

УДК621.785;669-156

Нестеренко В. М., Плеханова Л. В.

ЗАКАЛКА ПОД НАПРЯЖЕНИЕМ – НОВЫЙ ЭФФЕКТИВНЫЙ МЕТОД ТЕРМИЧЕСКОГО УПРОЧНЕНИЯ ДЕТАЛЕЙ ИЗ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ

Конструкционные стали подвергают закалке с последующим отпуском для обеспечения повышенной прочности, твердости, достаточно высокой пластичности и вязкости, а для ряда деталей также высокой износостойкости. Вопросы повышения надежности и долговечности, зависящих от структуры и условий эксплуатации деталей, всегда актуальны [1]. В настоящее время для термического упрочнения конструкционных сталей применяется «классическая» технология закалки на мартенсит. Охлаждение при закалке наиболее просто осуществляется погружением закаливаемой детали в жидкую среду (воду или масло), имеющую температуру 20–25 °С. Однако при интенсивном охлаждении возможна деформация (коробление) деталей и даже образование трещин. Коробление и растрескивание вызываются значительными остаточными напряжениями, возникающими при закалке. Основным источником напряжений – увеличение объема при превращении аустенита в мартенсит [2].

Мартенсит, образующийся при закалке, характеризуется высокой твердостью и низкой пластичностью и вязкостью, что обуславливает хрупкость. Одним из способов повышения прочности с сохранением высокой вязкости является термомеханическая обработка. Особенностью ТМО является совмещение пластической деформации и термической обработки, т. е. закалка стали, предварительно деформированной в аустенитном состоянии. Вследствие ТМО во время закалки фазовое превращение происходит в наклепанном или частично рекристаллизованном состоянии. Повышение прочности после ТМО связано с измельчением зерна исходного аустенита и повышением плотности дислокаций при деформации [3].

Для мелких деталей осуществлять деформирование в аустенитном состоянии механическим воздействием на деталь (особенно пустотелую) достаточно сложно.

Целью работы является установление рациональности использования возникающих в детали объемных изменений в ходе закалки при непрерывном охлаждении в области переохлажденного (неустойчивого) аустенита путем торможения (воспрепятствование) закалочным объемным изменениям.

Такой метод закалки является нетрадиционным, так как закалка непосредственно происходит под дополнительным напряжением, способствующим измельчению зерен и блоков зерен аустенита, претерпевающего превращение в мартенсит.

Метод предполагает упрочнение деталей типа «втулка» и «кольцо»: это кольца подшипников качения, различные втулки, бандаж прокатных валков и др. аналогичные детали.

Основан метод на следующих особенностях мартенситных превращений. В результате закалки на мартенсит объем деталей изменяется, так как объем мартенсита – структуры закаленной стали – больше объема исходной аустенитной структуры [3]. Если создать условия, препятствующие изменению объема при закалке, то в закаливаемой втулке возникнут дополнительные напряжения за счет торможения объемных изменений, и структура закаленной стали будет формироваться под влиянием суммарного поля напряжений [4]. Торможение изменению объема можно осуществить, если в закаливаемое кольцо (втулку) поместить по скользящей посадке калибр или ось бандаж прокатного валка и закалку производить совместно калибр – втулка. Ось или калибр будут тормозить изменение объема кольца (бандаж), и в кольце (втулке) возникнут дополнительные напряжения. Такой способ и получил название «закалка под напряжением» [5]. Напряжения будут изменять условия образования структуры закаленной стали и, как показали наши исследования, создается благоприятная для прочности структура мелкоигольчатого (скрытокристаллического) мартенсита и остаточный аустенит.

Для проверки эффективности такой термообработки провели специальное экспериментальное исследование, сущность которого состояла в следующем.

От прокатанной штанги сталей 45 и 40X диаметром $D = 65$ мм отрезали заготовки высотой $h = 55$ мм. Далее в полученных дисках выполнили осевое отверстие диаметром $d = 40$ мм. Получали втулки размерами $\frac{d}{D} = \frac{40}{65}$ высотой 55 мм.

Далее полученные втулки подвергали предварительной термообработке по режиму полного отжига. Втулки из стали 45 нагревали до температуры 820...840 °С, а втулки из стали 40X – до температуры 850...860 °С. После выдержки в течение 1 часа втулки охлаждали вместе с печью. После такого отжига твердость составляла на втулках из стали 45 – 212 НВ, а на втулках из стали 40X – 245 НВ. Количество втулок – по 16 штук каждой марки для экспериментальной и контрольной партий.

После отжига втулки растачивали на расточном станке для получения отверстий под посадку. Отверстия, как и калибры, изготавливали с небольшой конусностью (1/50) для упрощения введения калибра в горячую втулку. Далее втулки нагревали для закалки: втулки из стали 45 – до температуры 820...830 °С, а из стали 40X – до 850...860 °С. Нагрев производили в специальных вертикальных печах с открываемой верхней крышкой. После выдержки в печи измеряли диаметр отверстий, подбирали соответствующие калибры, и производили сборку непосредственно в печи. Сборки «втулка-калибр» закаливали: с втулкой из стали 45 – в воде а из стали 40X – в масле. В результате калибры, посаженные во втулки, препятствовали усадке втулок и в них возникали дополнительные напряжения. Следовательно, мартенситное превращение в материале втулок происходило в условиях возникших дополнительных напряжений, т. е. по способу «закалки под напряжением». После остуживания втулки от калибров освобождали и подвергали отпуску при температуре 580...600 °С. Время выдержки – 1 час, охлаждение после выдержки – вместе с печью. В одной печи отпускали втулки, закаленные под напряжением (по описанному методу) и втулки, которые закаливали без калибров (контрольные).

После отпуска втулки разрезали на фрезерном станке вдоль образующей. В итоге получали заготовки длиной $55 \pm 0,1$ мм и сечением 12×15 мм. Эти заготовки служили для изготовления образцов для испытания на ударную вязкость с надрезом по Шарпи с размерами $10 \times 10 \times 55$ мм. Определяли также коэрцитивную силу H_c . Результаты проведенных испытаний приведены в табл. 1.

Таблица 1

Свойства образцов втулок после закалки и отпуска

Марка стали	№ втулки	Режим термообработки	KCV, МДж/м ²	HRC	Коэрцитивная сила, H _c
40X	1	Закалка 870 °С, масло Отпуск 600 °С, с печью	0,34	40	3,3
	2	Закалка ПН 860 °С, масло Отпуск 600 °С, воздух	0,41	41	2,15
Изменение по отношению к втулкам, закаленным с калибрами			+ 0,07 20,6 %	+ 1 2,5 %	-1,15
45	3	Закалка 820 °С, вода Отпуск 600 °С	0,252	25,9	
	4	Закалка ПН 820 °С, вода Отпуск 600 °С	0,323	27,3	
Изменение по отношению к втулкам, закаленным с калибрами			+ 0,071 28 %	+ 1,4 5,4 %	

Из приведенных данных (табл. 1) видно, что закалка под напряжением повышает все показатели механических свойств обеих исследованных сталей: ударная вязкость возрастает на 17...24 %, увеличивается и твердость стали 45 на 2,5 %, 40X – на 5,4 %. Изменение коэрцитивной силы свидетельствует о тонких изменениях в структуре сталей, закаленных под напряжением, и ее дисперсность.

Результаты испытаний на растяжение (диаметр рабочей части образца 6 мм) термически обработанных колец в сопоставлении с кольцами, закаленными под напряжением и по традиционному методу приведены в табл. 2.

Таблица 2

Сравнительная характеристика механических свойств

Марка стали	Механические свойства колец, закаленных традиционным способом					Механические свойства колец, закаленных под напряжением*				
	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	КСУ, МДж/м ²
45	776	488	17	53	0,96	$\frac{870}{12\%}$	$\frac{550}{13\%}$	$\frac{28}{65\%}$	$\frac{60}{13\%}$	$\frac{1,3}{33\%}$
40X	740	557	22	59	1,06	$\frac{760}{2,5\%}$	$\frac{560}{0,5\%}$	$\frac{29}{32\%}$	$\frac{63}{7\%}$	$\frac{1,5}{42\%}$

*Примечание: в знаменателе прирост показателей механических свойств за счет закалки под напряжением.

ВЫВОДЫ

Из данных эксперимента (табл. 2) видно, что закалка под напряжением, повышая все показатели механических свойств, особенно существенно увеличивает пластические и вязкие свойства термоулучшенных конструкционных сталей, что обусловлено, очевидно, особой дислокационной структурой мартенсита, полученного под напряжением. Так, относительное удлинение увеличивается на 30...32 %, относительное сужение – на 13 %, ударная вязкость – на 35 %. Имеет место и прирост прочностных характеристик (σ_b и σ_m) в пределах 12...13 %.

Учитывая, что механизм усталостного разрушения связан с развитием и накоплением в поверхностном слое микропластической деформации и основан на движении дислокаций, можно ожидать, что наличие «калибра» в осевом отверстии втулки уменьшит опасность образования микротрещин на внутренней поверхности втулки, а формирование напряжений сжатия при образовании мартенсита – на наружной ее поверхности. Изучение этих и других вопросов представляет интерес для дальнейшей работы в данном направлении.

ЛИТЕРАТУРА

1. Беленький Д. М. Теория надежности машин и металлоконструкций / Д. М. Беленький, М. Г. Ханукаев. – Ростов н /Д : Феникс, 2004. – 608 с.
2. Материаловедение : учебник для вузов / Арзамасов Б. Н., Макарова В. И., Мухин Г. Г., Рыжов Н. М., Силаева В. И. – 3-е изд. – М. : Изд-во МГТУ им Н. Э. Баумана, 2002. – 648 с.
3. Матеріалознавство та обробка металів / Кондратюк С. Є., Кіндрачук М. В., Степаненко В. О., Москаленко Ю. Н. – Київ : Вікторія, 2000. – 486 с.
4. Физическое материаловедение. В 3 т. Т. 2. Фазовые превращения. Металлография / Под ред. Р. Кана ; пер. с англ. – М. : Мир, 1998. – 480 с.
5. Белкін М. Я. Шляхи вирішення проблеми міцності та деформації при загартуванні / М. Я. Белкін, В. М. Нестеренко // Вісник Слов'янського педагогічного інституту : зб. наук. пр. – Слов'янськ : СПДІ, 2005. – № 1, вип. 1. – С. 69–72.