

УСВОЕНИЕ МАГНИЯ ПРИ ПРОИЗВОДСТВЕ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ.

S.O.Olsen, C.Hartung. Отдел литейных ферросплавов компании Элкем АС, Kristiansand, Norway

Введение.

Остаточное содержание магния и степень его усвоения в процессе обработки чугуна всегда являлись объектом жарких дискуссий среди литейщиков. Данная статья суммирует наиболее важные факторы, оказывающие влияние на степень усвоения и величину навески магния при ковшевых методах обработки чугуна на ВЧ.

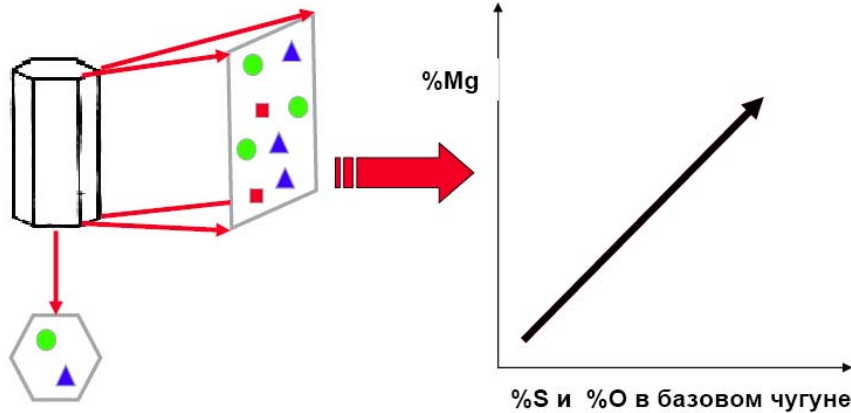
Факторы, оказывающие влияние на степень усвоения магния и величину его навески.

Содержание серы и кислорода в базовом чугуне.

Чтобы провести анализ основных аспектов производства высокопрочного чугуна необходимо для начала рассмотреть механизм роста включений графита. Принято считать, что рост включений графита в чугуне обычно происходит вдоль полюсов плоскости с минимальной межфазной энергией. Это будет плоскость с максимальной плотностью упаковки, и она будет расти с наибольшей скоростью. При наличии в расплаве поверхностно активных элементов, таких как, например, сера и кислород, боковая грань кристалла графита растет наиболее быстрыми темпами, но если эти элементы нейтрализовать, то рост в базисной плоскости опять станет идти быстрее всего. Если рост графита быстрее всего происходит в базисной плоскости, то формируются структуры высокопрочного чугуна, а если по боковой грани кристалла – серого. Следовательно магний вводится в расплав для нейтрализации таких поверхностно активных элементов, как: сера и кислород. Это означает, что при повышенном содержании серы и кислорода в базовом чугуне требуется повышенная навеска магния (Рис. 1). Пример того, как влияет повышенное содержание серы в базовом чугуне на структуру чугуна при неизменной навеске ФСМг показан на Рис. 2.

Содержание S и O в базовом чугуне

$$\text{Навеска Mg (\%)} = \frac{\text{Требуемое содержание Mg (\%)} \times 100}{\text{Степень усвоения Mg}} + 0.76 \times \text{S в базовом чугуне (\%)}$$



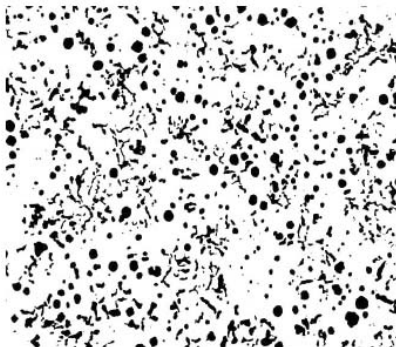
S и O поверхностно активные элементы и должны быть нейтрализованы

Высокое содержание S и O в базовом металле → увеличение количества вводимого магния

Рисунок 1: Повышенное содержание серы и кислорода в базовом чугуне приводит к увеличению количества вводимого в расплав магния.

Эффект содержания S в базовом чугуне

S (в базовом чугуне) = 0.018 %
 Навеска ФСМг = 1.0 %вес
 S (в отливках) = 0.016 %
 Степень шаровидности графита ~ 50 %



S (в базовом чугуне) = 0.010 %
 Навеска ФСМг = 1.0 %вес
 S (в отливках) = 0.008 %
 Степень шаровидности графита ~ 80 %

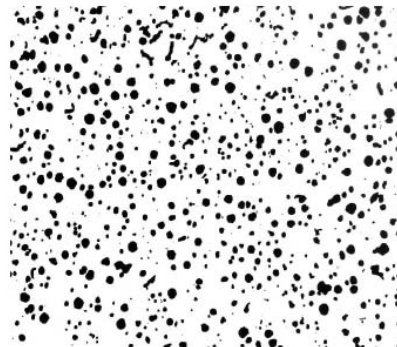


Рисунок 2: Приведен пример того как различное содержание серы в базовом чугуне влияет на структуру при неизменной навеске ФСМг. При содержании серы на уровне 0,018% степень шаровидности графита составляет 50 %, а при 0,010 % - степень шаровидности 80 %.

На Рисунке 3 приведено соотношение между содержанием серы в базовом чугуне и

минимальным остаточным содержанием магния, требуемым для получения высокопрочного чугуна.

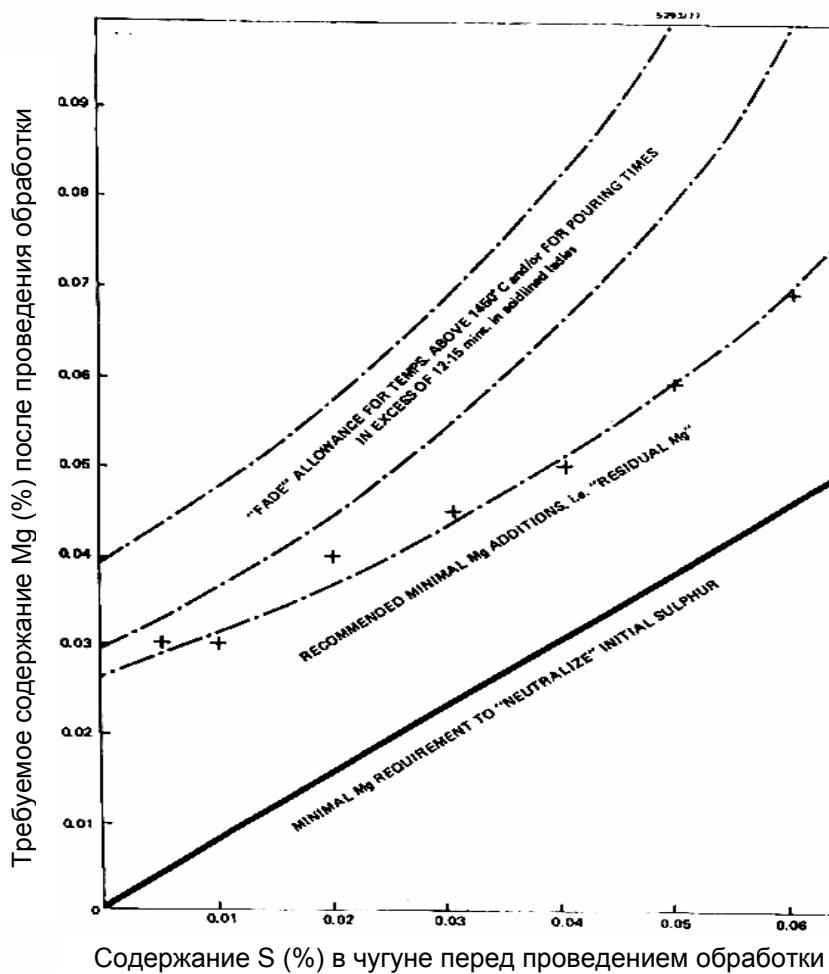


Рисунок 3. Диаграмма, показывающая соотношение между содержанием серы в базовом чугуне и остаточным содержанием магния, необходимым для получения высокопрочного чугуна.

Температура выпуска металла из печи.

Температура выпуска металла из печи (или температура обработки расплава) должна быть как можно ниже для того, чтобы реакция расплава с магнием не была слишком бурной. Повышенные температуры выпуска приводят к более высоким потерям магния на испарение и снижают степень усвоения магния. Температура кипения металлического магния составляет порядка 1110 °С, а обычные температуры обработки на литейных предприятиях близки к 1500 °С.

Ввод модификатора в ковш.

Время между засыпанием ФСМг в ковш и началом наполнения ковша расплавом необходимо минимизировать для того, чтобы избежать разогрева модификатора и его окисления. В тоже самое время в ковше не должно оставаться остатков жидкого металла от предыдущих обработок, так как это может привести к раннему началу реакции металла с модификатором и снижению степени усвоения магния.

Шлак.

Шлак, который может попасть в реакционный ковш с металлом из плавильной печи

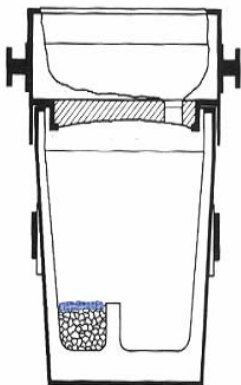
и/или печей выдержки, необходимо удалять, так как он вступит в реакцию с магнием и снизит степень его усвоения. Необходимо внедрять на предприятии процедуры удаления шлака из печей и тщательно следить за их исполнением. Как правило, печь тщательно очищают от шлака перед первой обработкой, тогда как при последующих обработках шлак начинает вновь накапливаться и попадает в ковш.

Дизайн ковша.

Отношение высоты ковша к его диаметру должно быть не менее 2 : 1, а на его дне необходимо устраивать защитный карман, достаточно большой, чтобы вместить модификатор и защитное покрытие. Усвоение магния будет повышаться с увеличением высоты ковша, так как при этом растет ферростатический напор перед началом реакции расплава с модификатором.

Дизайн ковша

Правильно спроектированный ковш дает следующие преимущества:



$H:D > 2:1$

Степень усвоения магния
50 - 80% !

- Высокая степень усвоения магния
- Высокая воспроизводимость процесса обработки
- Надежный процесс обработки расплава
- Отсутствие пирозэффекта
- Снижение газовыделений на $\approx 90\%$
- Отсутствие выплесков металла
- Минимальные потери температуры и углерода
- Хорошие экономические показатели процесса

Рисунок 4: Правильный дизайн ковша и преимущества, которые он дает.

Необходимо, чтобы теплоизоляция ковша снижала до минимума потери тепла и, как следствие, можно будет снизить температуру обработки. Для дальнейшего снижения температуры обработки и увеличения степени усвоения магния рекомендуется использовать промежуточный ковш–крышку.

Защитное покрытие.

Защитное покрытие (сэндвич-процесс) на модификаторе задержит начало реакции и улучшит абсорбцию магния в жидком чугуне. В качестве покрытия можно использовать измельченный ферросилиций, стальные пластины, высечку или просушенную чугунную стружку. Главное – это сам факт использования защитного покрытия, а не тип используемого для этого материала.

Время заполнения ковша.

Скорость заполнения реакционного ковша должна быть достаточно высока для того, чтобы достичь высокого ферростатического напора в ковше перед началом реакции. Малое время заполнения ковша также приведет к меньшим потерям тепла и потерям магния на испарение.

Химический состав ФСМг.

Высокое содержание магния в модификаторе приводит к тому, что реакция становится слишком бурной, а степень усвоения магния снижается. Высокое содержание кальция снизит интенсивность реакции и увеличит степень усвоения магния, однако при этом вырастет склонность к формированию шлака. РЗМ (в частности, церий) позволят улучшить степень усвоения магния, так как их наличие в модификаторе помогает снизить требуемое для обработки количество магния и, следовательно, остаточное содержание магния в чугуне. Содержание алюминия в ФСМг должно быть низким для снижения склонности к формированию шлака и дресса..

Фракционный состав модификатора.

Значительная разница в размерах частиц модификатора в нижней и верхней границах фракционного состава приводит к тому, что насыпная плотность модификатора в защитном кармане увеличивается. Частицы модификатора в процессе модифицирования спекутся и реакция с расплавом чугуна будет протекать медленно и контролируемо, с минимальным количеством всплывающих частиц модификатора. Частицы модификатора, которые всплывают и сгорают на поверхности расплава являются потерями модификатора. Однако следует избегать сегрегации включений модификатора, так как при этом результаты обработки становятся труднопредсказуемыми. Рекомендованная фракция модификатора для ковшей малой емкости 1–10 мм, а для больших ковшей – 4–32 мм.

Время заливки.

Продолжительные заливки требуют наличия повышенного содержания остаточного магния в расплаве для того, чтобы компенсировать эффект старения модифицирующего эффекта. Это приводит к тому, что необходимо использовать увеличенные навески модификатора, а это, в свою очередь, снижает степень усвоения магния. Как правило, чем больше навеска модификатора, тем меньше степень усвоения.

Вторичное графитизирующее модифицирование.

Правильно проведенное вторичное графитизирующее модифицирование расплава приводит к тому, что количество магния, требуемое для получения включений графита с хорошей степенью шаровидности, уменьшается. Это, в свою очередь, приводит к снижению навески магний–содержащего модификатора и, следовательно, к увеличению степени усвоения магния. Во многих случаях низкая степень шаровидности графита или формирование вырожденных форм графита связывается с низким уровнем содержания остаточного магния, в то время как на самом деле это связано с неправильно проведенным вторичным графитизирующим модифицированием.

Шлак в ковше и защитном кармане.

Шлак, накапливающийся в ковше и защитном кармане, снижает степень усвоения

магния. Это, по всей видимости, происходит из-за реакции между шлаком и магнием. Если позволить защитному карману забиться шлаком, то возможно просыпание модификатора мимо кармана, а это, в свою очередь, приведет к всплыванию модификатора в процессе обработки. Пустые ковши следует держать наклоненными или перевернутыми вверх дном для того, чтобы избежать забивания защитного кармана и стенок ковша шлаком.

Хранение модификаторов.

Все модификаторы содержат в определенных количествах высокоактивные элементы. Наличие этих элементов необходимо для получения требуемых эффектов от обработки. Это означает, что при контакте с водой модификаторы окисляются. Использование окисленных модификаторов приводит к снижению степени усвоения магния, а при сильных степенях окисления усвоение магния может упасть до 50 %. Модификаторы следует хранить в закрытой таре в сухих помещениях и не открывать до тех пор, пока они не будут доставлены на участок обработки. Следует избегать сильных перепадов температур при хранении и транспортировке для предотвращения риска формирования конденсата. Перевозить материал следует в закрытых и водонепроницаемых контейнерах.

Требуемая навеска ФСМг, вес %

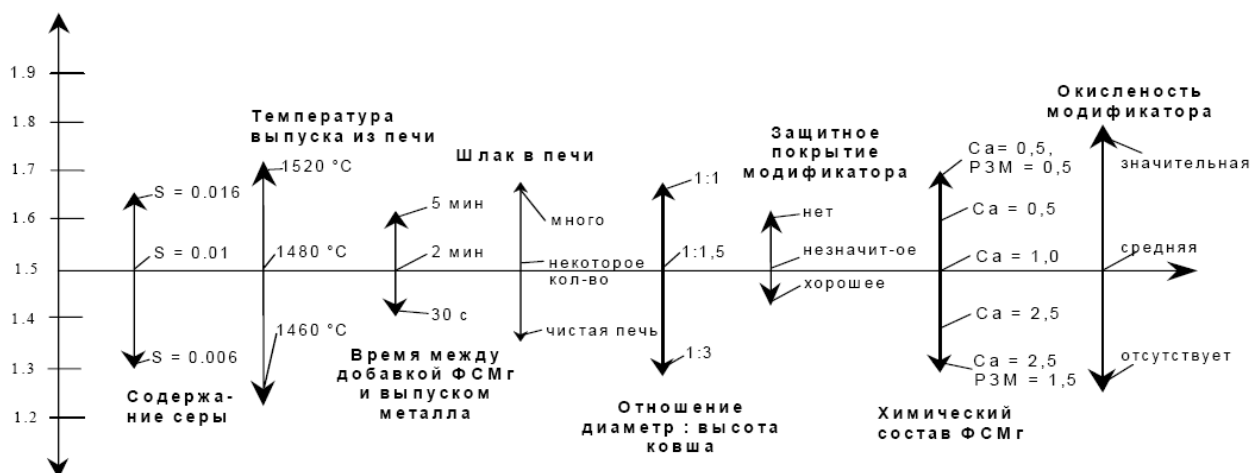


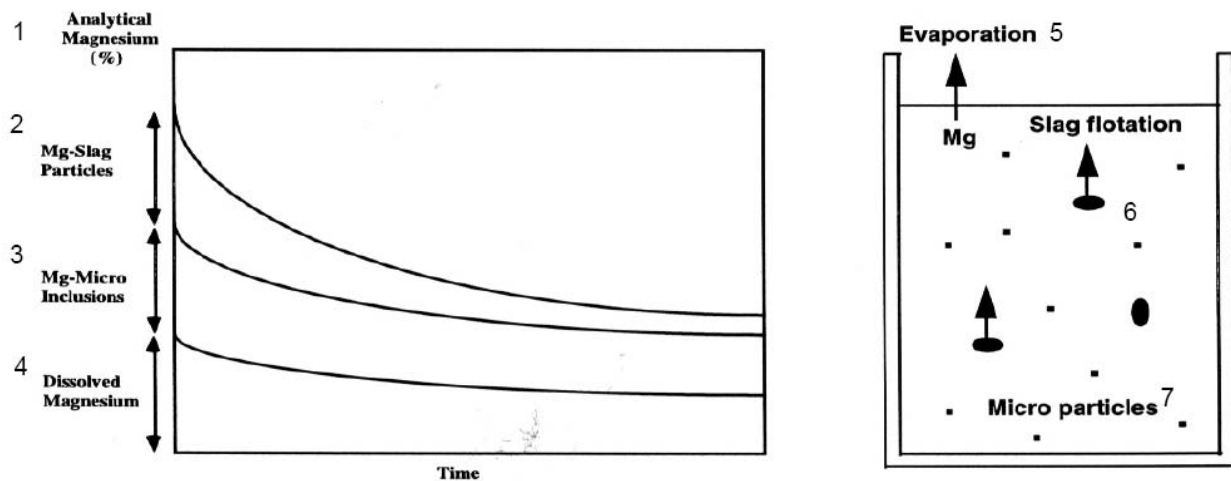
Рисунок 5: Диаграмма, показывающая примеры того, как различные факторы могут повлиять на размер навески ФСМг при производстве ВЧ при ковшевых методах обработки расплава.

Остаточный магний и старение модифицирующего эффекта.

Общее аналитическое (или остаточное) содержание магния в жидком чугуне сразу после проведения обработки состоит из:

- Растворенного магния
- Микровключений, содержащих магний

- Больших шлаковых включений, содержащих магний



1-аналитический магний, %; 2- магний в шлаке; 3-неметаллические включения с магнием; 4-растворенный магний; 5- испарение; 6- флотация шлака; 7 - микрочастицы

Рисунок 6: Снижение остаточного содержания магния в процессе выдержки обработанного чугуна (слева) и схематическое представление потерь магния из реакционного ковша (справа).

При последующей выдержке металла все эти составляющие от общего (остаточного) содержания магния поведут себя различным образом. Шлаковые включения всплывут к поверхности расплава в соответствии с законом Стокса. Аналитически мы увидим это как снижение остаточного содержания магния. Для того, чтобы использовать остаточное содержание магния как критерий успешности обработки, необходимо очень строго проводить процедуру отбора проб. Сравнивать результаты можно только если образцы берутся одинаковым образом от обработки к обработке.

Список использованной литературы.

1. T.Skaland: A model for the graphite formation in ductile iron, Ph.D. Thesis 1992: 33, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway (1992).
2. R.Elliott : Cast Iron Technology, 1988, London, UK, Butterworths.
3. S.I.Karsay: Ductile Iron I Production, QIT 1976
4. M.Onsøien: Microstructure evaluation in ductile cast iron containing rare earth metals, Ph.D. Thesis 1997:115, The Norwegian Institute of Technology, Trondheim, Norway.
5. J.Nilsson: Slagginnesluninger i segjärn och gråjärn, Rapport 921209, Svenska Gjuteriforeningen, Jönköping, Sweden.
6. Gjutfelsanalys (Handbok). Mekanpublikasjon 76201. Sveriges Mekanförbund, 1976
7. Elkem Technical Information Sheets