

The investigation of influence of thermo-cyclic processing (TCP) in the range of temperature 545-440 °C and ageing at 170 °C, 7 hours on forming of structure and mechanical characteristics of casting alloys A206 with size 100x100x100 mm is carried out. It is determined that at TCP the dispersion of microstructure is increased practically two times as much as compared to standard processing (T6).

*Е. И. МАРУКОВИЧ, ИТМ НАН Беларуси,
А. Г. АНИСОВИЧ, ФТИ НАН Беларуси,
Г. Х. КИММ, Корейский институт машин и материалов,
К. Й. ЧОЙ, Белорусско-Корейский центр технического сотрудничества*

УДК 669.018.298

ПРИМЕНЕНИЕ ТЕРМОЦИКЛИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ДЛЯ ПОВЫШЕНИЯ ОДНОРОДНОСТИ СТРУКТУРЫ КРУПНЫХ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА А206

Одним из распространенных дефектов крупногабаритных отливок является неравномерность структуры по сечению, связанная с особенностями теплоотвода при кристаллизации. Поверхностная зона отливки имеет мелкодисперсную структуру, по мере приближения к центру отливки дисперсность структуры снижается. С разницей в дисперсности структуры связана неравномерность свойств по сечению отливки; возможно коробление при последующей обработке.

Решение задачи выравнивания структуры по сечению отливки весьма проблематично методами традиционной термической обработки. Изменение структуры при гомогенизации, закалке и старении происходит в рамках первичной структуры, сформировавшейся при затвердевании. Диспергирование зерна в процессе термической обработки незначительно. Задача может быть решена применением способов воздействия, обеспечивающих кардинальную перестройку структуры металла по всему объему. Имеющиеся в настоящее время экспериментальные данные позволяют выбрать в качестве такого метод термоциклической обработки (ТЦО).

Принципиальное отличие ТЦО от известных способов термической обработки состоит в отсутствии выдержек при постоянной температуре. Обработка по существу состоит в периодически повторяющихся циклах нагрев-охлаждение в определенном интервале температур. Вследствие этого в отличие от других видов термической обработки структурные и фазовые превращения при ТЦО совершаются многократно, преимущественно при изменяющейся температуре. При этом имеет место накопление изменений структуры и свойств, характерное для одного цикла. В отличие от традиционной (одноразовой) термообработки повторные структурные и фазовые превращения

при ТЦО происходят в металле, структура которого изменена на предыдущих циклах.

Параметры традиционной термической обработки — скорость нагрева, температура, время выдержки и скорость охлаждения. При термоциклировании основными параметрами обработки являются температура, скорость нагрева и охлаждения, количество циклов (n), которое играет роль временного параметра [1].

Подробное описание разнообразных схем термоциклической обработки приведено в [1, 2].

Применительно к литейным сплавам наиболее изучена ТЦО силуминов, содержащих фазы с резко отличающимися коэффициентами термического расширения. Исследования по ТЦО сплавов системы Al—Cu немногочисленны. Имеются сведения о возможности диспергирования эвтектической составляющей сплава системы алюминий—медь при термоциклической обработке, включающей нагрев до температуры гомогенизации, многократные нагревы и охлаждения с выдержками при конечных температурах термоциклирования и окончательное охлаждение на воздухе [3]. В качестве особенностей структурообразования при термоциклировании отмечают глобуляризацию и сфероидизацию пластин эвтектики. Ускорение растворения эвтектических составляющих, изменение параметра кристаллической решетки α -твердого раствора наблюдаются и при термоциклировании литых деформированных сплавов [4, 5]. Закономерности изменения параметра решетки объясняются изменением концентрации легирующих элементов в алюминии с учетом атомных диаметров и коэффициентов диффузии. Было показано, что первоначальное увеличение параметра решетки вызывается интенсивным растворением участков эвтектики, при котором атомы различных легирующих элементов переме-

щаются на разные расстояния. Процесс растворения эвтектических составляющих ограничивается не диффузией, а скоростью перестройки кристаллической решетки.

Данная работа направлена на решение следующих проблем: создание равномерной структуры

отливки размером 100x100x100 мм; обеспечение разницы по пределу прочности между краем и центром отливки не более 50 МПа.

Исследование проведено на сплаве A206 (стандарт Республики Корея). Состав сплава, мас.%, приведен ниже.

Cu	Cd	Zn	Fe	Al	Ni	Mn	Si	Ti	Zr	Mg
5,08	0,15	0,05	0,09	93,79	0,01	0,37	0,03	0,28	0,05	0,15

В соответствии с диаграммой состояния упрочняющая обработка этого сплава основана на изменении растворимости соединения $CuAl_2$ в алюминии. Стандартная термическая обработка по режиму T6 включает в себя гомогенизацию при 540°C, 15 ч, закалку в воде комнатной температуры и старение при 170°C, 6 ч.

Температурные варианты ТЦО выбирали с учетом состава сплава, критических точек на диаграмме состояния, а также рекомендуемых режимов закалки и старения.

Выбранный вариант обработки предполагает ТЦО в интервале температур $t_{зак.} - t_{сольв.}$ с последующим изотермическим старением по стандартному режиму. Режим ТЦО: высокотемпературная

термоциклическая обработка в интервалах температур 545–440°C, 5 циклов и старение при 170°C, 7 ч. Использовали печной нагрев. Контроль процессов нагрева–охлаждения осуществляли термопарой, зачеканенной в геометрический центр отливки.

Металлографические исследования проводили по стандартным методикам на образцах, вырезанных из отливок. Определение механических свойств проведено в соответствии с ГОСТ 10145–81. Схема вырезки образцов для металлографических исследований и механических испытаний показана на рис. 1. Анализировали структуру, размер зерна и механические свойства в 1/4 части отливки (номера выделены на рисунке).

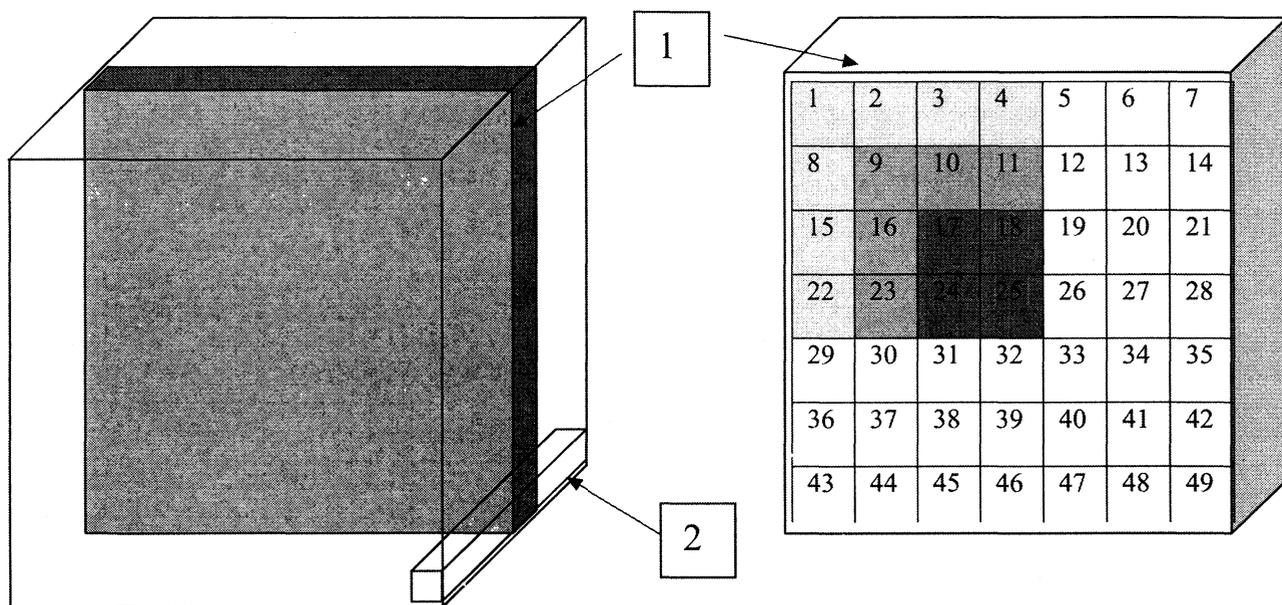


Рис.1. Схема вырезки образцов: 1 – образцы для металлографического анализа; 2 – образцы для механических испытаний

Микроструктура отливки в литом состоянии приведена на рис. 2. Для структуры характерна значительная дендритная ликвация. По границам зерен заметны выделения эвтектики. Зерно сплава неравномерно по размеру. В частности, в зонах 1–4 максимальный размер зерна сплава колеблется от 80 (зона 3) до 450 мкм (зона 4). В зонах 8–11 и 15–18 структура более однородная по размерам; размер зерна находится в пределах 220 и 180 мкм соответственно. В центре отливки однородность структуры

снижается и размер зерна составляет для зон 23, 24 до 490 мкм, для зоны 25 – до 190 мкм. Значения диаметра зерна сплава приведены в табл. 1.

Структура отливки после ТЦО и старения представлена на рис. 3, после обработки по режиму T6 – на рис. 4. После термоциклирования однородность структуры существенно повышается. Устраняется дендритная ликвация. Размер зерна составляет в основном 80–190 мкм, в зоне 23 – до 220 мкм (табл. 1).

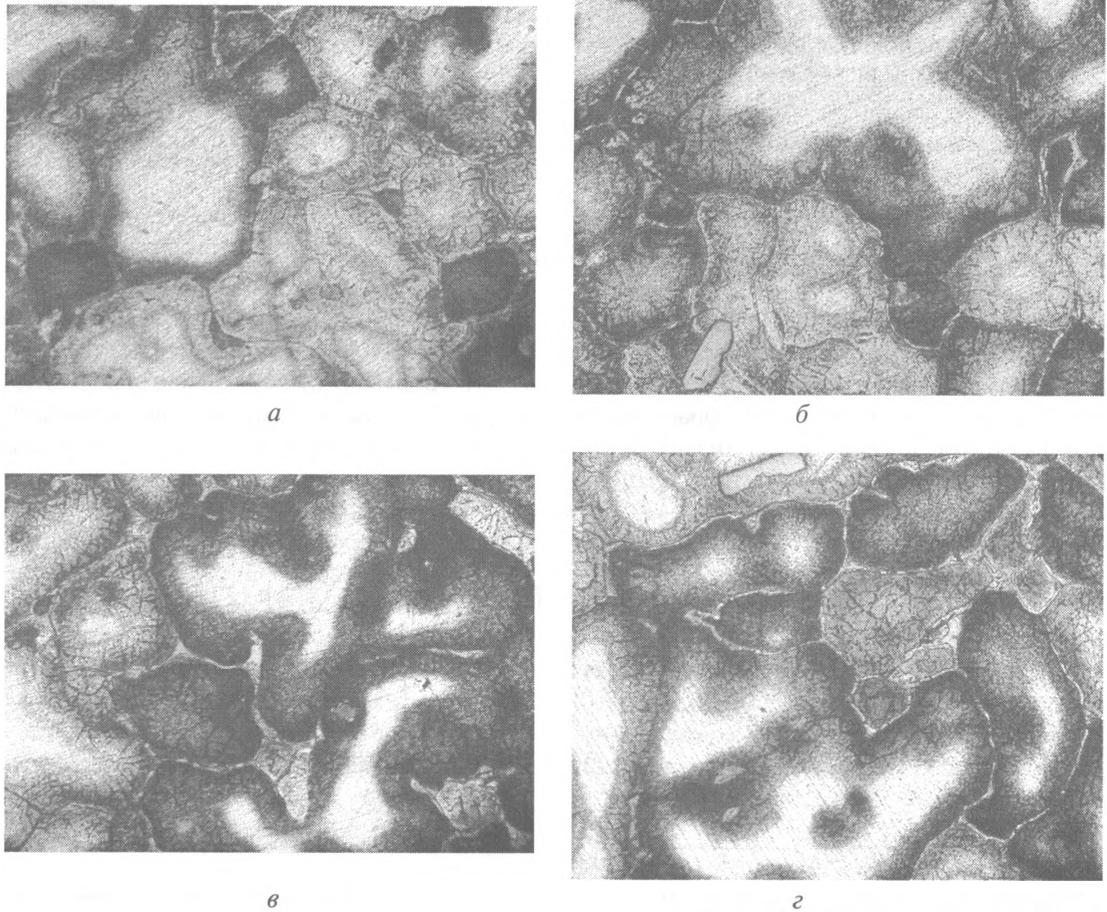


Рис. 2. Микроструктура отливки сплава А206 после литья в зонах 22(а), 23(б), 24(в), 25(г). $\times 310 \times 0,5$

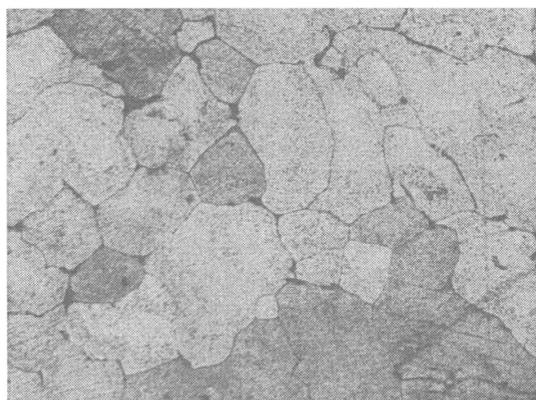
Таблица 1. Размер зерна в литом состоянии и после термической обработки

Номер зоны отливки	Диапазон изменения размера зерна, мкм		
	исходная отливка	Т6	после ТЦО
1	55–200	60–226	60–90
2	30–160	45–200	20–80
3	20–80	32–160	50–70
4	50–450	80–220	25–125
8	60–230	80–300	25–140
9	70–220	90–280	45–130
10	90–200	130–270	65–130
11	90–180	90–200	45–150
15	90–180	65–300	45–150
16	90–180	96–220	20–130
17	65–160	96–320	30–80
18	80–220	60–200	50–80
23	45–490	80–300	20–220
24	45–490	40–400	20–120
25	45–190	50–300	25–196

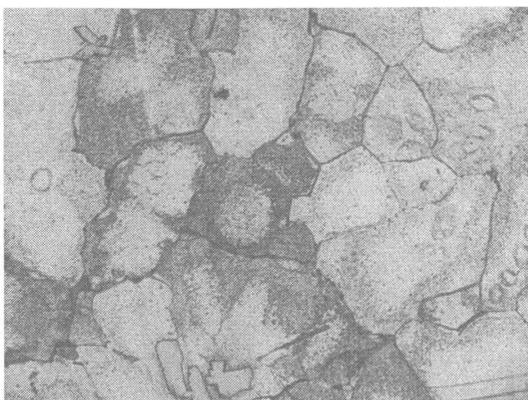
После термической обработки по режиму Т6 максимальный размер зерна составляет 220–300 мкм, в зоне 24 – до 400 мкм. На всех микрофотографиях заметна ликвационная неоднородность.

Гистограмма, иллюстрирующая изменение максимальной величины зерна после литья, ТЦО и термической обработки по режиму Т6, приведена на рис. 5. Применение ТЦО практически в 2 раза повышает дисперсность структуры.

Данные механических испытаний приведены в табл. 2. Формирование при термоциклировании равномерной дисперсной зеренной структуры обеспечивает создание комплекса свойств, превышающего таковой для термической обработки по режиму Т6. Гистограмма на рис. 6, построенная по результатам усреднения данных табл. 2, иллюстрирует разницу по пределу прочности сплава между ТЦО и термической обработкой по режиму Т6. Предел прочности, обеспечиваемый при



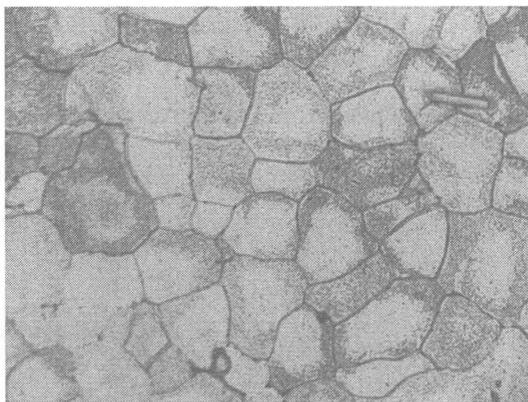
a



б

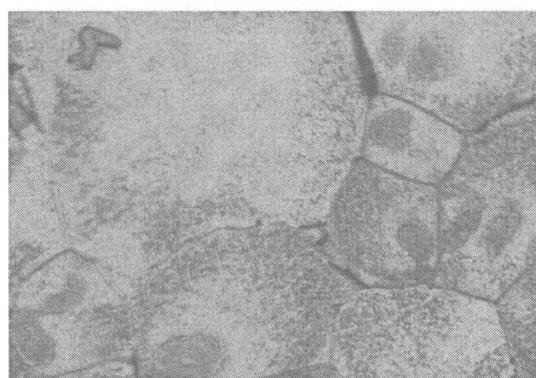


в



г

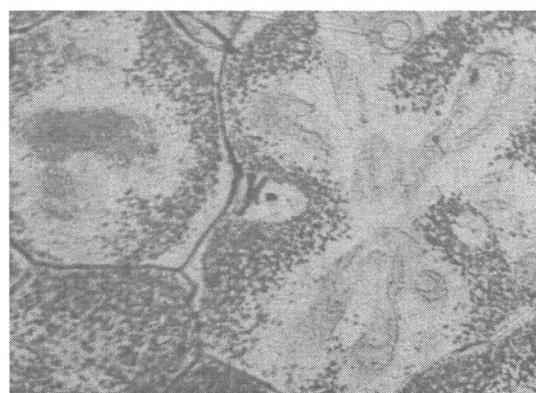
Рис. 3. Микроструктура отливки сплава А206 после ТЦО в зонах 22(*a*), 23 (*б*), 24 (*в*) 25(*г*). $\times 310 \times 0,5$



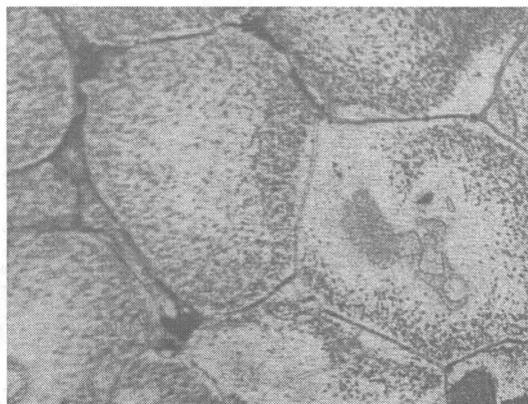
a



б



в



г

Рис. 4. Микроструктура отливки сплава А206 после обработки по режиму Т6 в зонах 22(*a*), 23(*б*), 24(*в*), 25(*г*). $\times 310 \times 0,5$

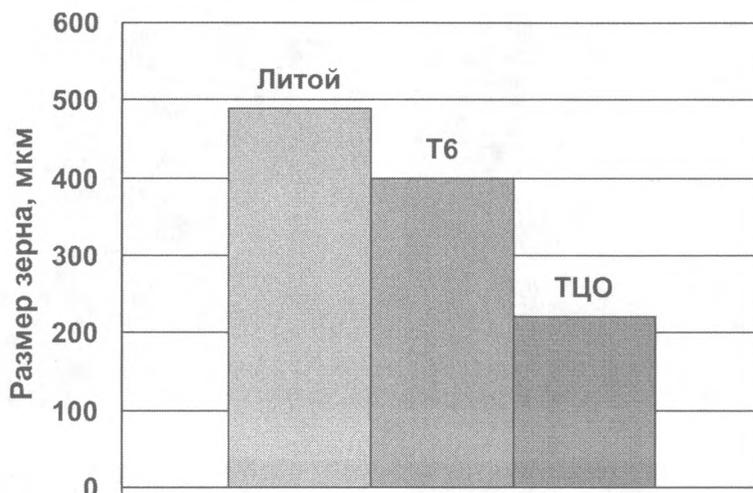


Рис. 5. Максимальная величина зерна сплава А206 после различных видов термической обработки

Таблица 2. Изменение механических свойств сплава А206 после литья в кокиль, ТЦО и старения, ТО по режиму Т6

Номер зоны отливки	Термоциклическая обработка		Т6	
	предел прочности, МПа	относительное удлинение, %	предел прочности, МПа	относительное удлинение, %
1	—	—	285	5,0
3	—	—	290	2,5
4	—	—	315	4,5
8	333	6,7	280	4,3
15	341	6,7	270	6,0
22	353	6,3	290	5,0
Среднее	342	6,6	288	4,6
23	345	5,3	297	4,2
9	316	3,3	—	—
10	—	—	285	3,0
11	—	—	295	5,0
16	330	6,0	280	5,5
Среднее	330	4,9	289	4,4
17	325	1,3	280	4,0
18	329	4,3	301	3,0
24	355	4,0	312	4,0
Среднее	336	3,2	298	3,7

ТЦО, на ~40–50 МПа выше такового, получаемого по режиму Т6 при сохранении пластичности на уровне стандартной термической обработки.

Разница в значениях предела прочности между серединой и краем отливки для ТЦО и режима Т6 практически одинаковая (рис. 6).

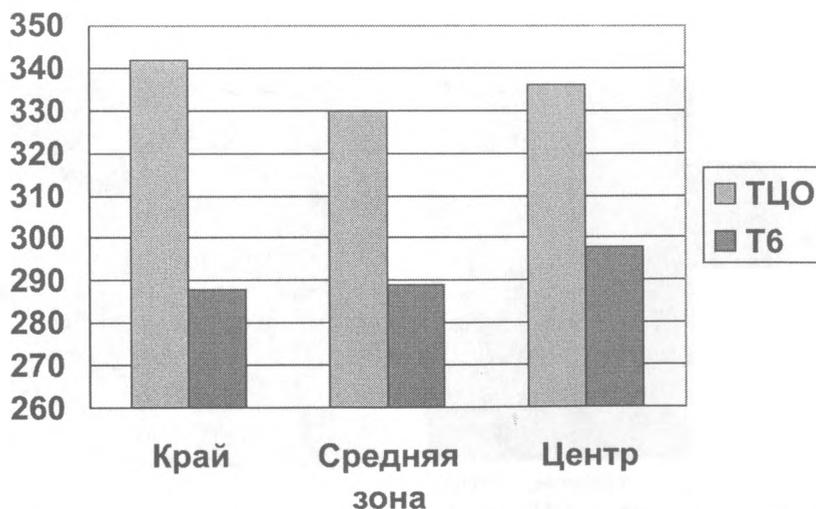


Рис. 6. Изменение предела прочности в различных зонах отливки при ТЦО и стандартной обработке Т6

При рассмотрении влияния ТЦО на структуру стареющих сплавов в качестве основного фактора, контролирующего процесс структурообразования, следует выделить влияние разницы температур по сечению образца. В условиях периодически изменяющихся и релаксирующих внутренних напряжений происходит периодическое изменение концентрации дефектов кристаллического строения и формирование новой структуры. Конкретное описание этого процесса дано в [6].

Таким образом, проведенное исследование влияния термоциклической обработки в интервале температур 545–440°C и старения при 170°C, 7 ч показало возможность и эффективность изменения структуры и свойств отливок из сплава А206.

Литература

1. Физические основы термоциклической обработки стареющих сплавов / Р.Л. Тофпенец, И.И. Шиманский, А.Г. Анисович, А.Д. Грешилов. Мн.: Наука и техника, 1992.
2. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов. Л.: ЛГУ. 1987.
3. Биронт В.С., Заиграйкина Б.С. Структура и свойства литейных алюминиевых сплавов после термоциклирования // Литейное производство. 1982. № 7. С.15–16.
4. Кенис М.С., Трахтенберг Б.Ф., Трошина Л.В. и др. Перераспределение легирующих элементов в сплаве Д16 при ТЦО // Термоциклическая обработка металлических изделий. 1982. С. 144–146.
5. Терентьев В.Ф. // Докл. АН СССР. 1969. Т.185. №2. С. 324–327.
6. Анисович А.Г., Тофпенец Р.Л. Специфика структурообразования в алюминиевых сплавах при термоциклировании // Металлы. 2000. №2. С. 73–78.





МЕТАЛЛ ЭКСПО 2006

металл ЭКСПО 2006

12-я Международная специализированная выставка

При поддержке Министерства промышленности и энергетики Российской Федерации

Генеральный информационный спонсор
 Специализированный журнал
 "Металлоснабжение и сбыт"

14 – 17 ноября 2006

Оргкомитет выставки:
 Тел./факс: (495) 901-99-66 (многоканальный)
 E-mail: info@metal-expo.ru
<http://www.metal-expo.ru>

Россия, Москва, Всероссийский выставочный центр, пав. 20, 57, 69