

В. В. Суменкова

Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины, Киев

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ХИМИЧЕСКОГО СОСТАВА СФЕРОИДИЗИРУЮЩИХ ЛИГАТУР НА ТЕПЛОФИЗИЧЕСКИЕ ПРОЦЕССЫ ПРИ МОДИФИЦИРОВАНИИ ЧУГУНА

Приведены результаты приближенного теплофизического расчета процесса модифицирования ваграночного чугуна сфероидизирующей лигатурой, содержащей магний, кальций, кремний и железо. Показано, что увеличение содержания кальция в лигатуре приводит к повышению тепловых затрат на ее растворение и температуры модифицирования чугуна, а кремния – к их снижению. Полученные зависимости позволяют оптимизировать состав лигатур с целью улучшения их растворения и получения чугуна с шаровидной формой графита с высокой степенью сфероидизации.

Ключевые слова: чугун, расчет, лигатура, состав.

Наведено результати приблизного теплотехнічного розрахунку процесу модифікування ваграночного чавуну сфероїдизуючою лігатурою, яка містить магній, кальцій, кремній та залізо. Показано, що збільшення вмісту кальція в лігатурі веде до підвищення теплових витрат на розчинення лігатури і температури модифікування чавуну, а кремнію – до їх зниження. Отримані залежності дозволяють оптимізувати вміст лігатур з метою покращення їх розчинення і отримання чавуну з кулястим графітом з високим ступенем сфероїдизації.

Ключові слова: чавун, розрахунок, лігатура, склад.

Results of the approximate thermal calculation process modifying cast iron spheroidization alloy contenting Mg, Ca, Si and Fe is brought. Increasing of the content Ca in alloy bring to increasing thermal expenditures on dissolving alloys and temperature of modifying cast iron, but silicon – to them lowering is demonstrated. The received dependences is make possible optimizing content of alloys in order to improve them dissolving and receiving cast iron whith graphite spherical form and high degree of graphite inclusions spheroidization.

Keywords: cast iron, calculation, alloy, content.

Химический состав сфероидизирующих лигатур оказывает большое влияние на процесс получения высокопрочного чугуна с шаровидным графитом. Основные компоненты, входящие в лигатуры, характеризуются высокой химической активностью по отношению к жидкому чугуну. Они участвуют в процессах рафинирования чугуна и способствуют созданию условий для кристаллизации графита в шаровидной форме. Изменяя состав модифицирующих лигатур, можно получать необходимую структуру металлической основы отливок в литом состоянии. Учитывая скоротечность процесса ковшового модифицирования, к лигатурам предъявляется требование высокой скорости растворения в чугуне. Скорость растворения лигатур в значительной мере зависит от ее химического состава.

Введение в состав сфероидизирующих лигатур кальция позволяет более глубоко рафинировать чугун, что резко увеличивает поверхностное натяжение и устраняет дефекты типа «черных пятен» в отливках. При добавке в лигатуру кальция возможно снижение содержания в ней магния, что делает ввод лигатуры в чугун более технологичным при сохранении высокой степени сфероидизации графита. При этом

наблюдается увеличение усвоения магния чугуном и значительное уменьшение пироэффекта, вследствие чего снижается загрязнение атмосферы.

При обеспечении максимальной степени сфероидизации графита использование лигатур с кальцием позволяет значительно снизить содержание магния. С увеличением концентрации кальция при наличии магния эффективность модифицирования возрастает [1, 2]. Кальций имеет более высокие температуры плавления и кипения, чем магний, и в процессе модифицирования образует достаточно тугоплавкие шлаки, что требует определенного перегрева чугуна. В связи с этим применение высококальциевых лигатур затруднено для низкотемпературных ваграночных чугунов. Применение комплексных модификаторов, содержащих кальций, практически всегда требует одновременного введения флюсов. Наиболее эффективными являются фториды и хлориды щелочноземельных металлов, которые способствуют переохлаждению чугуна при кристаллизации и тем самым дополнительно формируют шаровидный графит.

В связи с практическим отсутствием теплофизических характеристик основных компонентов сфероидизирующих лигатур исследования теплофизических процессов при модифицировании чугуна затруднены и проводятся крайне редко. Поэтому большой интерес представляет приближенный теплофизический расчет, приведенный в работе [3]. Авторы определяли расходы тепла на различные процессы, протекающие при вводе лигатур в жидкий ваграночный чугун. Однако в основу расчета были положены не совсем корректные исходные данные: очень большой расход лигатуры (5 %) и относительно низкое содержание магния (5 %). Такое количество лигатуры даже с флюсом в виде плавикового шпата CaF_2 сложно растворить в чугуне ваграночной плавки.

Чугун при вводе модификатора нагревается до температуры плавления, при этом просходят плавление модификатора, разрушение связей в его фазовых составляющих, испарение легкоплавких магния и кальция и другие процессы, требующие затрат тепла.

Используя методику, предложенную в работе [3], провели приближенный тепло-технический расчет процесса модифицирования ваграночного чугуна с содержанием около 0,1 %мас. S*. Количество чугуна составило 10 кг, расход модификатора – 3 %. В состав модификатора входило 7 % Mg; 0,5-12 % Ca; 50-70 % Si, остальное – железо. В процессе расчета определяли расходы тепла на нагрев модификатора до температуры плавления Q_1 , на его плавление Q_2 , на разрушение связей между кальцием и кремнием Q_3 , железом и кремнием Q_4 , на испарение магния и кальция Q_5 , на перегрев ваграночного чугуна сверх минимальной температуры заливки Q_6 , на усвоение лигатуры чугуном Q_8 . Определяли тепловой эффект от растворения свободного кремния в высококремнистых модификаторах Q_7 от реакций рафинирования и необходимую температуру модифицирования чугуна T_m .

Для каждого возможного состава лигатуры фазовый состав должен определяться по диаграммам состояния. Однако, учитывая отсутствие диаграммы состояния Fe-Si-Mg-Ca, в расчете принимался ряд допущений. Так, при определении скрытой теплоты плавления в основу расчета была положена диаграмма состояния Fe-Si с допущением, что магний и кальций находятся в ней в чистом виде. При определении теплоты разрушения химических связей в фазах лигатуры исходили из стехиометрического состояния элементов в фазах.

На рис. 1 и 2 показаны результаты проведенного расчета. При постоянном магнии в лигатуре увеличение кальция приводит к уменьшению содержания железа в лигатуре и затратам тепла на разрушение связей Fe-Si (Q_4). Увеличение содержания кремния в заданных пределах (50-70 %) приводит к такому же результату,

*В работе принимала участие Р. А. Кукина

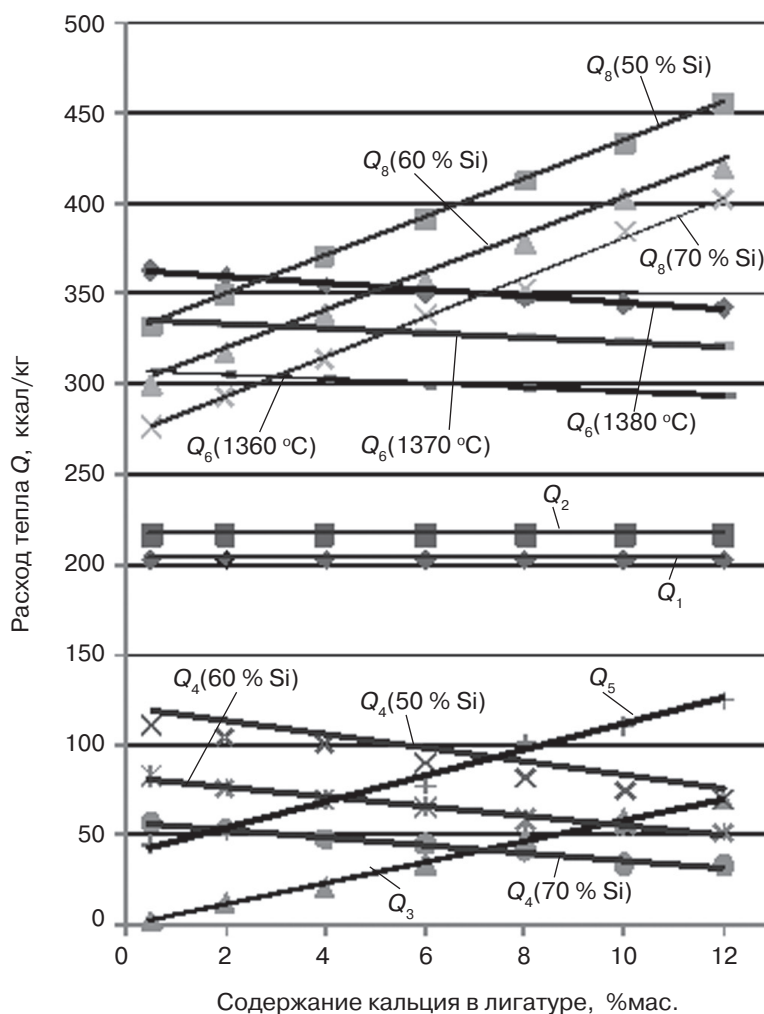


Рис. 1. Влияние содержания кальция в лигатуре на расход тепла при модифицировании чугуна

возможно, за счет перехода относительно тугоплавкой фазы FeSi ($t_{\text{пл}} \sim 1410 \text{ }^\circ\text{C}$) к более легкоплавкой – FeSi_2 ($t_{\text{пл}} \sim 1212 \text{ }^\circ\text{C}$). Кроме того, в высококремнистых лигатурах возможно присутствие свободного кремния и, соответственно, уменьшение количества связанного, что также снижает расход тепла на разрушение связей Q_4 . В исследуемом интервале концентраций увеличение содержания кремния на 20 % приводит к уменьшению Q_4 примерно на 50 ккал/кг, а с увеличением кальция с 0,5 до 12 % – примерно на 25 ккал/кг.

Чем больше в лигатуре кальция, тем больше расход тепла на его испарение и разрушение связей Ca-Si. Теплозатраты на растворение кальция определяют ход теплового процесса модифицирования чугуна: с увеличением содержания кальция в лигатуре повышается расход тепла на усвоение лигатуры, а это связано с необходимостью повышения температуры чугуна.

Лигатуры, изготовленные в производственных условиях, в основном содержат около 50 % Si [4]. При исходной температуре чугуна около $1380 \text{ }^\circ\text{C}$ и содержании в лигатуре 7 % Mg кальций должен находиться в модификаторе в пределах 2-4 %.

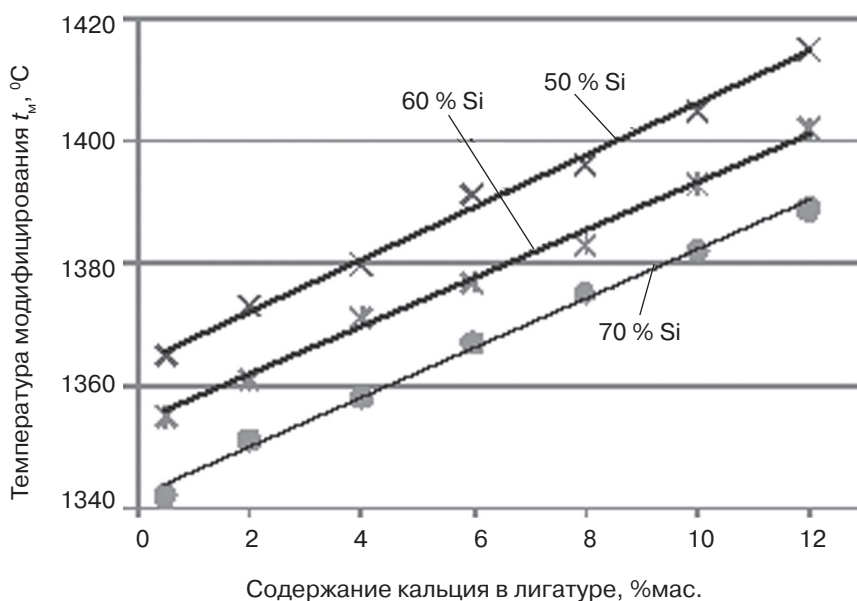


Рис. 2. Влияние содержания кальция в лигатуре на температуру модифицирования чугуна (t_m)

Снижение расхода лигатуры значительно понижает теплотраты при модифицировании чугуна. Так, уменьшение расхода на 2 % (с 5 до 3 %) снижает расход тепла примерно на 30 % и необходимую температуру исходного чугуна примерно на 20-30 °C.

Проведенный расчет показал возможность теоретически определять состав лигатуры для используемого способа получения чугуна в производственных условиях и дать рекомендации по определению его исходной температуры. Это позволит получать высокопрочный чугун с шаровидным графитом с высокими заданными механическими свойствами.



Список литературы

1. Волощенко М. В., Коробко Б. П. Эффективность производства и применения высокопрочного чугуна. – Киев: УкрНИИТИ Госплана УССР, 1990. – 72 с.
2. Ващенко К. И., Софрони Л. Магниевый чугун. – М.; Киев: Машгиз, 1960. – 424 с.
3. Кукина Р. А., Пресников Н. Д. Оптимальный состав Fe-Si-Ca-Mg лигатур для получения высокопрочного чугуна // Литейн. пр-во. – 1972. – № 6. – С. 26-27.
4. Гасик Л. Н., Игнатъев В. С., Гасик М. И. Структура и качество промышленных ферросплавов и лигатур. – Киев: Техніка, 1975. – 152 с.

Поступила 23.07.2013