируется в процессе отпускного охлаждения использовать нагретые пульсирующие дозвуковые потоки, что позволит за счет увеличения продолжительности эффективного импульсного воздействия дополнительно повысить надежность и долговечность машиностроительных изделий.

### **ПРЕДЛАГАЕМ РАЗМЕЩЕНИЕ РЕКЛАМЫ.**

#### **ОРИЕНТИРОВОЧНЫЕ ТАРИФЫ НА 2006 ГОД**

Первая страница обложки	Полноцветная	10000 руб.
Вторая и третья страницы обложки	Полноцветная	7000 руб.
Четвертая страница обложки	Полноцветная	8000 руб.
Внутри журнала из расчета одна страница формата А4	Полноцветная	7000 руб.
	Черно-белая	5000 руб.