



The influence of thermocyclic processing on structure and running ability such as hardness, wear-resistance and impact elasticity of iron-boron alloys with different quantity of input boron is studied.

Н. Ф. НЕВАР, Р. Л. ТОФПЕНЕЦ, Д. ЧИРУН, БНТУ

УДК 669.141.25

ВЛИЯНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ НА СТРУКТУРУ И МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ЛИТОГО БОРСОДЕРЖАЩЕГО СПЛАВА

Специфика структурообразования и виды термоциклической обработки

В настоящее время в практике обработки металлических материалов используются технологии, в основе которых заложена подача энергии в импульсном режиме (лазерная, плазменная, ультразвуковая и другие способы обработки). Изучены процессы структурообразования и формирования комплекса свойств в отливках, разработаны конкретные технологические процессы обработки [1–7].

Следует отметить, что наиболее полно данные вопросы изучены применительно к тепловой обработке, частным случаем которой является термоциклическая обработка [5–8]. Под термоциклической обработкой (ТЦО) при этом понимают процесс термического воздействия, осуществляемого посредством циклического изменения температуры в определенном интервале, сопровождающийся структурными и фазовыми превращениями при многократных нагревах и охлаждениях, от цикла к циклу. Важная особенность цикла – отсутствие выдержки как при верхней, так и при нижней температурах.

Экспериментальные данные, полученные на промышленных сплавах различного состава и результаты практических разработок, указывают на эффективность использования ТЦО для сплавов с полиморфными и без полиморфных превращений. Основой для выбора температурного интервала ТЦО является диаграмма состояния обрабатываемых сплавов. Применительно к железоуглеродистым сплавам в соответствии с диаграммой состояния Fe–FeC возможны варианты ТЦО с частичной или полной перекристаллизацией: вы-

сокотемпературная (ВТЦО) с нагревом выше A_{c3} , среднетемпературная (СТЦО) с нагревом выше A_{c1} и низкотемпературная (НТЦО) с нагревом ниже A_{c1} (рис. 1).

По ТЦО металлических сплавов, критериями которой являются фазовые превращения ($\alpha \leftrightarrow \gamma$), выполнен большой объем исследований, позволяющих установить некоторые закономерности влияния циклических тепловых воздействий на положение критических точек, состояния аустенита, наследования структуры аустенита мартенситом и др. [5, 6]. Формирование структуры металлов при циклических тепловых воздействиях осуществляется вследствие реализации тех же элементарных процессов структурообразования, которые происходят в статических условиях механических и тепловых воздействий [5, 6, 9]. Инициирование этих процессов приводит к возникновению внутренних напряжений (структурных и термических), которые ответственны за пластическую деформацию металла, так называемый деформационный эффект ТЦО.

При ВТЦО железоуглеродистых сплавов реализация деформационного эффекта, вызванного

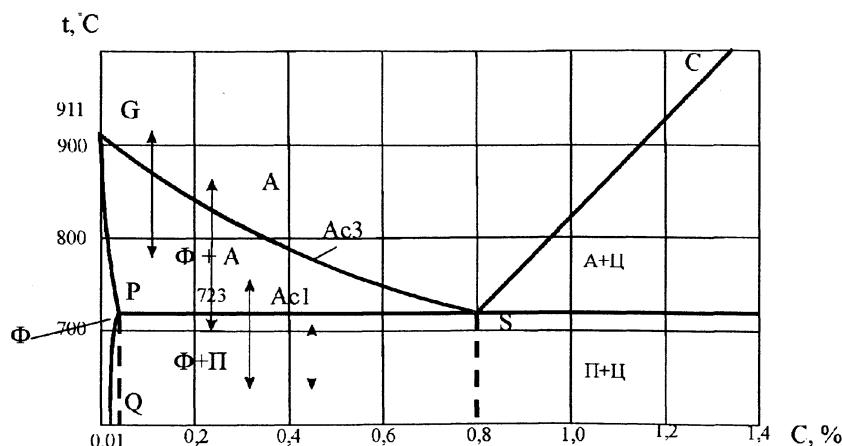


Рис. 1. Температурные интервалы циклирования углеродистых сталей

многократным фазовым наклепом при $\alpha \leftrightarrow \gamma$ -превращении и термическими напряжениями, приводит к дроблению зерен аустенита и интенсификации процесса гомогенизации.

Тепловой эффект проявляется в развитии релаксационных процессов при периодическом охлаждении металла. К специфическим особенностям термоциклической обработки можно отнести следующие.

1. Диспергирование элементов микро- и макроструктуры, сфероидизация избыточных фаз и первичных выделений, отличающихся повышенной хрупкостью. Наиболее заметно этот эффект проявляется в литейных сплавах, в структуре которых присутствуют фазы с резко отличающимися коэффициентами термического расширения [5, 6]. Влияние ТЦО на сфероидизацию фаз наблюдается и в случае реализации полиморфных превращений, а также при их отсутствии.

2. Высокая концентрация точечных дефектов (вакансий) и интенсификация диффузионных процессов.

3. Сохранение особой дислокационной структуры (ячеистой, полигональной, фрагментированной).

4. Интенсификация распада перенасыщенного твердого раствора при старении и диспергирование продуктов распада, повышение плотности выделений.

5. Возможность повышения эксплуатационных свойств металла (прочностных и пластических) в комплексе.

Выбор вида термоциклической обработки, ее температурно-временных режимов определяется прежде всего задачами, которые необходимо решить в каждом конкретном случае.

Конечный результат зависит как от параметров проведения термоциклирования (температурные интервалы, скорости нагрева и охлаждения, число циклов), так и от индивидуальных особенностей подвергаемого обработке материала и его состояния до обработки.

Литые борсодержащие сплавы и их термоциклическая обработка

Борсодержащие литые сплавы — это перспективные материалы для деталей и изделий, работающих в условиях абразивного и кавитационного воздействия, сопряженного с ударными нагрузками [8]. Основными эксплуатационными требованиями, предъявляемыми к таким сплавам, являются высокая твер-

дость, ударная вязкость и износостойкость. Изделия из этих сплавов можно применять как непосредственно после литья, так и после проведения термической обработки. Основным видом термической обработки борсодержащих сплавов является отжиг.

Рассмотренные ранее закономерности, характерные для термоциклической обработки железуглеродистых сплавов, позволяют предположить ее положительное влияние на структуру и свойства железобористых материалов.

Для исследования использовали сплавы следующего состава: С — 0,1–0,3%, Мn — 0,5–1,3, Si — 0,8–1,4, В — 1,5–3,8%. Микроструктуры сплавов в литом состоянии с количеством вводимого бора 2 и 6% приведены на рис. 2.

Как следует из рисунка, в зависимости от количества вводимого бора морфология структуры претерпевает заметные изменения. Так, при введении относительно небольшого количества бора (2%) структура представляет собой зерна феррита, по границам которых располагается боридная эвтектика (рис. 2, а). С увеличением количества вводимого бора (6%) отмечается преобладание боридной эвтектики и появление включений боридных фаз Fe_2B , $Fe_3(C, B)$ (рис. 2, б). Для приведенных микроструктур общей характерной особенностью является дендритное строение образцов сплава и наличие дендритной ликвации.

На основании проведенного анализа имеющихся данных [5–9] был выбран высокотемпературный вариант термоциклирования по следующей схеме: температурный режим $1000 \leftrightarrow 800$ °С, количество циклов — 4, скорость нагрева — 50 °С/с. Образцы нагревали в силитовой печи до температуры 1000 °С, после чего охлаждали на воздухе до 800 °С. Сравнение структуры и свойств проводили с использованием железобористых сплавов аналогичного состава, прошедших отжиг при следующих параметрах: температура — 1000 °С, время выдержки — 4 ч. На рис. 3–5 приведены

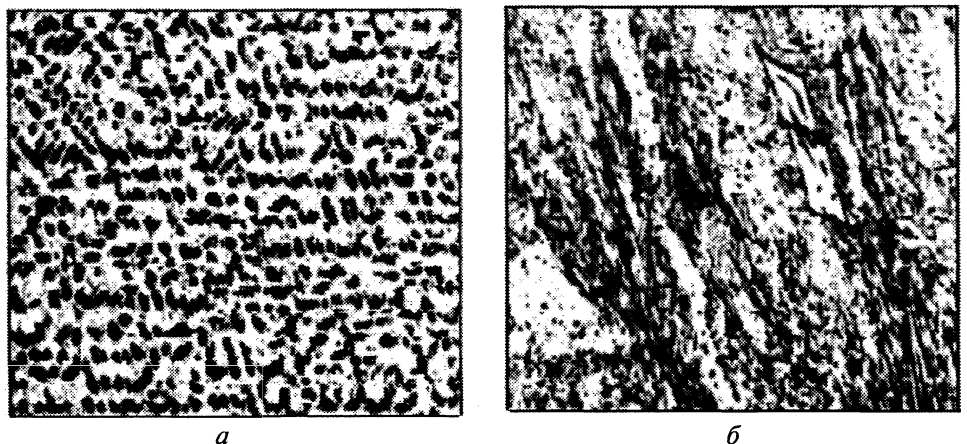


Рис. 2. Микроструктуры литых железобористых сплавов: а — 2% введенного бора; б — 6% введенного бора. $\times 200$

микроструктуры сплавов после отжига и термоциклической обработки.

Как следует из проведенного металлографического анализа, после термоциклической обработки бористых сплавов с различным количеством введенного бора отмечается изменение морфологии структурных составляющих. У сплава с количеством введенного бора 2% наблюдаются некоторые характерные изменения (рис. 3). Структура приобретает гомогенный характер за счет того, что в результате обработки происходит диффузионное перераспределение компонентов, входящих в состав металла. При этом отмечаются дробление и сфероидизация карборидной и железобористой фаз Fe_2B и $Fe_3(C, B)$. Это в свою очередь оказывает существенное влияние на такие свойства, как твердость, ударная вязкость, износостойкость. Такие же характерные изменения в структуре и свойствах отмечаются и у сплавов с большим количеством вводимого бора (рис. 4, 5).

Как следует из сравнительного анализа, все исследованные характеристики сплавов после термоциклической обработки превосходят аналогичные у отжига.

Исследование твердости показало возрастание ее на 15–20% у сплавов, прошедших термоциклическую обработку, по сравнению с отожженными. Износостойкость сплавов, подвергнутых термоциклированию, также выше. Основное влияние на износостойкость отожженных сплавов оказывает более высокий размер зерна. Из-за этого при абразивном износе увеличивается количество центров выкрашивания боридных фаз. В термоциклированных сплавах данный фактор не проявляется столь явно за счет того, что структура металла

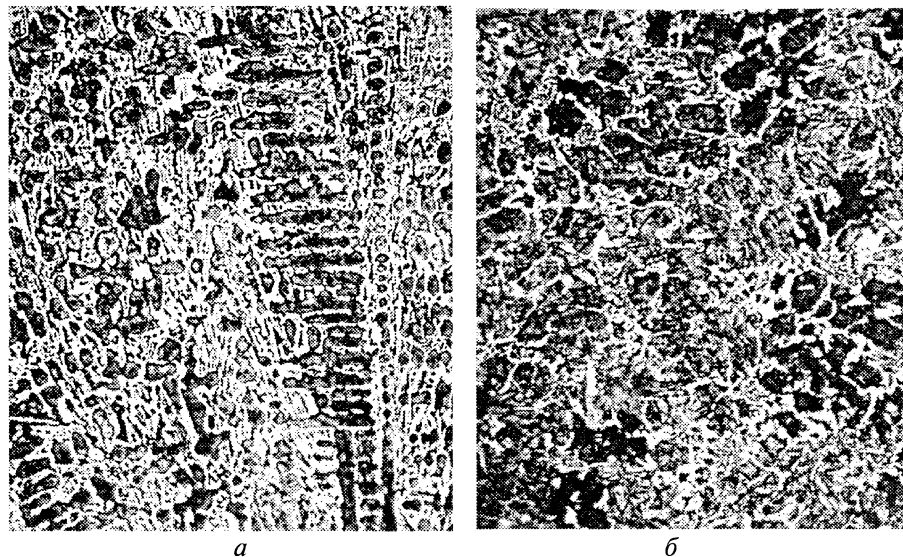


Рис. 3. Микроструктура образца из сплава, полученного при введении 2% бора: *a* — после отжига; *б* — после термоциклической обработки. $\times 500$

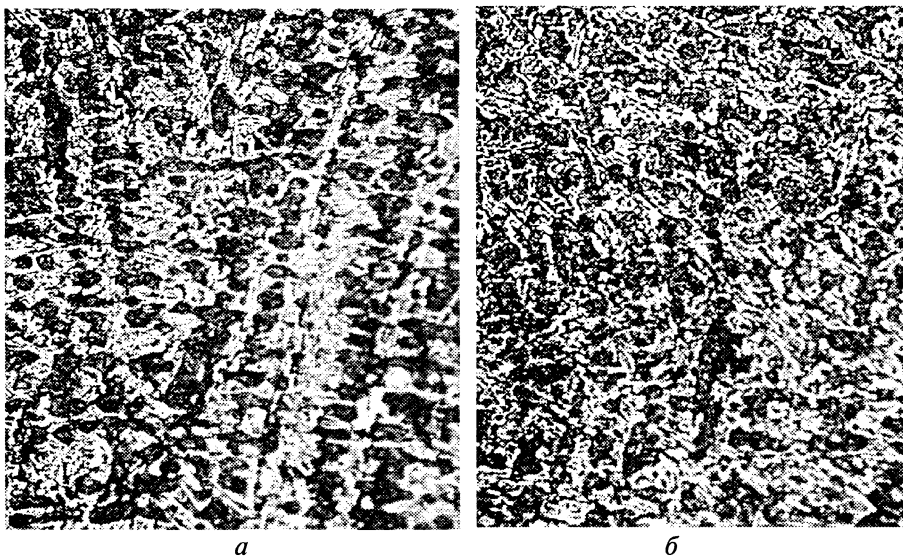


Рис. 4. Микроструктура образца из сплава, полученного при введении 4% бора: *a* — после отжига; *б* — после термоциклической обработки. $\times 500$

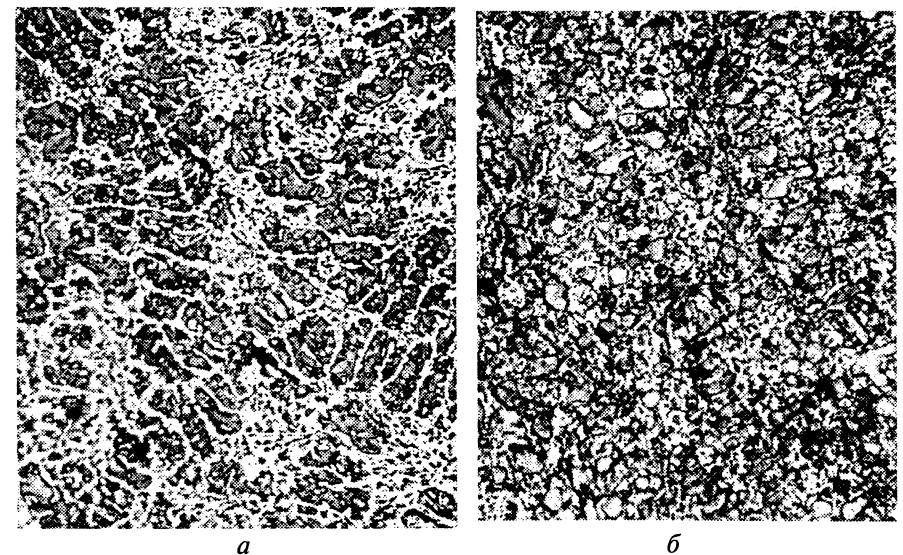


Рис. 5. Микроструктура образца из сплава, полученного при введении 6% бора, модифицированного иттрием: *a* — после отжига; *б* — после термоциклической обработки. $\times 500$

после термоциклической обработки становится более однородной. Зерна, входящие в матрицу, приобретают округлую форму и не являются концентраторами напряжений. В этом случае износ происходит более равномерно, не так активен процесс выкрашивания более твердых составляющих структуры, таких, как бориды железа и карбоборид.

Из исследованных свойств отмечается наиболее высокий рост значений ударной вязкости. Этот показатель у образцов после термоциклирования возрос на 20–25%. Такой рост возможен

за счет коагуляции боридных и карбоборидных фаз и, как было отмечено выше, данные фазы не являются концентраторами напряжений в структуре сплава.

Как следует из результатов исследований, термоциклическая обработка уменьшает ликвацию в сплавах, что является определяющим для увеличения конструкционной прочности деталей, изготавливаемых из литого борсодержащего сплава и подвергнутых впоследствии термоциклической обработке. Результаты проведенных испытаний приведены в таблице.

Сплав, содержание бора, %	Твердость HRC		Износ I , кг/м ²		Ударная вязкость α , МДж/м ²	
	отжиг	ТЦО	отжиг	ТЦО	отжиг	ТЦО
2	33–34	40–42	5,0–5,2	4,3–4,7	4,8–5,2	6,0–6,4
4	42–43	48–50	4,2–4,6	3,6–4,0	4,2–4,6	5,2–5,6
6	48–50	55–58	2,8–3,2	2,2–2,6	3,4–3,8	4,2–4,6

Выводы

В результате изучения, анализа и сравнения полученных данных после проведения ТЦО с данными отожженных сплавов были выявлены следующие закономерности изменения структуры и свойств:

- сплавы, подвергнутые термоциклированию, обладают более мелкой и гомогенной микроструктурой, что положительно влияет на ударную вязкость сплава;
- в термоциклированных сплавах устраняется дендритная структура, характерная для литых и отожженных образцов;
- термоциклическая обработка повышает комплекс эксплуатационных характеристик борсодержащих сплавов;
- первичные включения таких основных фаз, как Fe_2B , $Fe_3(C, B)$, более мелкие у сплавов после термоциклирования по сравнению с отожженными сплавами.

Литература

1. Биронт В.С. Применение ультразвука при термической обработке металлов. М.: Металлургия, 1977.
2. Куммин А.В. Ультразвук и диффузия в металлах. М.: Металлургия, 1978.
3. Григорянц А.Г., Сафонов А.Н. Основы лазерного термоциклирования сплавов. М.: Высш. шк., 1988.
4. Спиридонов Н.В., Кобяков О.С., Куприянов И.Л. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин. Мн.: Выш. шк., 1988.
5. Федюкин В.К., Смагоринский М.Г. Термоциклическая обработка материалов и деталей машин. Л.: Машиностроение, 1989.
6. Тофпенец Р.Л., Шиманский И.И., Анисович А.Г. и др. Физические основы термоциклической обработки стареющих сплавов. Мн.: Наука і тэхніка, 1992.
7. Невар Н.Ф., Фасевич Ю.Н. Исследование влияния термообработки на структуру и свойства бористых сплавов // Литье и металлургия. 2000. №4. С. 72–74.
8. Невар Н.Ф. Свойства сплавов с повышенным содержанием бора // Литье и металлургия. 2000. № 2. С 15–17.
9. Дьяченко С.С., Кузьменко Е.А., Поляничка А.И. Особенности влияния холодной деформации и ТЦО на структуру и свойства низкоуглеродистых сталей // Термоциклическая обработка металлических изделий. Л., 1982. С. 18–19.