

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 субструктуры, формирующихся 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 сути 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 Nd³⁺:YAG-лазера с длиной волны $\lambda=1,06$ 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.

Исследованию подвергалась отожжённая сталь 20. Полированная поверхность облучалась импульсами с различной плотностью энергии (до 150 Дж/см²) 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 оптическом микроскопе МИМ-7 и растровом электронном микроскопе РЭМ-200 соответственно. Микротвёрдость измерялась на приборе ПМТ-3 при нагрузке 100 г.

Металлографические исследования свидетельствуют о том, что при облучении импульсами с плотностью энергии менее 130 Дж/см² структурных изменений не происходит. Не изменяется и микротвёрдость

феррита и перлита, которая соответствует 160 и 220 кгс/мм² и отвечает уровню для отожжённой стали 20.

С повышением плотности энергии до 150 Дж/см² 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 α -фазы, прошедшей $\alpha \rightarrow \gamma \rightarrow \alpha$ перекристаллизацию (рис. 1).

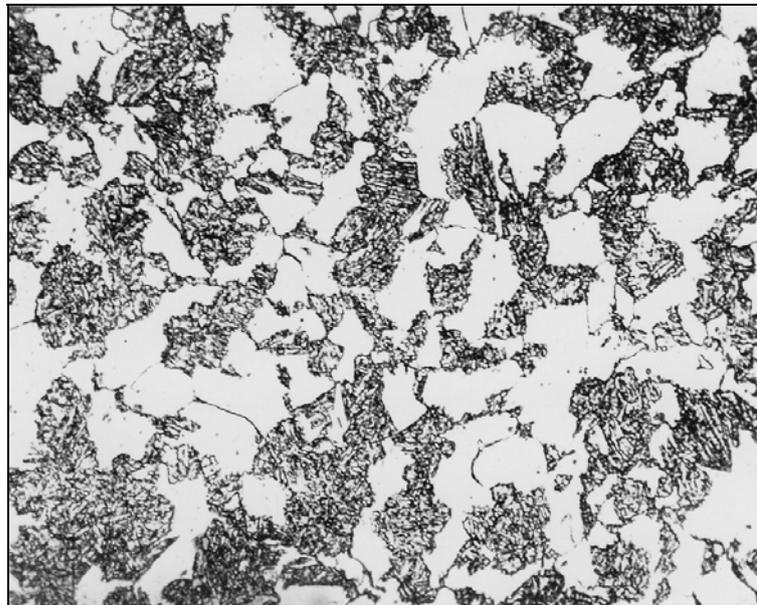


Рисунок 1 – Микроструктура стали 20 после лазерной обработки с нагревом в область надкритических температур, $\times 350$

Электронно-микроскопические исследования выявили в мартенсите включения цементитных пластин, которые не успели раствориться в γ -фазе при нагреве. В α -фазе образуется мелкодисперсная блочная структура, что отличает её от исходного феррита. При этом мартенситные зёрна отделены от α -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^2 микротвёрдость достигает максимальных значений – 630 для мартенсита и 200 кгс/мм^2 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^2 вокруг мартенситных кристаллов появляется тёмная кайма, а в α -фазе происходит дробление зёрен.

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

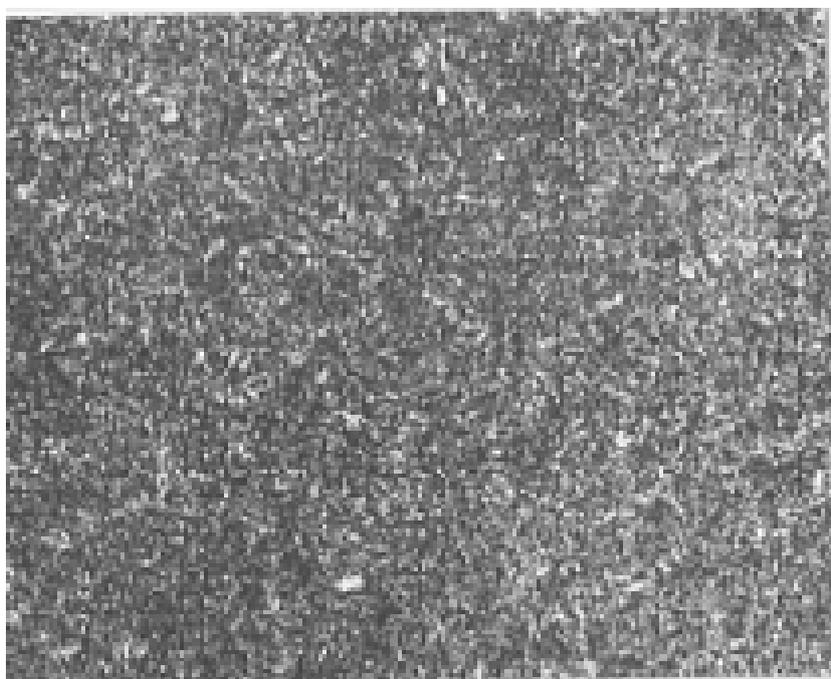


Рисунок 2 – Микроструктура стали 20 после лазерной обработки (количество импульсов – 5), $\times 350$

Наблюдаемые структурные изменения объясняются кратковременностью действия лазерных импульсов ($4 \times 10^{-3} \text{ с}$). За это время сталь нагревается до температур аустенитного состояния ($>A_{c3}$). При этом из перлитных колоний, содержащих 0,8 % С, возникает γ -фаза с высокой концентрацией углерода, но меньше эвтектоидной. Об этом свидетельствует наличие нерастворённых цементитных пластин. Из феррита образуется малоуглеродистый γ -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 γ -фазы в α -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 γ -фазы в малоуглеродистую. Это подтверждает рис. 3. Тёмная кайма вокруг мартенситных участков – это результат перемещения атомов углерода.

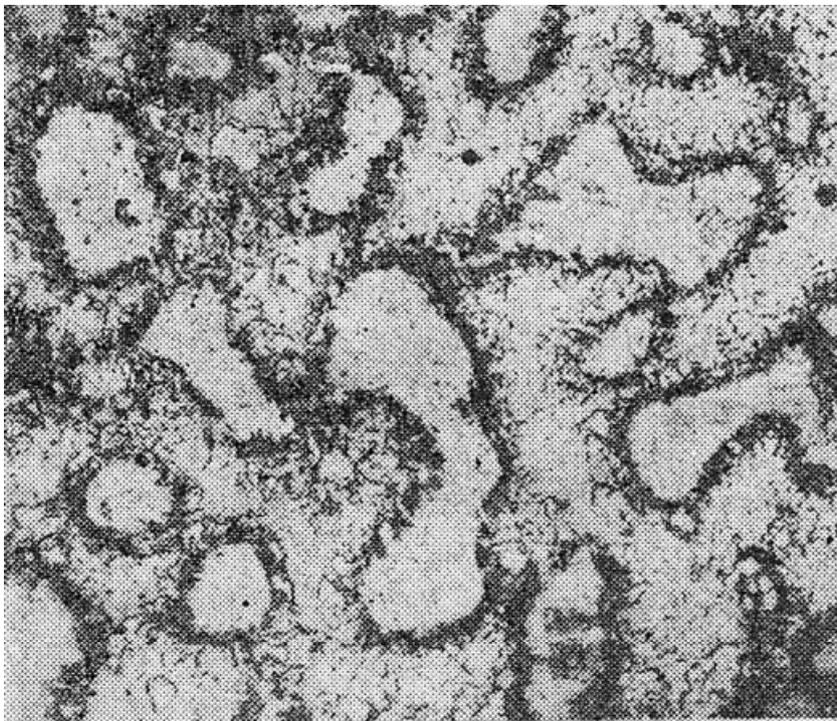


Рисунок 3 – Микроструктура стали 20 после лазерной обработки (количество импульсов – 10), $\times 2000$

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^2 и их количества (до 10).

Список использованных источников

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

Поступила в редакцию 20.05.2015.

*Рецензент: д-р техн. наук, проф. М.Е. Тараненко,
Национальный аэрокосмический университет
им. Н.Е. Жуковского «ХАИ», г. Харьков.*