

Влияние Cr, Mn и Ni на образование карбидов в высокохромистых чугунах

Студенты Кучинский Д.И., Смарцелов Д.С., Ролинский Д.С.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет

г. Минск

Целью работы являлся анализ процессов образования карбидов и получение зависимости количества карбидов от содержания в чугуне С, Cr, Mn и Ni. Применение методов математической статистики и активного планирования эксперимента позволило получить зависимость количества карбидов от содержания в чугуне С, Cr, Mn и Ni. Минимальное количество карбидов (6,4 %) образуется при содержании в чугуне 1,1 % С, 25,6 % Cr, 5,4 % Mn и 3,0 % Ni, а максимальное (43,7 %) при 3,9 % С, 11,4 % Cr, 0,6 % Mn и 0,2 % N.

Материал и методики исследований. Чугуны, содержащие 1,09...3,91 % С, 11,43...29,68 % Cr, 0,6...5,4 % Mn, 0,19...3,01 % Ni, 0,8...1,3 % Si, до 0,02 % S и 0,03 % P, выплавляли в индукционной печи с основной футеровкой. В сухие песчано-глинистые формы отливали образцы диаметром 30мм, длиной 400 мм и технологические пробы высотой 50 мм. Образцы изучались в литом и термически обработанном состоянии (отжиг при 690 °С в течении 9 часов и нормализация от 1050 °С при выдержке 4,5 часа) Анализ структуры выполняли на оптических микроскопах Sigeta MM-700 МИМ-8 и микроскопе РЕМ 106И. Для построения математической модели влияния С, Cr, Mn и Ni на количество карбидов использовали метод активного планирования эксперимента с матрицей планирования дробного факторного эксперимента 24-1.

Анализ полученных результатов. Количество карбидов в исследуемых чугунах изменялось от 6 до 35 % (рис. 1).

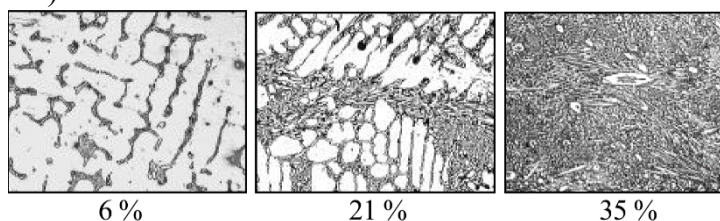


Рисунок 1 - Структура чугуна с различным количеством карбидной фазы, $\times 150$

Углерод связывает от 6 до 16 % хрома в зависимости от образующихся карбидов [3]. Никель и марганец способствуют образованию аустенита и оказывают влияние на растворимость углерода в металлической основе. Марганец увеличивает, а никель снижает содержание углерода в аустените. В работе Н. Г. Гиршовича [7] было определено влияние основных легирующих элементов на положение критических точек в системе Fe-C. Полученные зависимости содержания углерода в эвтектике (Cc'), углерода в насыщенном аустените (CE'), углерода в эвтектоиде (Cs') и эвтектоидной температуры ($s't$) от количества Si, Mn, Ni, Cr, S и P имеют вид: Cc' (в %) = $4,3 - 0,3(Si + P) - 0,4S + 0,03Mn - 0,07Ni - 0,05Cr$ (1) CE' (в %) = $2,03 - 0,11Si - 0,3P + 0,04(Mn - 1,7S) - 0,09Ni - 0,07Cr$ (2) Cs' (в %) = $0,80 - 0,11Si - 0,05(Ni + Cr + Mn - 1,7S)$ (3) $s't$ (в °С) = $723 + 25Si + 200P + 8Cr - 30Ni - 35(Mn - 1,7S) - 10Cu$ (4) Используя уравнение (1), можно определить максимальное содержание углерода в сплаве, при котором не образуются крупные заэвтектические карбиды. Разность уравнений (2) и (3) позволяет определить количество вторичных карбидов после нормализации или гомогенизирующего отжига.

При проведении неполной закалки чугунов количество углерода, растворенного в аустените, приблизительно соответствует эвтектоидной концентрации Cs' . Анализ уравнения (3) показал, что при большом содержании Cr, Mn и Ni получаются отрицательные значения, что не позволяет использовать это уравнение для оценки количества связанного углерода. Углерод в сплаве (C_0) можно разделить на две части: углерод, связанный в карбиды (C_k), и углерод, находящийся в твердом растворе (C_p), который равен Cs' . Уравнение (4) позволяет определить температуру высокого отпуска или отжига, исключая выделение вторичных карбидов. Увеличение скорости охлаждения препятствует образованию крупных карбидов. Структура чугуна в технологической пробе (рис. 2а) имела мелкодисперсные первичные карбиды, а в образце присутствовали крупные заэвтектические карбиды (рис. 2б).

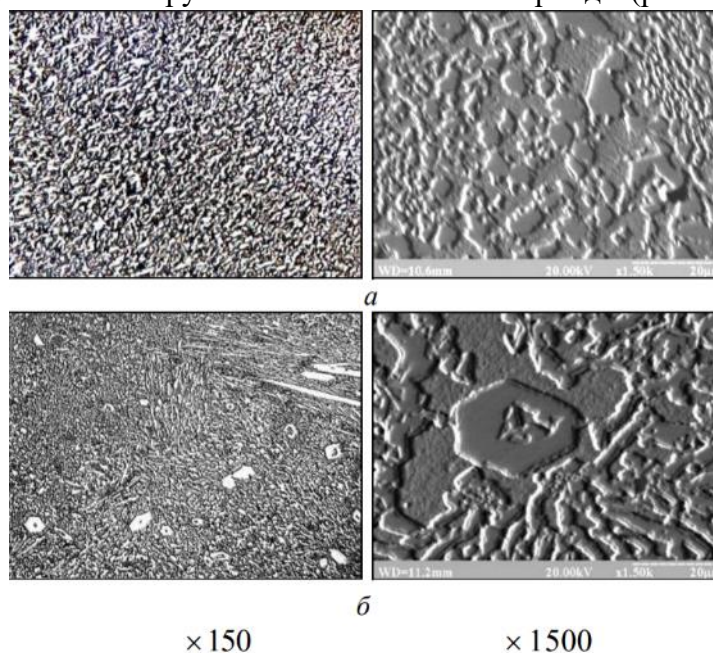


Рисунок 2 - Структура чугуна 300X28H2 с различной скоростью охлаждения: а – первичные мелкодисперсные карбиды; б – крупные заэвтектические карбиды

Максимальное количество карбидов образуется при максимальном содержании углерода и минимальных количествах хрома, марганца и никеля. Структура чугуна состояла из феррита, практически не содержащего углерода и цементита, легированного хромом. Увеличение содержания в чугуне Cr, Mn и Ni вызывает образование аустенита, растворяющего углерод и снижающего количество карбидов, при этом образуются карбиды Me_7C_3 , в которых углерод связывает минимальное количество атомов карбидообразующих элементов. Влияние C, Cr, Mn и Ni на количество карбидов при различных уровнях плана эксперимента представлены на рисунках 3–5. При всех соотношениях легирующих элементов увеличение содержания углерода увеличивало количество карбидов. При этом интенсивность увеличения карбидов зависела от влияния легирующих элементов на растворимость углерода в металлической основе.

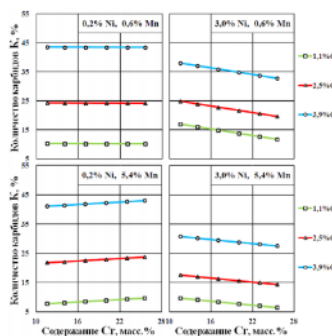


Рисунок 3 - Влияние Cr на количество карбидов в чугунах при различных уровнях C, Mn и Ni

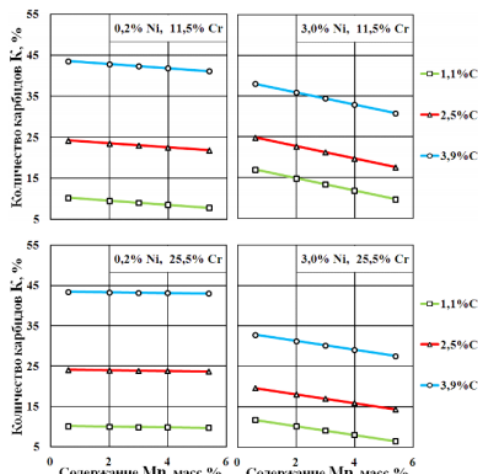


Рисунок 4 - Влияние Mn на количество карбидов в чугунах при различных уровнях C, Cr и Ni

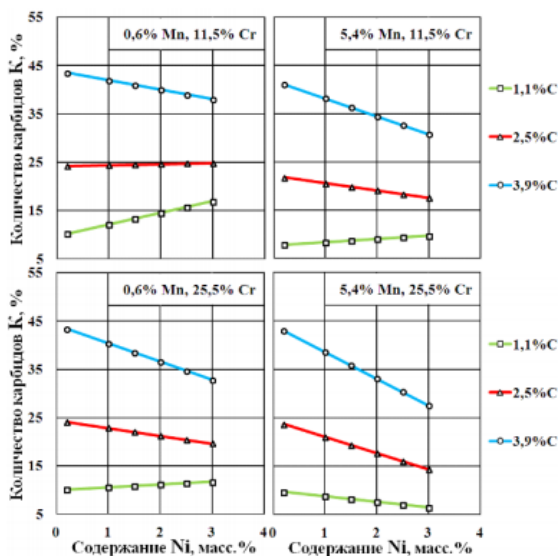


Рисунок 5 - Влияние Ni на количество карбидов в чугунах при различных уровнях C, Cr и Mn

Увеличение содержания хрома в чугунах при 3 % Ni способствовало образованию аустенита и уменьшало количество карбидов. При этом карбидная фаза состояла из высокохромистых карбидов Me_7C_3 и $Me_{23}C_6$. Увеличение содержания хрома в чугунах с минимальным количеством никеля при 0,6 % Mn не влияло на количество карбидов, а при 5,4 % Mn увеличивало. Такое влияние хрома связано с тем, что при 5,4 % Mn в аустените увеличилась растворимость углерода (C_p), что уменьшило часть углерода, образующего карбиды (C_k). Снижение C_k увеличило соотношение Cr/C и вызвало образование карбидов $Me_{23}C_6$, связывающих большое количество карбидообразующих атомов. Увеличение содержания марганца в чугунах снижало количество карбидов. При этом увеличение содержания хрома в чугунах уменьшало интенсивность влияния марганца, что связано с ферритообразующими свойствами хрома. При 25,5 % Cr и 0,2 % Ni увеличение марганца в чугунах практически не уменьшало количество карбидов.

Выводы 1. Увеличение до 25,5 % Cr в чугунах, содержащем 3,9 % C, при минимальных концентрациях Mn и Ni практически не изменяет количество карбидов, а вызывает появление крупных заэвтектических карбидов Me_7C_3 . 2. Нормализация высокохромистых чугунов, легированных Mn и Ni, вызывает образование большого количества мелкодисперсных карбидов,

что может ухудшить износостойкие свойства. 3. Для высокохромистых чугунов, легированных Mn и Ni, целесообразно проведение термической обработки, исключаяющей $\alpha - \gamma$ превращения.