

УДК 621.745.55

Заблоцкий В. К., Фесенко А. Н., Шимко В. И., Фесенко М. А., Фельдман В. Е., Шимко А. И.

САМООТЖИГ И ИЗОТЕРМИЧЕСКАЯ ЗАКАЛКА ЧУГУНА

Известно, что любой режим термической обработки состоит из трех стадий: нагрева, выдержки и охлаждения [1, 2]. Нагрев и выдержку проводят в печи, а охлаждение зависит от вида термической обработки, а именно, при отжиге охлаждают с печью, регулируя зачастую скорость охлаждения, при нормализации на воздухе, а при закалке в различных средах. Во всех указанных видах термообработки не эффективно используется внутренняя энергия, которая выделяется при превращениях в процессе охлаждения. Предполагали, что охлаждение в сыпучем графите, рекомендуемое в патенте Украины № 43619 от 25.08.2009 года [3], может существенно уменьшить энергозатраты при отжиге и заменить охлаждение с печью.

Целью работы является изучение структурных превращений при охлаждении отливок из чугуна в сыпучем графите.

Исследовали образцы диаметром 30 мм и высотой 70 мм, имеющие с одной торцевой стороны отверстие диаметром 5 мм и глубиной 20 мм, в которое вставляли хромель-алюмелевую термопару и подключали ее к графопостроителю Н307/1. Для нагрева образцы помещали в шахтную лабораторную печь СШОЛ-1.1.6/12-МЗ-У4.2 и нагревали до температуры 950 °С, выдерживали при этой температуре в течение 1 часа, а затем охлаждали на воздухе, в сыпучем графите с начальной температуры 20 °С, 200 °С и 300 °С. Графики изменения температур при нагреве трех образцов в печи (рис. 1) и охлаждении в различных средах (рис. 2), указывают на идентичность нагрева и различие в режимах охлаждения, что подтверждает достоверность метода и результатов исследований.

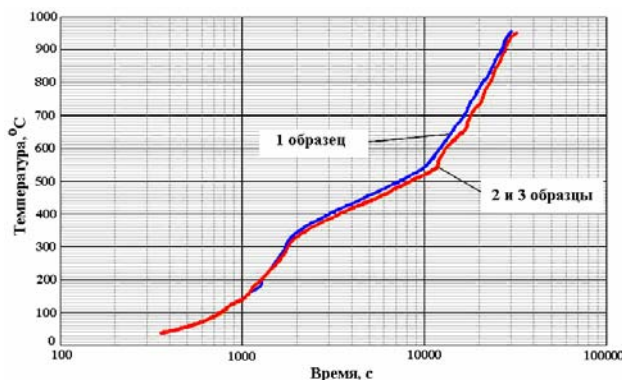


Рис. 1. Кривые нагрева образцов

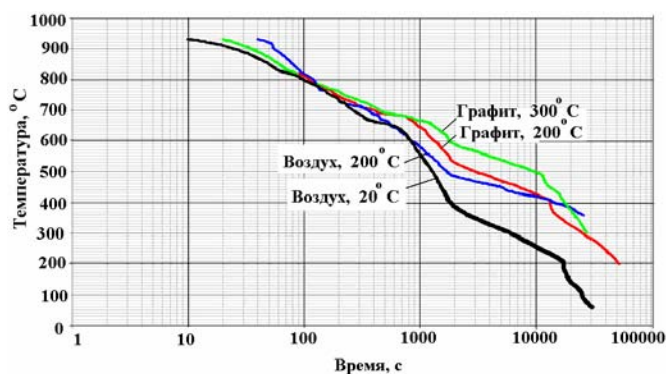


Рис. 2. Кривые охлаждения образцов в различных средах

Как следует из рис. 2, процесс охлаждения образцов условно можно разделить на пять стадий, отличающихся между собой температурами и скоростями (табл. 1). По изменению скорости охлаждения можно предположить следующие структурные превращения (рис. 2, табл. 1). На первой стадии ускоренно охлаждается аустенит, образовавшийся при нагреве до 950 °С и графит, имеющийся изначально в структуре ВЧ500. Такая структура сохраняется на первой стадии охлаждения до первого замедления скорости охлаждения образцов, связанного с распадом аустенита и выделением при этом внутренней теплоты превращения.

Этот период обозначен второй стадией охлаждения (табл. 1). После завершения второй стадии охлаждения структура состоит из графита и перлита. Дальнейшее охлаждение ускоряется в виду отсутствия дополнительного тепла для компенсации потерь в окружающую

среду. Это третья стадия охлаждения и она характеризуется более быстрым охлаждением, чем в период второй стадии. За третьей стадией следует четвертая стадия охлаждения, связанная с выделением из феррита третичного цементита, что сильно замедляет скорость охлаждения. Особенность охлаждения в сыпучем графите с температуры 20 °С состоит в том, что первоначально он имеет высокую теплопроводность и погруженный в него образец быстро охлаждается. Однако в процессе охлаждения нагревается слой графита, окутывающий образец, что резко снижает теплопроводность графита. Этим обеспечивается тепловая изоляция образца, и создаются условия для эффективного использования тепла, которое выделяется при превращениях. При охлаждении с печью такой эффект нельзя использовать, ввиду большой теплоотдачи в окружающую среду. Более того, для поддержания превращений необходимо назначить изотермическую выдержку и замедлять превращения с помощью внешних затрат энергии. Исходя из изложенного, эффективность использования внутренней энергии металла должна повышаться при подогреве сыпучего графита, что подтверждается экспериментально. Как видно из рис. 2 и табл. 1, продолжительность второй стадии превращений увеличивается по мере повышения, начальной температуры сыпучего графита.

Таблица 1

Характеристики режимов охлаждения

Условия охлаждения	Стадии охлаждения	Параметры охлаждения			
		Интервал температур, °С		Продолжительность, с	Средняя скорость, °С/ч
		от	до		
В печи, нагретой до 200 °С	1	950	720	200	3960
	2	720	700	125	576
	3	700	480	1925	411
	4	480	390	18100	20
В сыпучем графите с температурой 20 °С	1	950	670	390	2520
	2	670	650	210	342
	3	650	380	1400	684
	4	380	220	36100	16,5
В сыпучем графите с температурой 200 °С	1	950	690	430	2160
	2	690	680	430–800	108
	3	680	540	800–1800	504
	4	540	410	1800–18000	28,8
	5	410	200	18000–50000	25
В сыпучем графите с температурой 300 °С	1	950	690	430	1944
	2	690	660	430–1300	108
	3	660	580	1300–2000	432
	4	580	490	2000–12000	21,6
	5	490	300	12000–30000	36

После охлаждения в сыпучем графите в структуре чугуна увеличивается доля феррита и уменьшается доля перлита. В исходном состоянии микроструктура чугуна ВЧ500 состоит из графитовых включений шаровидной формы, вокруг которых располагается тонкая оторочка феррита. Площадь, занимаемая ферритом, составляет 10 %, остальная часть микроструктуры состоит из перлита и графита. После охлаждения в атмосфере печи, нагретой до 200 °С, микроструктура чугуна незначительно отличается от исходной, площадь, занимаемая ферритом, составляет 15 %. После охлаждения в сыпучем графите с температурой 20 °С в микроструктуре увеличивается доля феррита, она составляет 25–30 %, все графитовые включения окружены толстой оболочкой феррита. После охлаждения в графите с начальной

температурой 200 °С, количество феррита резко увеличивается до 60 %, большая часть графитовых включений находится в полном окружении феррита, мало отдельно расположенных графитовых включений, которые окружены ферритной оторочкой. После охлаждения в графите с начальной температурой 300 °С, доля феррита увеличивается до 85 %, практически все графитовые включения расположены в сплошном поле феррита, отсутствуют отдельные графитовые включения с оторочкой феррита, лишь незначительную часть поля шлифа около 5 % занимает перлит. Можно предположить, что это связано с образованием на второй стадии первоначального перлита, а затем превращения в графит цементита, входящего в состав перлита.

Таким образом, охлаждение в сыпучем графите позволяет регулировать долю феррита и перлита в чугунах с шаровидной формой графита. Это дает возможность в первую очередь влиять на пластичность чугунов. Выделение третичного цементита должно дополнительно повысить прочность чугунов. Кроме того, наши исследования показали, что термообработка образцов 3 × 5 × 20 мм из высокопрочного чугуна ВЧ500 с исходной структурой шаровидный графит, феррит и перлит, по режиму: нагрев до 900 °С, изотермическая закалка в сыпучем графите при 360 °С в течение 20 мин, затем на воздухе или воде обеспечивает получение бейнитной структуры. После указанной закалки ВЧ500 получил твердость 37 HRC вместо 25 HRC.

ВЫВОДЫ

Проведенные исследования позволяют предположить следующие технологии отжига и закалки, основанные на использовании охлаждения в сыпучем графите в соответствии с патентом Украины № 43619 от 25.08.2009 г.

1. Нагрев белого чугуна до температуры 950 °С, выдержка для прогрева заготовки по сечению и последующее охлаждение в сыпучем графите с исходной температурой 20–30 °С. После термообработки по такой технологии получается ковкий чугун. Эта технология отличается от известной технологии графитизирующего отжига значительно меньшей продолжительностью и энергоемкостью. В данном случае экономия энергозатрат обеспечена использованием внутренней энергии структурных превращений вместо энергии, привносимой внешними источниками нагрева.

2. Отжиг чугуна с шаровидным графитом, позволяющий получать различное соотношение между ферритом и перлитом. Для этих целей необходимо чугун с шаровидным графитом нагреть до температуры отжига 950 °С, выдержать при ней для прогрева заготовки по сечению, а затем охладить в сыпучем графите. Повышение температуры графита перед охлаждением, увеличивает долю феррита и уменьшает долю перлита в структуре чугуна.

3. Изотермическую закалку, которая заключается в нагреве чугуна с шаровидным графитом до получения аустенита, выдержки для гомогенизации аустенита и последующем охлаждении в сыпучем графите с температурой 300–400 °С с целью получения бейнитной структуры. Охлаждение в сыпучем графите является альтернативой охлаждению в расплавах солей, однако значительно безопаснее и экологически чище. Изотермическая закалка в сыпучем графите является перспективной технологией получения чугунов с бейнитной структурой.

ЛИТЕРАТУРА

1. Гуляев А. П. *Металловедение* / А. П. Гуляев. – М. : Металлургия, 1988.
2. *Химико-термическая обработка металлов и сплавов : справочник* / Г. В. Борисенко, А. А. Васильев, Л. Г. Ворошин и др. – М. : Металлургия, 1981. – 424 с.
3. Патент № 43690 U 2009 03360, C21D 9/22. *Спосіб термічної обробки сталі* / Заблоцький В. К., Фельдман В. С., Фесенко А. М., Федорінов В. А., Шимко О. І., Мелещенко І. Ю., Фесенко М. А., Корсун В. А., Шимко В. І. – Заявл. 08.04.2009; опубл. 25.08.2009, Бюл. № 16, 2009 р.