ISSN 0002-306X. Изв. НАН РА и ГИУА. Сер. ТН. 2006. Т. LIX, № 1.

УДК 669.15-196.56 МАТЕРИАЛОВЕДЕНИЕ

С.Г. АГБАЛЯН, Р.С. ЕГИАЗАРЯН

ВЛИЯНИЕ СПОСОБОВ ЗАКАЛКИ НА ФОРМИРОВАНИЕ СТРУКТУРЫ И СВОЙСТВ КОВКИХ ЧУГУНОВ

Исследованы закономерности термической обработки белых чугунов, на основе которых с помощью математического планирования экспериментов выведена зависимость, устанавливающая связь между режимами термоциклической обработки и механическими свойствами получаемого ковкого чугуна. Разработана технология получения высокопрочных ковких чугунов путем термической обработки, которая по сравнению со стандартными чугунами обеспечивает высокие механические свойства.

Ключевые слова: белый чугун, термоциклическая обработка, закалка, отжиг, графитизация, цементит, аустенит, феррит, графит, ковкий чугун.

В программах социально-экономического развития Республики Армения большое внимание уделяется промышленности. Одной из важнейших ее отраслей является машиностроение. В частности, получили распространение металлические материалы, которые наряду с развитием науки и техники подвергаются различным процессам обработки, в результате чего приобретают ранее неизвестные свойства. К числу таких материалов относятся также ковкие чугуны, которые получают путем графитизации белого чугуна, что является диффузионным, продолжительным и затратоемким процессом [1].

Учитывая ускоренный рост объемов применения ковкого чугуна и длительность процесса его получения, возникает необходимость совершенствования и оптимизации технологии получения, особенно режимов термообработки, а следовательно, улучшения химического состава, предварительной термической обработки, оптимизации режимов графитизации, а также изучения методов улучшения литейных, механических и других свойств.

Целью работы является исследование влияния способов предварительной закалки на структуру и свойства ковкого чугуна, а также разработка современной технологии получения высокопрочного ковкого чугуна.

Для достижения указанной цели изучены общепринятые и применяемые технологии зарубежных стран и стран бывшего Союза [2-5]. Исследовано также влияние химического состава на структуру, свойства и отжигаемость чугунов. Особое внимание уделено факторам ускорения продолжительности дуффузионного процесса получения ковких чугунов. В качестве таких факторов рассмотрены как термические, так химические и физические способы предварительной обработки белого чугуна. Важное значение придается процессам модификации и перегрева жидкого металла.

Изучен такой фактор ускорения процесса графитизации, как предварительная термическая обработка белого чугуна. Обсуждены различные способы предварительной термической обработки, в том числе

низкотемпературная термическая обработка, закалка, нормализация и т.д., а также их влияние на свойства и процессы получения ковкого чугуна.

Рассмотрены основные принципы структурообразования, кинетика и термодинамика графитизации ковкого чугуна, обсуждены варианты снижения концентрации углерода между графитом и цементитом. В каждом варианте выведена зависимость продолжительности графитизации от соответствующего “слабого звена”.

Опыты показали, что при остывании жидкого белого чугуна до 900°С и его поддержании в этой температуре до 20 *час* графитизации не наблюдалось, и микроструктура представляла собой белый чугун без следов графита. Этот же чугун после полного остывания до комнатной температуры графитизируется при 900°С в течение 10 *час*. Это означает, что при остывании белого чугуна до 900°С центров графитизации не образуется, что препятствует графитизации. В процессе дальнейшего остывания эти центры образуются только в том случае, когда чугун проходит критические температуры превращения.

Длительность графитизации сокращается предварительной нормализацией в 1,5 раза, закалкой в масле - в 4…6 раз, а закалкой в воде - в 10…15 раз, что объясняется ростом количества центров графитизации. Ускоренное охлаждение ниже критических температур не увеличивает количество центров графитизации, и, следовательно, не сокращается длительность. Все эти факты свидетельствуют о том, что формирование центров графитизации в белом чугуне происходит при переходе критической температуры с γ-α превращением. При охлаждении белого чугуна, когда происходит быстрый переход критической температуры γ-α превращения, твердый раствор становится сверхнасыщенным, что обусловлено резким снижением растворимости углерода. По этой причине в сверхнасыщенном твердом растворе формируются субмикроскопические центры кристаллизации графита. Количество образовавшихся центров кристаллизации в единице объема чугуна будет настолько большим, насколько высока степень переохлаждения твердого раствора.

Увеличению удельного количества центров графитизации способствуют такие факторы, как: повышение содержания углерода, кремния и подобных элементов в чугуне, которые не растворяются в цементите и не стабилизируют его; рафинирование от газов и модифицирование чугуна; поддержание при ~400°С во время нагрева; быстрая кристаллизация отливки; ускоренный нагрев и рекристаллизация (эвтектоидное превращение, закалка); деформация чугуна и т.д.

Как показывают экспериментальные исследования, процесс графитизации при получении ковкого чугуна можно ускорить путем предварительной закалки белого чугуна. Исследование остаточных напряжений показывает, что при закалке в воде образуется больше напряжений, чем при закалке в масле. Можно заключить, что чем больше скорость переохлаждения во время закалки, тем больше величина остаточных напряжений и, следовательно, больше условия образования центров графитизации.

При графитизации, когда происходят Ц→А+Г и А→Ф+Г превращения, объем чугуна начинает увеличиваться. Этому способствуют также включения углерода, которые образуются из жидкой фазы и аустенита при охлаждении. Исходя из удельных объемов и количества взаимодействующих фаз, рассчитан рост объема чугуна. Например, при содержании 1%С, согласно реакции Ц→А+Г, объем чугуна растет на 0,68%, согласно реакции Ц→Ф+Г – 0,7%, а согласно реакции А→ Ф+Г – 0,6…1,0%.

Опыты показывают, что для предотвращения роста объема чугуна его можно легировать, что повысит температуру $\alpha \rightarrow \gamma$ превращения. Можно также поменять форму графита с переходом из компактной формы в графит с точечным междендритным распределением, достижение которого возможно оптимизацией режимов термоциклической обработки чугуна.

Анализ кинетики и механизма реакций вещество-перенос, а также результаты исследования показывают, что при термоциклической обработке на графитизацию влияют следующие величины: n - число термоциклов; v - скорость охлаждения, °*С/с*; t – температура, °С. Проведено математическое моделирование эксперимента, где в качестве исходного параметра выбран предел прочности ковкого чугуна - $\sigma_в$. Для решения уравнения применялся реальный процесс проведения экспериментов типа 2^3.

После решения задачи на компьютере определены неизвестные параметры:

$$\sigma_в = e^{1,798} \cdot n^{0,442} \cdot v^{-0,0248} \cdot t^{0,566}.$$

Анализ математической модели показывает, что прочность ковкого чугуна, полученного путем термоциклической обработки, прямо пропорциональна основным параметрам (n, v, t). Как и следовало ожидать, основным фактором, влияющим на механические свойства ковкого чугуна, когда термоциклической обработке подвергается белый чугун, является число термоциклов. Его воздействие увеличивается с повышением температуры и уменьшением скорости охлаждения. На основе полученных результатов выбраны следующие оптимальные режимы получения высокопрочного ковкого чугуна: n=4…6, v=100…200°*С/с*, t=900…1000°*С*. Выбор значений температуры и скорости охлаждения объясняется тем, что конкретно при этих показателях получаются ковкие чугуны с комплексными высокими механическими свойствами.

На основе проведенных комплексных исследований разработана технология получения ковких чугунов (рис.1).

В таблице и на рис. 2 показано влияние ВТТЦО и графитизирующего отжига на механические свойства получаемого ковкого чугуна.

Таблица

Зависимость механических свойств ковкого чугуна от способа обработки

Способ обработки	$\sigma_в$, *МН/м²*	$\sigma_т$, *МН/м²*	δ, %	КС, *Дж/см²*
Графитизирующий отжиг (900°*С*, 4 *ч*)	500	450	0,5	20
Графитизирующая ВТТЦО	720	600	4,0	30

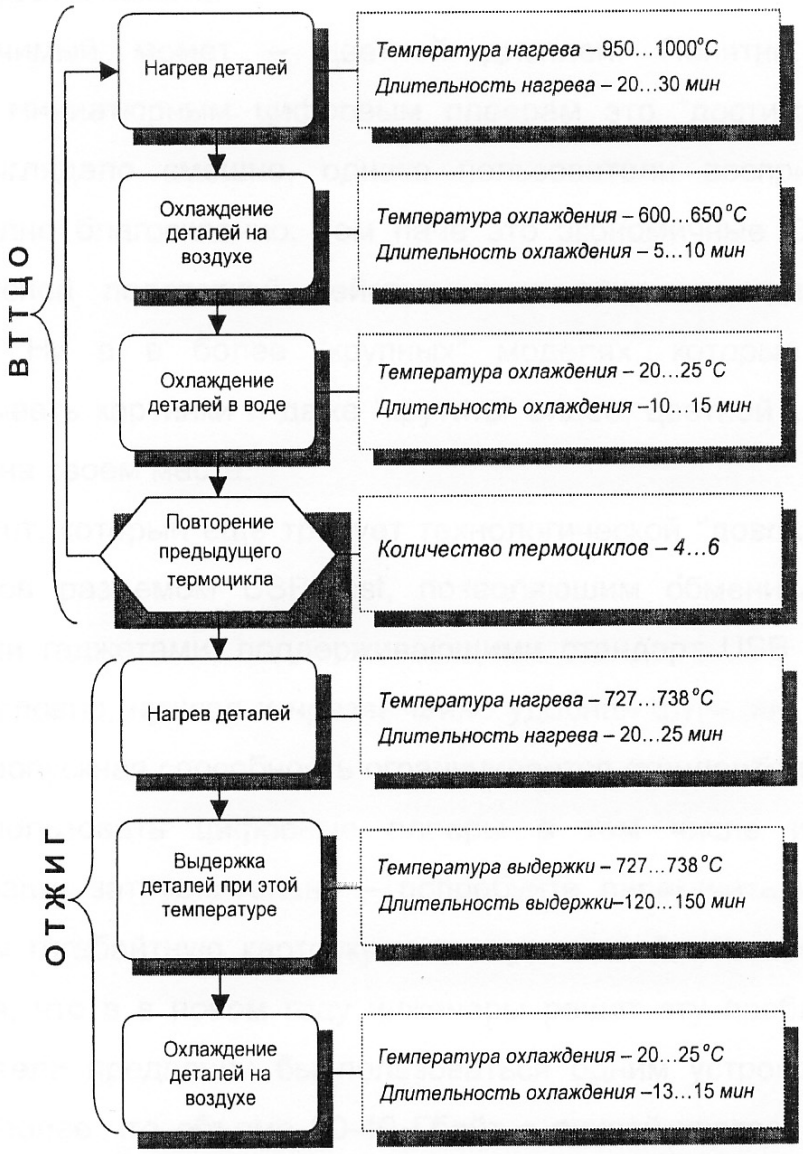

Рис. 1. Технологическая схема получения высокопрочных ковких чугунов

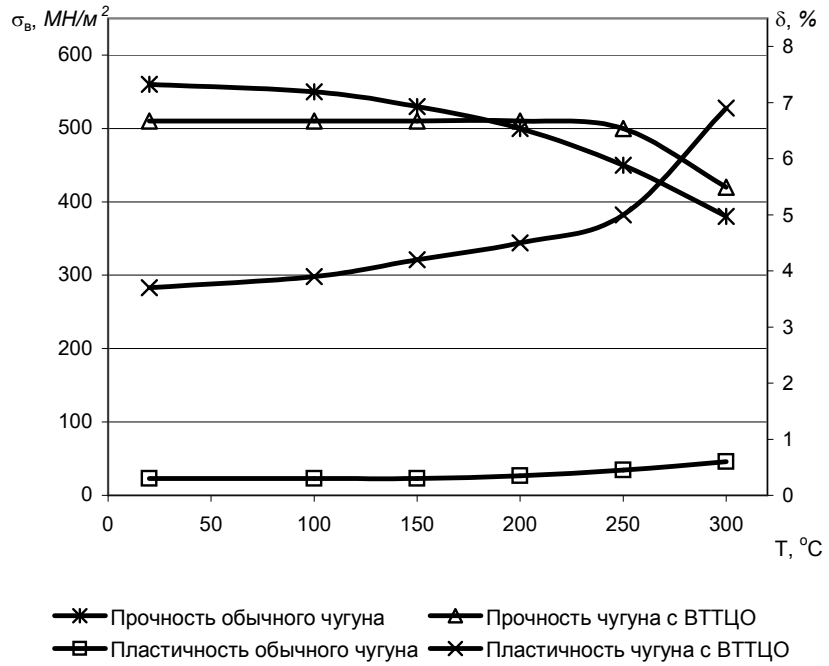

Рис. 2. Зависимость прочности и пластичности чугуна от температуры испытания

Из приведенных данных видно, что применение ВТТЦО вместо традиционного графитизирующего отжига улучшает механические свойства чугуна. В этом случае в условиях производства можно резко сократить технологическое время термической обработки.

Графитизирующая ВТТЦО - кратковременный и технически легко реализуемый процесс (применяется только печной нагрев).

Промышленное внедрение разработанной технологии за счет быстрой графитизации первичного цементита может привести к экономии материалов и повышению качества деталей из ковких чугунов.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. **Хорошев И.И.** Теоретические основы производства ковкого чугуна и графитизированной стали.-Ростов-на-Дону, 1966. – 102 с.
2. **Кунявский М.Н.** Термическая обработка чугуна.-М.: Машгиз, 1950.- 408 с.
3. **Гуляев А.П.** Металловедение.-М.: Металлургия, 1986.-544 с.
4. **Нижненко И.Г.** Графитизация и свойства чугуна.- Киев: Наукова думка, 1989.- 208 с.
5. **Новик Ф.С., Арсов Я.Б.** Оптимизация процессов технологии металлов методами планирования экспериментов.-М.: Машиностроение, 1980.-304 с.

ГИУА. Материал поступил в редакцию 04.11.2004.

Ս.Գ. ԱՂԲԱԼՅԱՆ, Ռ.Ս. ԵՂԻԱԶԱՐՅԱՆ

ՄԽՄԱՆ ԵՂԱՆԱԿՆԵՐԻ ԱԶԴԵՑՈՒԹՅՈՒՆԸ ԿՌԵԼԻ ԹՈՒՋԵՐԻ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔԻ ԵՎ ՀԱՏԿՈՒԹՅՈՒՆՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՄԱՆ ՎՐԱ

Հետազոտվել են սպիտակ թուջերի ջերմային մշակման օրինաչափությունները, որի արդյունքում փորձի մաթեմատիկական պլանավորման միջոցով դուրս է բերվել թերմոցիկլիկ մշակման ռեժիմների և ստացվող կոռելի թուջի մեխանիկական հատկությունների կապը: Մշակվել է բարձրամուր կոռելի թուջերի ստացման ջերմային մշակման տեխնոլոգիա, որը, համեմատած ստանդարտ կոռելի թուջերի հետ, ապահովում է բարձր մեխանիկական հատկություններ:

Առանցքային բառեր. սպիտակ թուջ, թերմոցիկլիկ մշակում, մխում, թրծում, գրաֆիտացում, ցեմենտիտ, աուստենիտ, ֆերիտ, գրաֆիտ, կոռելի թուջ:

S.G. AGHBALYAN, R.S. YEGHIAZARYAN

HARDENING METHOD INFLUENCE ON SHAPING THE STRUCTURE AND CHARACTERISTICS FOR FORGING CAST IRON

White cast iron thermal processing regularities are studied. By means of mathematical planning of experiments, the dependence setting on the relationship between thermocyclic processes and mechanical characteristics of the forged cast iron to be obtained is defined. The technology for obtaining high-test forging cast iron by thermal processing is developed. Compared with the standard forging cast iron it provides with high mechanical characteristics.

Keywords: white cast iron, thermocyclic processing, hardening, graphitization, cementite, austenite, ferrit, graphite, forging cast iron.