

УДК 620.378.325

Дощечкина И.В., канд. техн. наук  
Лалазарова Н.А., канд. техн. наук  
Попова Е.Г., канд. техн. наук  
Афанасьева О.В., канд. техн. наук

## ИЗМЕНЕНИЕ СТРУКТУРЫ МАЛОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПОД ДЕЙСТВИЕМ ИМПУЛЬСНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Технологические процессы, основанные на воздействии лазерного излучения на материалы, нашли широкое применение в производстве [1]. Многочисленные эксперименты [2] свидетельствуют о том, что при этом в сталях упрочнение происходит намного интенсивнее, чем при других известных методах поверхностной обработки.

В литературе довольно широко освещены исследования структуры и субструктур, формирующейся при лазерном излучении [3]. Однако особенности образования и распада аустенита в сталях при взаимодействии с лучом лазера изучены недостаточно, хотя именно эти процессы и определяют степень упрочнения. Выяснение сущности процессов даёт возможность управлять  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ -превращением и, как следствие, получать высокие эксплуатационные свойства.

Цель данного исследования – изучить влияние плотности энергии излучения и количества импульсов на перекристаллизацию и упрочнение стали 20.

Для лазерной обработки применялась установка «Квант 18» на основе твердотельного Nd<sup>3+</sup>:YAG-лазера с длиной волны  $\lambda=1,06\text{мкм}$ . Длительность импульса составляла 4 мс при частоте следования импульсов 0,3 Гц. Данная установка обеспечивает неравномерность распределения плотности энергии по сечению пучка не более 5%, что особенно важно для получения достоверных результатов металлографических исследований и измерения микротвердости.

Исследование подвергалась отожжённая сталь 20. Полированная поверхность облучалась импульсами с различной плотностью энергии (до 150 Дж/см<sup>2</sup>) без оплавления шлифа. Плотность энергии импульсов излучения изменяли посредством различной величины смещения облучаемой поверхности из фокальной плоскости объектива установки.

После лазерной обработки образцы подвергались травлению, металлографическому и электронно-микроскопическим исследованиям на микроскопах **МИМ-7** и ... соответственно. Микротвёрдость измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

Металлографические исследования свидетельствуют, что при облучении импульсами с плотностью энергии менее 130 Дж/см<sup>2</sup>, структурных изменений не происходит. Не изменяется и микротвёрдость феррита и перлита, которая соответствует 160 и 220 кгс/мм<sup>2</sup> и отвечает уровню для отожжённой стали 20.

С повышением плотности энергии до 150 Дж/см<sup>2</sup> структура стали изменяется. При этом можно выделить три зоны, которые соответствуют исходной феррито-перлитной структуре, межкритическому интервалу температур  $A_{c1}$ - $A_{c3}$  и надкритическому интервалу.

В первую очередь аустенит образуется в перлитных колониях и воспроизводит их конфигурацию. В межкритическом интервале температур структура стали представляет собой исходный неперекристаллизовавшийся феррит и мартенсит, образовавшийся в результате  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ -превращения на месте перлитных зёрен.

В области, нагретой до надкритических температур, строение стали крайне неоднородно, хотя и феррит и перлит испытали превращение. Структура состоит из мартенситных кристаллов и  $\alpha$ -фазы, прошедшей  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$  перекристаллизацию (рис. 1).

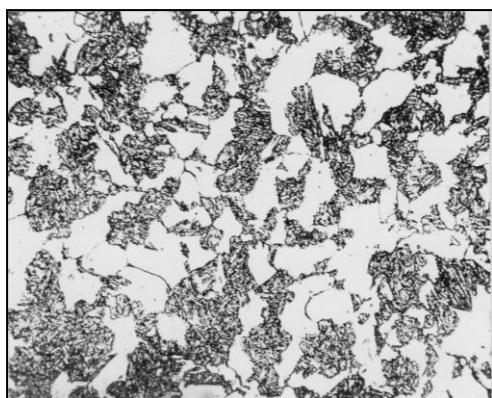


Рисунок 1 – Микроструктура стали 20 после лазерной обработки с нагревом в область надкритических температур,  $\times 350$

Электронно-микроскопические исследования выявили в мартенсите включения цементитных пластин, которые не успели раствориться в  $\gamma$ -фазе при нагреве. В  $\alpha$ -фазе образуется мелкодисперсная блочная структура, что отличает её от исходного феррита. При этом мартенситные зёрна отделены от  $\alpha$ -фазы очень чёткими границами.

После облучения с большой плотностью энергии различий в структуре металлографически не наблюдается. Но электронно-микроскопические исследования показали существенное уменьшение в мартенсите нерастворённых пластин цементита.

В соответствии с изменением строения стали изменилась и твёрдость структурных составляющих. Причём, чем выше энергия импульса, тем больше значения микротвёрдости. При плотности энергии импульса 150 Дж/см<sup>2</sup> микротвёрдость достигает максимальных значений – 630 для мартенсита и 200 кгс/мм<sup>2</sup> для феррита. Такие результаты получаются в том случае, когда в аустените полностью растворяются карбидные частицы.

К заметным структурным изменениям приводит и изменение количества импульсов излучения. После воздействия двух импульсов при плотности энергии 150 Дж/см<sup>2</sup> вокруг мартенситных кристаллов появляется тёмная кайма, а в  $\alpha$ -фазе происходит дробление зёрен.

Очень существенно изменяется микроструктура под воздействием пяти импульсов – образуется однородный игольчатый мартенсит (рис. 2).

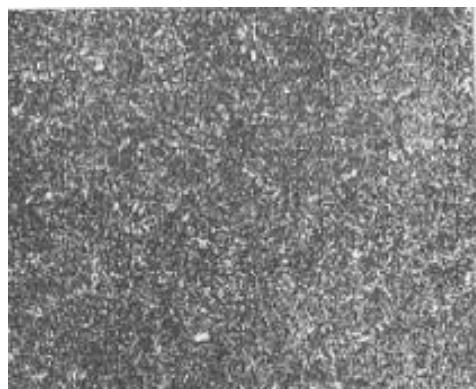


Рисунок 2 – Микроструктура стали 20 после лазерной обработки (количество импульсов – 5)  $\times?$

Наблюдаемые структурные изменения объясняются кратковременностью действия лазерных импульсов ( $4 \times 10^{-3}$  с). За это время сталь нагревается до температур аустенитного состояния ( $>A_{c3}$ ). При этом из перлитных колоний, содержащих 0,8 % С, возникает  $\gamma$ -фаза с высокой концентрацией углерода, но меньше эвтектоидной. Об этом свидетельствует наличие нерастворённых цементитных пластин. Из феррита образуется малоуглеродистый  $\gamma$ -твёрдый раствор. Поэтому при нагреве стали 20 в надкритический интервал возникает крайне неоднородный по составу аустенит.

После прекращения действия лазерного луча происходит резкое охлаждение в результате теплоотвода, что приводит к превращению высокоуглеродистого аустенита в мартенсит, а малоуглеродистой  $\gamma$ -фазы в  $\alpha$ -твёрдый раствор. Об этом свидетельствует как морфология структурных составляющих, так и значения микротвёрдости.

С увеличением плотности энергии импульса температура нагрева возрастает, диффузионные процессы активизируются и за время действия цементит перлита полностью растворяется в образующемся аустените. Этим и объясняется повышение твёрдости мартенсита.

При увеличении количества импульсов до 10 концентрация углерода в аустените выравнивается вследствие его диффузии из высокоуглеродистой  $\gamma$ -фазы в малоуглеродистую. Это подтверждает рис.3. Тёмная кайма вокруг мартенситных участков – это результата перемещения атомов углерода.

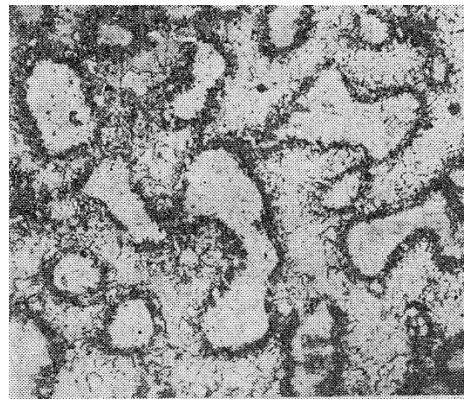


Рисунок 3 – Микроструктура стали 20 после лазерной обработки (количество импульсов – 10),  $\times 2000$

При достаточном количестве импульсов происходит гомогенизация аустенита, в результате чего при охлаждении образуется однородная структура игольчатого мартенсита со средним содержанием углерода в стали.

### Выводы

1. При воздействии лазерного излучения в стали очень быстро происходит перекристаллизация по схеме  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ .
2. В образующемся при нагреве аустените распределение углерода крайне неоднородно.
3. Выравнивания концентрации углерода в аустените и образования однородной структуры можно достичь увеличением энергии импульсов до 150 Дж/см<sup>2</sup> и их количества (до 10).

### Список литературы

1. Андрияхин В.М. Процессы лазерной сварки и термообработки / В.М. Андрияхин. – М.: Наука, 1988. – 176 с.
2. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В.С. Коваленко, Л.Ф. Головко, В.С. Черненко. – К.: Техника, 1990. – 192 с.
3. Основы лазерного термоупрочнения сплавов/А.Г. Григорьянц, А.Н. Сафонов; Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Высшая школа, 1988. – 159 с.
4. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Технологические процессы лазерной обработки. М.: изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. - 664 с.

УДК 620.378.325

Импульсное лазерное излучение оказывает интенсивное упрочняющее действие на сталь. Работа посвящена изучению особенностей образования и распада аустенита при взаимодействии с лучом лазера, влиянию плотности энергии излучения и количества импульсов на процессы перекристаллизации и упрочнения стали 20. Установлено, что при воздействии лазерного излучения в стали очень быстро происходит перекристаллизация по схеме  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ . Показано, что в образующемся при нагреве аустените распределение углерода крайне неоднородно. Выявлено, что выравнивания концентрации углерода в аустените и образования однородной структуры можно достичь увеличением энергии импульсов до 150 Дж/см<sup>2</sup> и их количества до 10.

Ключевые слова: импульсное лазерное излучение, аустенит, мартенсит, плотность энергии, количество импульсов.

Іл. 3. Бібліогр.: 3 назв.

Імпульсне лазерне випромінювання має інтенсивну зміцнюючу дію на сталь. Робота присвячена вивченю особливостей утворення і розпаду аустеніту при взаємодії з променем лазера, впливу щільності енергії випромінювання і кількості імпульсів на процеси перекристалізації і зміцнення сталі 20. Встановлено, що при дії лазерного випромінювання всталі дуже швидко відбувається перекристалізація за схемою  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ . Показано, що в утвореному при нагріванні аустеніті розподіл вуглецю вкрай неоднорідний. Виявлено, що вирівнювання концентрації вуглецю в аустеніті і утворення однорідної структури можна досягти збільшенням енергії імпульсів до 150 Дж/см<sup>2</sup> та їх кількості до 10.

Іл. 3. Бібліогр.: 3 назв.

Pulsed laser radiation has an intense effect on hardening steel. The work examines the characteristics of formation and decomposition of austenite in the interaction with the laser beam, influence of the radiation energy density and number of pulses on processes that use recrystallizing and hardening steel 20. It was found out that when steel is being exposed by laser radiation it becomes very fast recrystallizing in it by scheme  $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ . It is shown that in the resultant under heating austenite the carbon distribution is very heterogeneous. It was revealed that the concentration of the alignment of carbon in austenite and an education-homogeneous structure can be achieved by increasing the pulse energy of 150 J/cm<sup>2</sup> and their number to 10.

Tags: pulsed laser light, austenite, martensite, energy density, the number of pulses. Fig. 3. Bibliogr.: 3 sources