

ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА ЭВОЛЮЦИЮ ВНУТРЕННИХ НАПРЯЖЕНИЙ В ЛИТОЙ СРЕДНЕЛЕГИРОВАННОЙ КОНСТРУКЦИОННОЙ СТАЛИ

Тихонькова О. В., Климашин С. И., Попова Н. А. *, Козлов Э. В. *, Громов В. Е.

Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
gromov@physics.sibsiu.ru

**Томский государственный архитектурно-строительный университет, Томск,*
kozlov@tsuab.ru

Основными параметрами, влияющими на механические свойства, являются структура твердого раствора, карбидные выделения, дислокационная структура, типы и расположение различного рода границ в стали. Хотя механические свойства литых сталей много исследованы, тем не менее, структурные основы прочности этих сталей изучены мало. В связи с этим, актуальным является изучение структуры и измерение объемных долей морфологических составляющих матрицы литых сталей, измерение количественных параметров тонкой структуры и соотношение их с катанными сталями. Это исследование должно проводиться в связи с видоизменениями структуры в процессе термической обработки [1–3].

Внутренние напряжения определяют формоизменение материала при отжиге и могут повлечь за собой остаточные деформации. Особенно опасны концентраторы напряжений в локальных участках материала. Изучение внутренних полей напряжений в настоящей работе проводилось методом рентгеноструктурного анализа по размытию дифракционных линий и методом дифракционной электронной микроскопии по параметрам изгибных экстинкционных контуров [1–3].

Закалка стали, прежде всего, сопровождается формированием дальнедействующих полей напряжений. В сложной структуре стали, созданной $\gamma \rightarrow \alpha$ превращением в результате закалки, присутствует ряд источников полей напряжений. Во-первых, $\gamma \rightarrow \alpha$ превращение в ходе закалки приводит к значительной бейновской деформации, величина которой достигает значений $\epsilon = 0,13\text{--}0,20$. Такая значительная упругая деформация приводит к пластической деформации и, соответственно, к созданию в материале больших полей напряжений. Несовместность бейновской деформации в различно ориентированных мартенситных пакетах приводит к возникновению дополнительных полей напряжений в их стыках. Генерация дислокаций и развивающаяся дислокационная структура частично ослабляют упругие поля напряжений, а фрагментация дислокационной структуры снижает внутренние напряжения еще значительнее. Во-вторых, закалка стали приводит к накоплению в ней высокой скалярной плотности дислокаций, организованных в субструктуру, которые дают вклад в поле напряжений. Незаряженный дислокационный ансамбль, т.е. ансамбль без избыточных дислокаций, генерирует напряжение сдвига, заряженный – моментные напряжения. Закалка исследуемой стали приводит к накоплению в ней высокой скалярной плотности дислокаций, достигающей значения $\sim 1,5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$. Последующий отпуск снижает её величину почти в 2 раза. Такая дислокационная структура, в свою очередь, формирует большие внутренние напряжения. Эти напряжения частично компенсируют упругие напряжения, возникшие при бейновской деформации, а частично – их усиливают. В-третьих, формирующаяся в термообработанной стали дислокационная структура наряду со скалярной плотностью дислокаций характеризуется высоким значением избыточной плотности дислокаций.

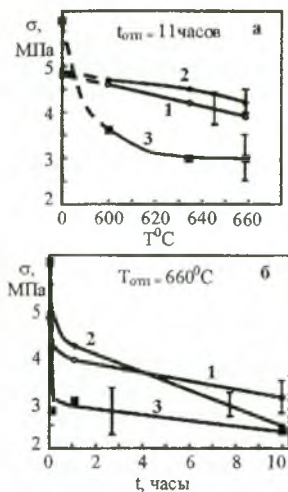


Рис. 1. Влияние температуры (а) и продолжительности (б) отпуска на амплитуду напряжения сдвига (1), амплитуду моментных напряжений (2) и амплитуду напряжений растяжения-сжатия (3) в литой стали 30XНЗМФА

компенсируют (или экранируют) друг друга локальные источники и дислокационная структура.

Таким образом:

1. Закалка литой стали приводит к большой бейновской деформации, достигающей величины $\epsilon = 0,13-0,20$. Релаксация упругих бейновских напряжений приводит к генерации дислокаций, достигающих высокой скалярной плотности величиной $\sim 1,5 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$. При этом самого высокого значения ($\sim 1,6 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$) она достигает в пакетном мартенсите, самого низкого ($\sim 1,4 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$) – в пакетном бейните.
2. Закалка литой стали приводит к высокой избыточной плотности дислокаций ($\sim 0,6 \cdot 10^{15} \text{ м}^{-2}$), вызывающей высокие внутренние поля напряжений, релаксация которых приводит к формированию первично фрагментированной субструктуры уже в процессе закалки. Установлено, что первичная фрагментация возникает только в пакетном мартенсите и только в мелких пакетах.
3. Отпуск стали приводит к снижению внутренних напряжений, причем действие температуры отпуска менее выражено, чем действие продолжительности отпуска. Количественно показано, что отпуск приводит вначале к взаимному экранированию локальных источников напряжений и образованной в материале дислокационной структуры, а затем к спаданию напряжений от локальных источников и дислокационной структуры. Установлено, что остаточные напряжения после длительного (~ 100 часов) отпуска имеют величину $\sim 300 \text{ МПа}$, что составляет $\sim 1/3 \sigma_{0.2}$. Таким образом, длительный отпуск привел к упрочнению стали.

Последняя также вызывает высокие внутренние поля напряжений (моментные напряжения). В четвертых, вклад во внутренние поля создается дисклинациями, которые расположены в стыках пакетов и стыках пакетов и пластин. В этих местах стыковые дисклинации являются источниками полей напряжений.

Таким образом, основными источниками внутренних полей напряжений уже после закалки исследуемой стали являются: 1) скалярная плотность дислокаций; 2) поляризация дислокационной структуры и избыточная плотность дислокаций; 3) сохранившаяся частично упругая несовместность деформации превращения; 4) стыковые дисклинации.

Отпуск стали приводит к снижению внутренних напряжений (рис.1). Данные рис.1 свидетельствуют, что амплитуды всех типов напряжений при любых параметрах отпуска близки. Кроме того, рис.1 наглядно демонстрирует различное поведение этих напряжений, указывающее на то, как происходит релаксация напряжений при отпуске. А именно: кр.1 (сдвиговые напряжения) демонстрирует, что дислокационная структура все время постепенно перестраивается, чтобы релаксировать поля напряжений; кр.2 (моментные напряжения) свидетельствует об уменьшении роли локальных полей напряжений; кр.3 показывает, как взаимно

Список литературы

1. Козлов Э.В., Попова Н.А., Климашин С.И. и др. Влияние закалки на структуру и фазовый состав литой конструкционной стали 30ХНЗМФА // Ползуновский вестник – 2005. - №2. – С.153-158.
2. Козлов Э.В., Попова Н.А., Климашин С.И. и др. Влияние отпуска на субструктуру и скалярную плотность дислокаций литой конструкционной среднелегированной стали // Изв. вузов. Физика. – 2006. - №1. – С.44-50.
3. Климашин С.И., Козлов Э.В., Попова Н.А. и др. Природа полей внутренних напряжений в закаленной стали 30ХНЗМФА // Изв. вузов. Черная металлургия. – 2006. - №4. – С.27-29.

УДК 669.295.69:621.793

ЗАКОНОМЕРНОСТИ ФОРМИРОВАНИЯ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ ЖЕЛЕЗА И НИКЕЛЯ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ ВИДАХ ЭЛЕКТРОВЗРЫВНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Цвиркун О. А., Будовских Е. А., Иванов Ю. Ф., Громов В. Е.

*Сибирский государственный индустриальный университет, Новокузнецк,
gromov@physics.sibsiu.ru*

Развитие производства расширяет требования к современным конструкционным и инструментальным материалам в отношении их характеристик прочности, надежности и долговечности. В связи с этим, в настоящее время опережающими темпами разрабатываются и используются в условиях производства новые способы упрочнения и защиты поверхности металлов и сплавов с использованием концентрированных потоков энергии. По оценкам экспертов эта тенденция сохранится на ближайшие годы. Одним из таких способов обработки является электровзрывное легирование (ЭВЛ). Его суть состоит в импульсном оплавлении и насыщении поверхностных слоев материалов продуктами электрического взрыва проводников с последующей самозакалкой. Известны работы по электровзрывному науглероживанию, алитированию, никелированию металлов и сплавов. Расширяя технологические возможности способа, в области взрыва размещают порошковую навеску того или иного вещества, которая, частично переходя в плазменное состояние, переносится на облучаемую поверхность. Этим способом были реализованы такие виды легирования, как карбоборирование, бороалитирование и боротитанирование металлов.

Результаты электровзрывной обработки определяются совокупностью сопровождающих ее взаимосвязанных тепловых, силовых, гидродинамических и физико-химических процессов. Анализ особенностей влияния этих процессов на формирование поверхностных слоев является актуальной задачей развития как самого способа ЭВЛ, так и всего направления развития научных исследований и практических разработок в области обработки поверхности с использованием концентрированных потоков энергии.

Целью настоящей работы явилось изучение особенностей формирования строения, структуры, фазового состава и свойств поверхностных слоев модельных металлов при новых видах одно- и двухкомпонентного ЭВЛ – меднения и боромеднения железа и никеля, алитирования и бороалитирования железа. С целью определения возможностей практического использования способа проводили двухкомпонентное алитирова-