

УДК 621.746,621.74.002

## Жаростойкость хромистого чугуна, легированного графитизирующими элементами

Э.Х. Ри, Х. Ри, М.А. Ермаков\*

Тихоокеанский государственный университет,  
Россия, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136

Received 05.02.2014, received in revised form 14.03.2014, accepted 22.05.2014

*В работе использованы методы гамма-проникающих излучений и термического анализа для определения температуры начала эвтектоидного превращения, а также метод термографического анализа, позволяющего обнаруживать сам факт протекания процесса, температурный интервал, в котором он происходит, и его эндо- и экзотермический характер. Установлено влияние графитизирующих элементов (Al, Cu, Ni, Sn) на повышение жаростойкости белого хромистого чугуна.*

*Ключевые слова: жаростойкость, убыль массы образца, эвтектоид, термический анализ, термогравиметрия, эндотермический эффект, экзотермический эффект.*

В качестве исходного образца использовали чугун состава, масс. %: 1,9...2,0 C; 0,9...1,0 Si; 0,5 Mn; 0,1 S и P; 8,0 Cr. В качестве легирующих элементов применялись: Cu (0,1...1,0 мас. %); Ni (0,5...2,5 мас. %); Al (0,5...2,0 мас. %); Sn (0,1...1,0 мас. %).

При температуре расплава 1500 °C методом всасывания кварцевой трубкой диаметром 3 мм получены образцы, которые подвергались исследованию на жаростойкость на дериватографе Q-1000. Образцы нагревали с постоянной скоростью 10 град/мин до температуры 900 °C. При этой же температуре выдерживали образцы в течение 20, 40 и 60 мин. При этом автоматически производилась запись дифференциальных кривых зависимости температуры  $\Delta T_{обр} = f(T_{эвл})$  [ДТА], массы  $\Delta m = f(T, \tau)$  и скорости окисления  $V_{\Delta m} = f(T, \tau)$  [ТГ]. На основании этих зависимостей определяется прирост массы образца в процессе окисления, причем привес окисления относится к суммарной его площади  $S$  ( $\Delta m/S, \text{г/м}^2$ ).

Анализ кривых ДТА показал, что до температуры 150 °C значения ДТА уменьшаются вследствие удаления адсорбированной влаги и иных загрязнений с поверхности образца. После этого начинается процесс окисления хрома, сопровождающегося ростом значений ДТА с возрастающей скоростью до температуры 440 °C. При этом масса образца исходного хромистого чугуна монотонно увеличивается (ТГ). На этой стадии происходит образование окисной пленки хрома низкой плотности, не предохраняющей поверхность образца от дальнейшего интенсивного окисления, что подтверждается более крутым характером возрастания значений ДТА (участок I на кривой ДТА) и увеличением массы образца.

На участке II кривой ДТА в образце исходного хромистого чугуна наблюдается некоторое уменьшение его значения с эндотермическим эффектом при температуре 758 °С. Данный эффект связан с распадом вторичного карбида  $(Fe, Cr)_7C_3$ .

На участке III кривой ДТА происходит скачкообразный рост значений ДТА и более интенсивный прирост массы образца (ТГ) вследствие окисления хрома и углерода по механизму экзотермического эффекта.

На участке IV кривой ДТА наблюдается второй эндотермический эффект при температуре 850 °С с последним интенсивным окислением хрома и углерода до 900 °С вследствие разложения первичного карбида  $(Fe, Cr)_7C_3$ .

При дополнительном легировании хромистого чугуна, например, медью до 1,0 мас.% происходит некоторое изменение характера кривых ДТА:

- температура начала окисления медных хромистых чугунов ниже, чем у хромистого (~200 °С); медь взаимодействует с кислородом воздуха, образуя плотную окисную пленку, предохраняющую образец от интенсивного окисления;

- до содержания меди 0,5 мас.% кривые ДТА (участок II) имеют более пологий характер (крутизну); при дальнейшем увеличении содержания меди крутизна кривых ДТА вновь возрастает, т.е. интенсивность окисления повышается;

- с увеличением содержания меди в хромистом чугуне температура наибольшего роста значений ДТА (конец участка I) смещается в сторону более высоких температур (0 % Cu – 440 °С и 1,0 мас.% Cu – 500 °С);

- температура второго эндотермического эффекта, связанного с разложением первичного карбида хрома, имеет тенденцию снижения по мере повышения концентрации меди: при 0 % Cu – 850 °С; при 0,75...1,0 мас.% Cu – 810...820 °С.

Аналогичная зависимость изменения значений ДТА и массы образцов наблюдалась при легировании хромистого чугуна Ni, Sn, Al.

Поскольку эффект второго эндотермического процесса зависит от содержания графитизирующих легирующих элементов, исследовано их влияние на температуры начала  $t_{A_1}^H$  и конца  $t_{A_1}^K$  эвтектоидного превращения хромистого чугуна при охлаждении, определенные методами гамма-проникающих излучений и термического анализа, и температуру эндотермического процесса  $t_3$  (рис. 1, а-г). Как видно, при легировании хромистого чугуна сильными перлитизаторами – Cu и Ni (рис. 1, а-г) – температуры  $t_{A_1}^H$  и  $t_{A_1}^K$  снижаются. Поэтому температура второго эндотермического эффекта, соответственно, уменьшается по мере повышения концентрации Cu и Ni.

При легировании хромистого чугуна оловом сначала повышаются температуры  $t_{A_1}^H$  и  $t_{A_1}^K$  до 0,5 мас.% Sn. По аналогичной зависимости от концентрации олова изменяется температура второго эндотермического эффекта  $t_3$  (рис. 1, в). Таким образом, при легировании хромистого чугуна Cu, Ni и Sn наблюдается полная корреляция между вышеуказанными параметрами.

Влияние алюминия-перлитизатора на температуры начала и конца эвтектоидного превращения чугуна несколько сложнее: наблюдается сначала повышение до 0,5 мас.% Al, а затем их снижение до 1,0 мас.% Al (рис. 1, г). При дальнейшем повышении концентрации алюминия значения параметров эвтектоидного превращения увеличиваются. Несмотря на сложный характер изменения кристаллизационных параметров эвтектоидного превращения, при высоко-

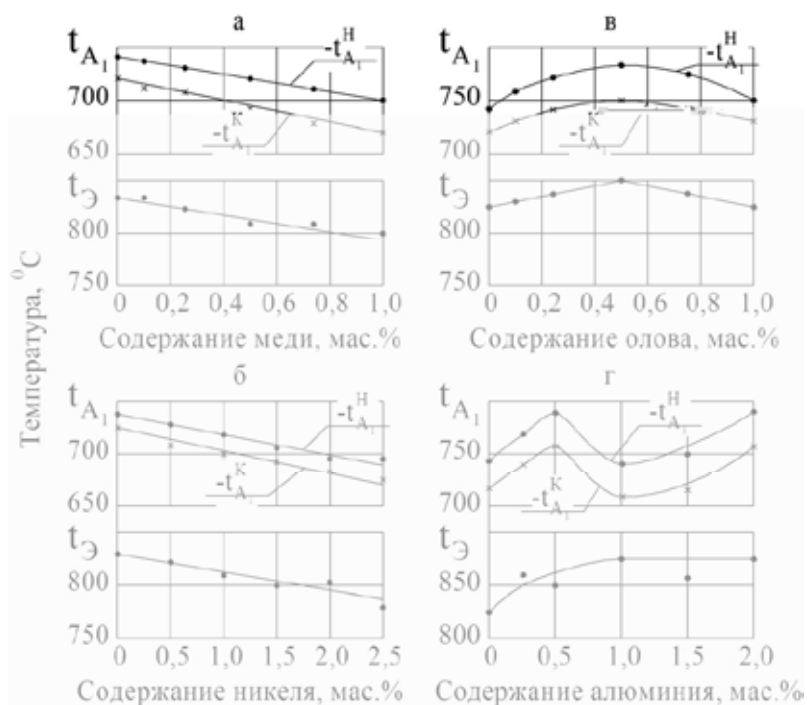


Рис. 1. Влияние графитизирующих элементов на температуры начала  $t_{A_1}^H$  и конца  $t_{A_1}^K$  эвтектоидного превращения и температуры эндотермического процесса  $t_{\Sigma}$

температурном испытании на жаростойкость хромистого чугуна, легированного алюминием, наблюдается повышение температуры второго эндотермического эффекта  $t_{\Sigma}$ , связанного с распадом первичных карбидов тригонального типа и  $Fe_3AlC_3$ , до 1,0 мас.% Al и стабилизация ее на этом уровне.

На рис. 2, А и Б, а приведены результаты влияния меди и олова на жаростойкость (убыль массы образца) хромистого чугуна. Как видно, с увеличением содержания меди до 0,5 мас.% жаростойкость хромистого чугуна резко повышается с последующим ее снижением до 1,0 мас.% Cu. При этом чем выше температура испытания (800...900 °С), тем сильнее проявляется экстремальный характер повышения жаростойкости от концентрации меди. При температурах испытания 500...700 °С максимум жаростойкости наблюдается при 0,25...0,5 мас.% Cu.

Прирост массы образца при изотермической выдержке 40-60 мин (900 °С) имеет минимальное значение при 0,25 мас.% Cu (рис. 2, А, б-в). В исходном хромистом чугуне при увеличении времени выдержки от 20 до 60 мин прирост массы образца возрастает от 43 до 94 г/м<sup>2</sup>. Прирост массы образца с 0,25 мас.% Cu составляет 25 г/м<sup>2</sup> и мало зависит от времени изотермической выдержки.

Аналогичная концентрационная зависимость жаростойкости от легирующих элементов хромистого чугуна наблюдается при легировании оловом (рис. 2, Б, а-в) и никелем (рис. 3, А, а-в). Рациональные концентрации для повышения жаростойкости хромистого чугуна наблюдаются в температурном интервале испытания 600...700 °С при 0,25 мас.% Sn и 1,0 мас.% Ni.

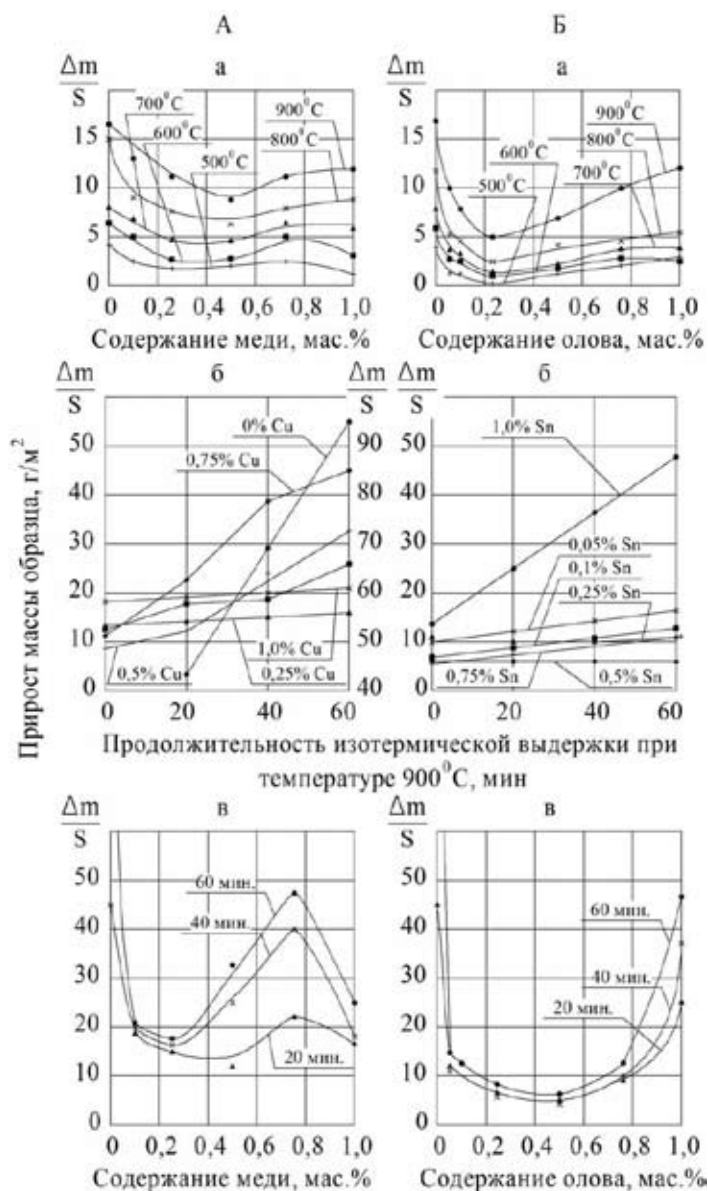


Рис. 2. Влияние графитизирующих легирующих элементов на жаростойкость белого чугуна: А – медь; Б – олово

В алюминиевых хромистых чугунах минимумы прироста массы образца наблюдаются при 0,5 и 1,5 мас.% Al при температурах испытания 700...900 °С, а при низкотемпературных испытаниях (600...700 °С) наиболее рациональным содержанием является 1,5 мас.% Ni (рис. 3, А, а-в).

Таким образом, для повышения жаростойкости хромистого чугуна целесообразно дополнительное легирование медью (0,25...0,5 мас.%), никелем (0,25 мас.%), оловом (0,5 мас.%) и алюминием (0,5 мас.%). Эти чугуны обладают более высокой жаростойкостью, чем хромистый белый чугун.

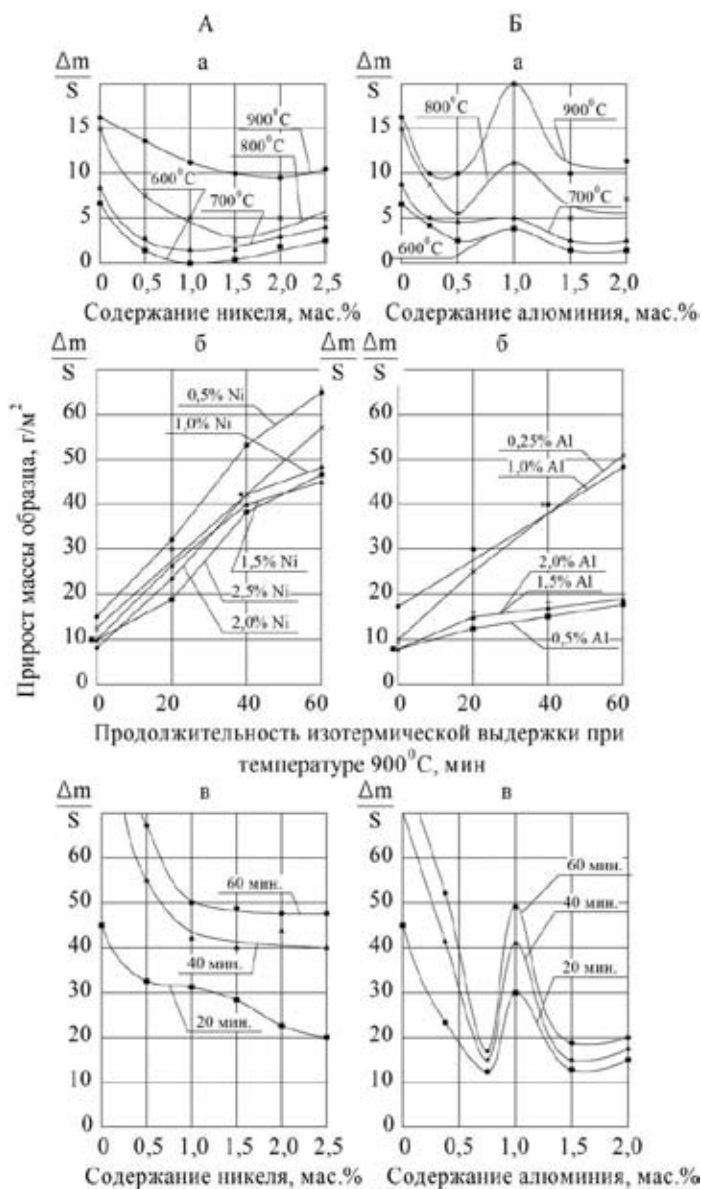


Рис. 3. Влияние графитизирующих легирующих элементов на жаростойкость белого чугуна: А – никель; Б – алюминий

## **Heat Resistance of Chrome Iron Doped with Graphitizer**

**Ernest H. Ri,  
Hosen Ri and Mikhail A. Ermakov**  
*Pacific National University,  
136 Pacific Str., Khabarovsk, 680035, Russia*

---

*The methods of penetrating gamma radiation and thermal analysis are used for determining the beginning of eutectoid transformation temperature, and also a method of thermographic analysis to detect the fact of the process, the temperature range in which it occurs and endo- and exothermic characters. The effect of the graphitizer (Al, Cu, Ni, Sn) to improve the heat resistance of chrome white iron is established.*

*Keywords: heat resistance, decrease the mass of the sample, eutectoid, thermal analysis, thermogravimetry, endothermic effect, exothermic effect.*

---