Math-Net.Ru

Общероссийский математический портал

Д. М. Задоян, Л. А. Азизбеян, Применение мощных ультразвуковых волн (УЗВ) в процессе закалки сталей, *Вестн. Сам. гос. техн. ун-та. Сер. Физ.-мат. науки*, 2004, выпуск 27, 38–41

DOI: <https://doi.org/10.14498/vsgtu264>

Использование Общероссийского математического портала Math-Net.Ru подразумевает, что вы прочитали и согласны с пользовательским соглашением

<http://www.mathnet.ru/rus/agreement>

Параметры загрузки:

IP: 52.87.193.239

26 апреля 2023 г., 12:49:47

ПРИМЕНЕНИЕ МОЩНЫХ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ ВОЛН (УЗВ) В ПРОЦЕССЕ ЗАКАЛКИ СТАЛЕЙ

Прогрессивные способы обработки металлов, в том числе термоультразвуковая обработка (ТУЗО), позволяют значительно улучшить свойства инструментальных материалов, расширить возможности их применения в различных отраслях [1, 2].

Применение ультразвуковых (УЗ) колебаний в процессе термической обработки закаливаемых сталей позволяет повысить стойкость инструментов в 1,5 – 2 раза. При этом эффективность ультразвуковой обработки зависит от многих факторов, в том числе от способа передачи УЗ колебаний обрабатываемому инструменту, мощности УЗВ, температуры, длительности УЗ обработки и т.д. [3, 4].

Известно, что после закалки сталь находится в неравновесном состоянии, обусловленном наличием в ней пересыщенных твердых растворов (мартенсита и остаточного аустенита, наряду с большим количеством избыточных карбидов), и требуется стабилизирующая дополнительная термическая обработка (отпуск). Такая обработка может привести к релаксации структурных микронапряжений (напряжений II рода) и, следовательно, частичному разупрочнению металла.

В работе предложено использовать ультразвуковую мощную энергию в процессе закалочной операции ст.45 с целью активизации заблокированных дислокаций с последующей релаксацией послезакалочных микронапряжений [5]. Исследовать влияние ультразвуковых волн на формирование субструктуры различных фаз железа после закалки для максимального сокращения влияния отпуска или его исключения.

Для этого нами был проведен следующий комплекс исследований. Образцы из ст.45 цилиндрической формы длиной $L = 100$ мм и диаметром $\varnothing = 10$ мм подвергались закалке традиционным способом: нагрев до $T = 1183$ °K, выдержка при такой температуре в течение 2-х минут, а затем резкое охлаждение в воде. Другая часть образцов закаливалась под непосредственным воздействием УЗВ частотой 20 кГц при различных амплитудах озвучивания. Термо – закалочные условия в обоих случаях оставались неизменными.

Процесс термоультразвуковой закалки (ТУЗЗ) длился 2 минуты. Послезакалочная УЗО продолжалась в течение 0-5 минут. После проведения комплекса закалочных операций образцы из ст.45 обеих серий исследовались рентгенографически. Оценивались суммарные остаточные микронапряжения ($\delta_x + \delta_y$), количество остаточной γ фазы железа, размер кристаллических блоков мозаики как в α , так и в γ структурах железа, а также микродеформации ($\Delta a/a$) кристаллической решетки железа.

В табл. 1 приведены результаты рентгенографических оценок суммарных остаточных микронапряжений ($\delta_x + \delta_y$) и процентное содержание остаточной γ фазы железа при ТУЗЗ ст.45 с различными амплитудами озвучивания без послезакалочной УЗО.

Т а б л и ц а 1

Результаты суммарных остаточных микронапряжений ($\delta_x + \delta_y$) и процентного содержания остаточного аустенита в процессе ТУЗЗ ст.45

№ образца	Амплитуда ТУЗЗ А (мкм)	Закалка без УЗВ		Закалка с УЗВ	
		($\delta_x + \delta_y$), МПа	γ - Fe, %	($\delta_x + \delta_y$), МПа	γ - Fe, %
1	5	+800	23	+600	20
2	10	+850	22	+450	17
3	15	+820	23	+400	15
4	20	+900	21	+350	13
5	25	+900	22	+350	12
6	30	+850	23	+300	13
7	35	+800	23	+350	12
8	40	+830	22	+300	12

Как видно из табл.1, с увеличением амплитуды (A) озвучивания происходит распад остаточного аустенита и торможение развития макронапряжений.

На рис. 1 приведены графические зависимости изменения суммарных остаточных макронапряжений ($\delta_x + \delta_y$) и процентного содержания остаточной γ фазы железа от амплитуды (A) ТУЗЗ.

В процессе рентгенографических исследований отмечается также уширение интерференционных линий 111_α - аустенита и 110_α - феррита, что свидетельствует о развитии субструктуры в кристаллических решетках отмеченных фаз в процессе ТУЗЗ. При помощи анализа уширений рентгеновских интерференционных линий 111_α - аустенита, а также 110_α и 220_α - феррита были оценены размеры кристаллических блоков, а также микродеформации.

Исходной формулой для определения процентного содержания остаточного аустенита является соотношение:

$$C(\gamma\%) = \frac{100}{1 - 0,74 \frac{J_{110}(\alpha)}{J_{111}(\gamma)}},$$

где $J_{110}(\alpha)$ и $J_{111}(\gamma)$ – интегральные интенсивности рентгеновских линий соответственно для α - Fe и γ - Fe

На рис.2 приведены графические зависимости микродеформаций и размеров кристаллических блоков в ферритной структуре, а также фрагментаций блоков мозаики в аустенитной фазе от амплитуды ТУЗЗ.

Р и с. 1. Изменение процентного содержания γ фазы железа (1) и суммарных остаточных макронапряжений (2) в процессе ТУЗЗ с различными амплитудами

Р и с. 2. Характер изменения микродеформаций ($\Delta a/a$) и размеров кристаллических блоков (D) в α и γ структурах железа при ТУЗЗ с различными амплитудами (A)

Для оценки элементов тонкой кристаллической структуры были получены следующие выражения:

$$\frac{\Delta a}{a} = \frac{\beta_2 \cos \theta_2 - \beta_1 \cos \theta_1}{4(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}, \quad D = \frac{0,94(\sin \theta_2 - \sin \theta_1)}{\beta_1 \cos \theta_1 \sin \theta_2 - \beta_2 \cos \theta_2 \sin \theta_1},$$

где β_1 и β_2 – истинные физические уширения рентгеновских интерференционных линий двух порядков, θ_1 и θ_2 – углы Вульфа – Брегга соответствующих отражений.

С целью изучения изменения прочностных характеристик в процессе ТУЗЗ ст.45 были проведены микротвердостные измерения при нагрузке на алмазный индентор $P = 1,96$ Н. Усреднение микротвердостных измерений проводилось по 10-15 уколам алмазной пирамидки. На рис. 3 приведены результаты микротвердостных измерений при ТУЗЗ ст.45 с различными амплитудами ультразвуковой обработки.

Как видно из графиков, представленных на рис. 3, микротвердость по мере увеличения амплитуды (мощности) ТУЗЗ растет и достигает насыщения при $A = 20-25$ мкм. Значение микротвердости по сравнению с закалкой стали без УЗО ($A = 0$) возрастает примерно на 13-15 %. Однако, если после ТУЗЗ ультразвуковое озвучивание продолжить в течение 3-5 минут, то микротвердость образцов значительно возрастает. На том же графике приведена зависимость

H_{μ} от амплитуды ТУЗЗ для образцов, прошедших послезакалочную ультразвуковую обработку в течение 3 минут. В этом случае величина микротвердости возрастает примерно на 30-35 %. Послезакалочная ультразвуковая обработка положительно влияет и на перераспределение термических остаточных макронапряжений, дополнительно снижает содержание остаточного аустенита в закаленном материале. В табл. 2 приведены результаты оценки суммарных остаточных макронапряжений ($\delta_x + \delta_y$) и содержания остаточной γ фазы железа в процессе ТУЗЗ с последующей УЗО в течение различного времени.

Т а б л и ц а 2

Результаты измерений остаточной γ - Fe и суммарных макронапряжений ($\delta_x + \delta_y$) в процессе ТУЗО с различными амплитудами (A) и временем (t) послезакалочной УЗО

N_0/N_0	A, (мкм)	t, мин.	γ - Fe, %	($\delta_x + \delta_y$), МПа
1	0	0	22	+800
2	10	1	14	+450
3	10	2	12	+400
4	10	3	10	+320
5	10	4	11	+300
6	10	5	10	+300
7	20	3	8	+260
8	25	3	6	+200
9	30	3	6	+160
10	40	3	7	+150

Как видно из табл. 2, продолжительность (t) послезакалочной УЗО значительно влияет на степень распада остаточного аустенита и на перераспределение (сглаживание) суммарных остаточных макронапряжений. При этом наиболее эффективным для получения стабильной, ненапряженной структуры является ТУЗЗ с амплитудой ультразвуковых колебаний 30-40 мкм и продолжительностью послезакалочной УЗО в течение 3-х минут. Послезакалочная УЗО положительно влияет и на механические свойства закаленного металла. Она приводит к росту усталостной прочности ст.45.

На рис. 4 показано число циклов до разрушения цилиндрических образцов из ст.45, подвергнутых ТУЗЗ с амплитудой озвучивания 25 мкм с последующим УЗО в течение различного времени (t). Здесь же показано изменение суммарных остаточных макронапряжений ($\delta_x + \delta_y$) в процессе послезакалочной УЗО.

Р и с. 3. Значение микротвердости при ТУЗЗ стали 45: 1) ТУЗЗ без послезакалочной УЗО; 2) ТУЗЗ с послезакалочной УЗО в течение 3 мин.

Р и с. 4. Зависимость числа циклов до разрушения (1) и релаксация макронапряжений (2) в процессе усталостного нагружения стали 45, подвергнутой ТУЗЗ с последующей УЗО в течение различного времени.

Как видно из приведенных графиков, повышение усталостной долговечности при знакопеременных испытаниях закаленной стали 45 по мере увеличения продолжительности (t) после закалочной УЗО обусловлено снижением значений ($\delta_x + \delta_y$).

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. *Нерубай М.С.* Применение ультразвука при обработке жаропрочных и титановых сплавов // *Машиностроение*. 1978. №8. С. 21-23.
2. *Азизбекян Л.А., Нерсисян Э.Ц., Оганесян Д.Г.* Повышение качества сварного шва методом ультразвуковой волновой обработки // *Научные труды АрмСХА. Серия: Технические науки*. Ереван, 1996. Вып.1. С.180-184.
3. *Марков А.И.* Ультразвуковая обработка металлов. М.: Машиностроение, 1980. 236с.
4. *Кравченко В.А., Нерубай М.С., Штриков Б.Л.* Суперфиниширование деталей подшипников с применением ультразвука // *Вестник Машиностроения*. 1978. №10. С. 67-70.
5. *Азизбекян Л.А., Саноян М.Г.* Рентгенографические исследования кристаллического строения металлов, подвергнутых ультразвуковой обработке // *Агронаука*. Ереван. 1999. №10. С. 966-970.

Поступила 19.02.2003 г..