

УДК 539.763

ПЕРЕРАСПРЕДЕЛЕНИЕ УГЛЕРОДА В ЭВТЕКТОИДНОЙ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ СТАЛИ У8 ПРИ ОБРАБОТКЕ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

© 2020 В.А. Путилин, А.В. Камашев

Самарский государственный технический университет

Статья поступила в редакцию 12.05.2020

Работа посвящена изучению массопереноса углерода в инструментальной стали У8 при обработке импульсным лазерным излучением. Экспериментально изучено распределение основных фаз (мартенсита и остаточного аустенита) по глубине зоны лазерного воздействия.

Ключевые слова: импульсное лазерное воздействие, упрочняющая обработка, мартенсит, остаточный аустенит.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-3-148-151

Процессы перераспределения углерода в сталях при импульсных воздействиях различной физической природы представляет как научный, так и практический интерес, поскольку позволяет варьировать физико-механические свойства: твёрдость, износостойкость и долговечность конструкционных и инструментальных материалов. Этому вопросу посвящено большое количество работ [1-6]. Как указывалось выше, углерод в сталях может находиться в составе твердых растворов или химических соединений – карбидов. Особый интерес представляют закаленные стали, имеющие в своем структурно-фазовом составе мартенсит и остаточный аустенит. Содержание углерода в мартенсите и остаточном аустените однозначно связано с периодом кристаллической решетки указанных фаз. Аналитически эти зависимости имеют вид [5]:

для мартенсита:

$$\begin{aligned} a &= 2,866 - 0,015p; c = 2,866 + 0,118p; \\ c/a &= 1 + 0,0467p. \end{aligned} \quad (1)$$

Для остаточного аустенита:

$$a = 3,555 + 0,044p. \quad (2)$$

Здесь p – содержание углерода в % по массе. Межплоскостные расстояния d/n определяются с помощью номограммы из работы [5].

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДИКА ИССЛЕДОВАНИЙ

В данной работе был изучен процесс перераспределения углерода в инструментальной стали У8 эвтектоидного состава (с содержанием углерода 0,8%) при импульсного лазерном воздействии. Обработка осуществлялась на установке ГОС-1001. Предварительно отожженный

образец имел размеры: 40x40x8мм. Режимы воздействия были следующими: длительность лазерного импульса ~ 1мс, энергия импульса ~ 300 Дж, диаметр пятна лазерного излучения – 11 мм; обработка велась на воздухе. Наблюдалось частичное оплавление поверхности обработки.

Далее был произведен послойный рентгеноструктурный анализ на рентгеновском дифрактометре ДРОН-3.0 с использованием фильтрованного K_{α} -излучения кобальта. Слои снимались методом электрополирования с периодическим контролем толщины индикатором часового типа (цена деления – 0,01 мм). Для определения количества остаточного аустенита был использован метод гомологических пар [6]. Были выбраны линии $(200)_{\gamma}$ остаточного аустенита и линии $(110-011, 101)_{\alpha}$ мартенситного дублета. Расположение линий на различных глубинах и в эталоне из отожженной стали У8 представлены на Рис. 1.

По интенсивности и расположению центра тяжести линии $(200)_{\gamma}$ можно судить о количестве остаточного аустенита в структуре стали и процентном содержании углерода в аустените. Период кристаллической решетки аустенита можно рассчитать, зная расположение максимумов дифракционных линий. Для этого использовалась формула Вульфа-Бреггов:

$$d_{hk\bar{l}} = \frac{n\lambda}{2 \sin \vartheta}, \quad (3)$$

где n – порядок отражения, λ – длина волны рентгеновского излучения (для излучения кобальта $\lambda=1,79021\text{Å}$), θ – угол скольжения.

Методика определения количества остаточного аустенита была следующей. Определялись: площадь S_1 под кривой $(110-011, 101)_{\alpha}$ мартенсита вместе с линией $(111)_{\gamma}$ аустенита и S_2 , – площадью под кривой $(200)_{\gamma}$ аустенита. Тогда количество остаточного аустенита

$$A_{\text{ауст}} = \frac{2,704 \cdot S_2 / S_1}{1 + 0,825 \cdot S_2 / S_1} \cdot 100\% \quad (4)$$

После расчета межплоскостного расстояния

Путилин Владислав Алексеевич, старший преподаватель кафедры «Общая физика и физика нефтегазового производства».

Камашев Андрей Владимирович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Общая физика и физика нефтегазового производства». E-mail: physics@samgtu.ru

для линии $(200)_\gamma$ остаточного аустенита по формуле (4) определялось содержание углерода в этой фазе. Среднее количество углерода в мартенсите определялось по степени тетрагональности c/a .

Определение количества остаточного аустенита и мартенсита, а также содержание углерода в них при импульсной лазерной обработке стали У8

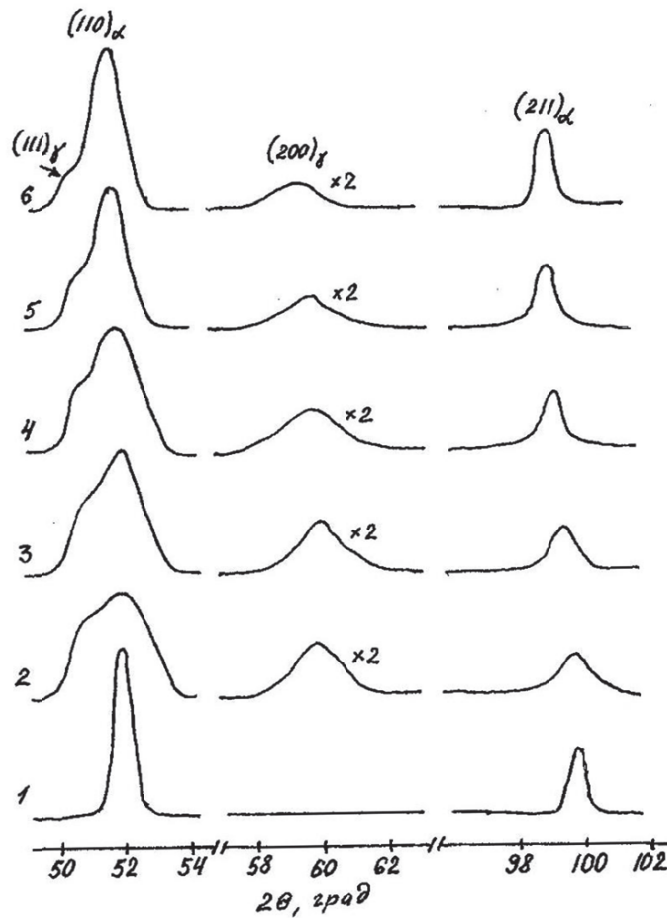


Рис. 1. Расположение дифракционных линий остаточного аустенита $(200)_\gamma$ и мартенсита $(110-011, 101)_\alpha$ на эталоне (кривая 1), на поверхности (кривая 2) и на глубинах 50, 90, 110 и 140 мкм, (соответственно, кривые 3, 4, 5 и 6) при импульсной лазерной обработке стали У8.

Глубина, Мкм	$\theta_{(200)}$ град	$\theta_{(110-011,101)_\alpha}$ град.	Кол-во $A_{ост}$ %	$C_{угл}$ в $A_{ост}$ %	Кол-во М, %	$C_{угл}$ в М, %
0	29,98	26,24	23	0,65	77 – К	0,78
50	29,85	26,23	18	0,87	82 – К	0,56
90	29,75	26,22	11	1,45	89 – К	0,32
110	29,60	26,21	3,5	1,9	96,5 – К	0,14
140	—	26,21	> фона	> фона	~100– К	~0

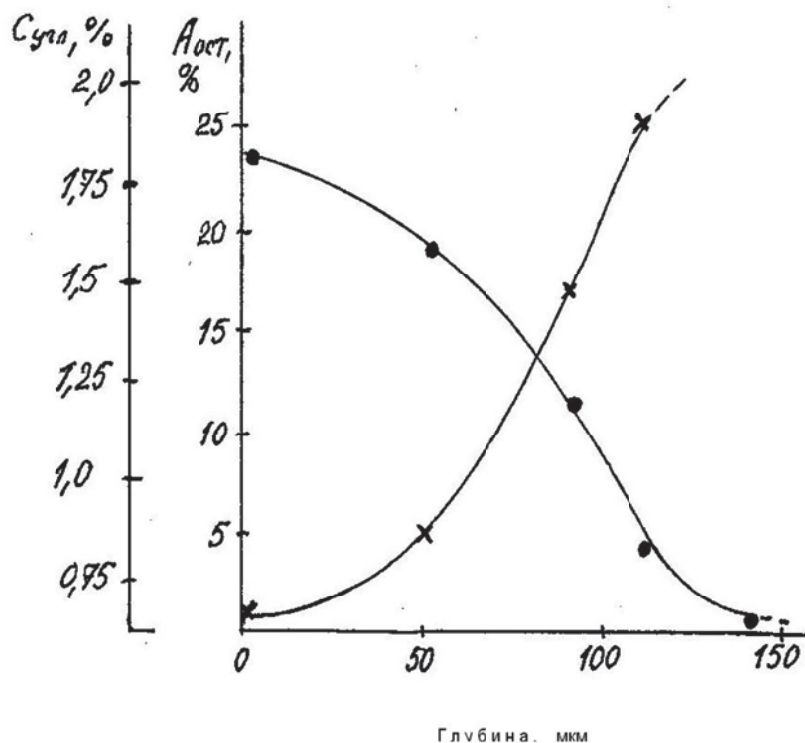


Рис. 2. Распределение количества остаточного аустенита – ● и концентрации углерода в остаточном аустените – × по глубине зоны импульсного лазерного воздействия в стали У8.

ОБСУЖДЕНИЕ ПОЛУЧЕННЫХ РЕЗУЛЬТАТОВ

Из результатов расчета видно, что с увеличением глубины количество остаточного аустенита уменьшается с 23% (на поверхности образца) до нуля (на глубине 140 мкм), а содержание углерода в остаточном аустените увеличивается с 0,63% (на поверхности образца) до 1,9% (на глубине 110 мкм). Этот экспериментально наблюдаемый факт можно объяснить следующим образом. Температура лазерного нагрева стали снижается с увеличением глубины зоны термического воздействия. Во время нагрева выше температуры A_{c1} (на глубине от 0 до 110-140 мкм) происходит образование аустенита, который при последующем быстром охлаждении стали должен превратиться в мартенсит. Часть аустенита не превращается, так как для этого необходимо дальнейшее охлаждение ниже комнатной температуры. Как известно [7], чем больше углерода в аустените, тем ниже температура начала мартенситного превращения, поэтому наиболее стабилен аустенит, имеющий наибольшее содержание углерода (в данном случае такой аустенит находится на глубине 110-140 мкм). Так как на такой глубине температура нагрева лишь ненамного превышала температуру A_{c1} , то и аустенита здесь образовалось мало. Поскольку основным источником углерода в стали У8 является цементит (находящийся в составе перлита), с содержанием углерода 6,67%, то его

полное растворение затруднено в связи с кратковременностью лазерного импульса, а также недостаточно высокой температурой на данной глубине.

ВЫВОДЫ

1. Проведено послойное количественное определение фазового состава стали У8 после импульсного лазерного воздействия.

2. С увеличением глубины количество остаточного аустенита уменьшается с 23% (на поверхности образца) до нуля (на глубине 140 мкм), а содержание углерода в остаточном аустените увеличивается с 0,63% (на поверхности образца) до 1,9% (на глубине 110 мкм).

3. Поскольку основным источником углерода в стали У8 является цементит (находящийся в составе перлита), с содержанием углерода 6,67%, то его полное растворение затруднено в связи с кратковременностью лазерного импульса, а также недостаточно высокой температурой на данной глубине.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Криштал М.А., Жуков А.А., Кокора А.Н. Структура и свойства сплавов, обработанных излучением лазера. М.: Металлургия. 1973. 192 с.
2. Рыкалин Н.Н., Улов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов. Справочник. М.: Машиностроение. 1985. 496 с.
3. ГОСТ 5950-2000 Прутки, полосы и мотки из инструментальной стали. Общие технические условия.

4. Брик В.В., Ларионов Л.Н. Закономерности перераспределения атомов углерода при фазовых превращениях в стали при лазерном облучении // *Металлофизика*, 1989, Т.11, В.3, С.26-29.
5. Дьяченко С.С. Образование аустенита в железоуглеродистых сплавах. М.: *Металлургия*, 1982, 128 с.
6. Гурвич Л.О., Соболев Э.Н. Влияние кинетики П-А-превращения, лимитируемого диффузией, на расчет толщины закаленного слоя при термической обработке стали // *Изв. АН СССР. Металлы*, 1984, В.6, С.154-159
7. Гуляев А. П. Образование аустенита в низкоуглеродистых сталях// *МиТОМ*,1989, № 8, С. 21-24.

MASSTRANSFERT OF CARBON IN THE TOOLS STEEL U8 UNDER INFLUENCE PULSE LASER

© 2020 V.A. Putilin, A.V. Kamashev

Samara State Technical University

The work is devoted to the analysis of masstransfers of carbon in tools steel U8 under influence pulse laser. Experimentally the demonstrated distribution the phase (martensite and austenite) of using laser pulse.

Key words: pulse laser influence, martensite, austenite.

DOI: 10.37313/1990-5378-2020-22-3-148-151