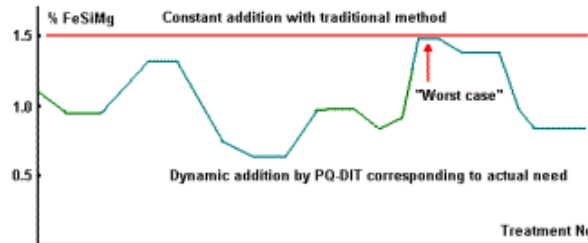


Улучшите Вашу технологию получения ВЧ с помощью системы PQ-DIT за счет применения индивидуально рассчитанной для каждой плавки навески магния.

Рудольф Силлен (Rudolf Sillén) – Технический директор компании NovaCast AB.

Введение

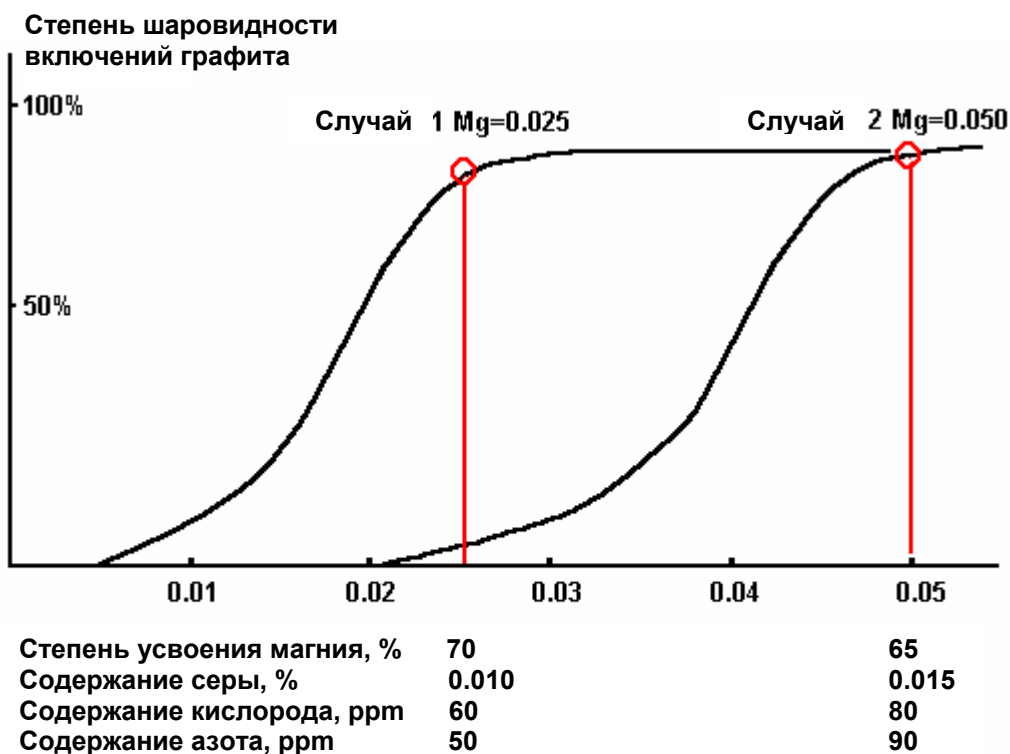


Абсолютное большинство литейных заводов, использующих ковшевое модифицирование для производства ВЧ, вводят постоянное количество магния в каждый ковш. Объем навески, обычно состоящей из ФСМг, находится путем проб и ошибок в соответствии со спецификой производства, существующей на данном предприятии. Типичная навеска ФСМг для ковшевого модифицирования составляет 1.5 %. Если количество остаточного магния в обработанном чугуне находится выше некоторого минимального уровня, а другие важные элементы содержатся в приемлемых пределах, то растворенный углерод будет кристаллизоваться в виде графита сферической формы. Литейные заводы, производящие крупное литье, характеризующееся большими значениями модулей, должны стремиться к минимальному уровню содержания остаточного магния в обработанном чугуне порядка 0.055 %. Для других литейных заводов, производящих тонкостенные отливки, и процесс производства которых характеризуется коротким интервалом времени между обработкой расплава и заливкой форм, минимальный уровень остаточного магния в количестве 0.035 % является достаточным для производства ВЧ. Уровень содержания остаточного магния должен быть довольно высоким для того, чтобы компенсировать целый ряд проблем металлургического характера, связанных с базовым металлом (содержания кислорода, серы, азота, склонность к образованию достаточного количества центров кристаллизации графита и т.д.), а также с усвоением магния из модификатора. И хотя указанные выше уровни содержания остаточного магния достаточны для производства ВЧ приемлемого качества, в большинстве случаев, они слишком высоки и зачастую используется избыточное количество магния. Результатом этого являются: излишне высокие производственные затраты, проблемы со шлаковыми включениями, микроусадка и пониженная механическая обрабатываемость отливок.

В идеальном случае навеска магния должна варьироваться в зависимости от качества базового чугуна (так называемого «металлургического статуса» чугуна), то есть содержания кислорода и серы, активного углеродного эквивалента, потенциала зародышеобразования, температуры обработки и т.д. Однако, до сих пор, сделать это не представлялось возможным, поскольку литейные заводы испытывали недостаток практических и адекватных способов точного определения качества базового чугуна. **Спектральный химический анализ чугуна недостаточен.** Он только определяет количество каждого элемента, но не говорит нам ничего о том, в каком виде представлены эти элементы (например, оксиды, сульфиды, силикаты) и дает еще меньше информации о том, как в расплаве формируются центры кристаллизации графита во время затвердевания отливки. При содержании остаточного магния в расплаве 0.045 % он может состоять из: 0.015 % растворенного магния, 0.01 % MgO, 0.020 % MgS и силикатов Mg, а так же нитридов, что обеспечивает степень сфероидизации включений графита на уровне 95 %. Однако, в другом случае, при том же уровне содержания магния (0.045 %) степень сфероидизации может составлять только 50 % из-за более низкого количества растворенного магния. Причина этого может заключаться в повышенном содержании в базовом чугуне элементов, связывающих магний, таких как: кислород, сера или азот. Такое явление происходит время от времени, но поскольку спектральный анализ это не обнаруживает, на литейных заводах вынуждены всегда доводить содержание остаточного магния до больших величин, например, 0.055 %, для того, чтобы производить ВЧ со степенью сфероидизации графита 95 %. Цель системы управления производственным процессом PQ-DIT компании NovaCast состоит в том, чтобы помочь в решении этой проблемы и позволить литейным заводам всегда использовать минимальную навеску сфероидизирующего модификатора.

Отклонения по качеству базового чугуна

«Металлургический статус» базового чугуна может изменяться в значительной степени от плавки к плавке. Общий уровень содержания кислорода может изменяться в пределах 50–100 ppm, азота – 40–120 ppm, серы – 0.008 – 0.015 и т.д. Способность к формированию потенциальных центров кристаллизации графита базового чугуна, которую можно измерить при помощи термического анализа и которая оказывает влияние на степень шаровидности графита, так же может изменяться в широких пределах. На приведенном ниже рисунке показаны два случая, которые могут происходить на любом предприятии. «Случай 1» представляет собой ситуацию, при которой уровень остаточного содержания магния составляет всего 0.025% и при этом удается получать структуры ВЧ хорошего качества. В «случае 2» уровень содержания остаточного магния необходимо увеличить до 0.05 % для того, чтобы получить те же результаты.



Если на предприятии не производится оценка «металлургического статуса» чугуна, то приходится все время вводить такое количество магния, чтобы его остаточное содержание составляло 0.05%. **На самом деле металл каждой плавки индивидуален** и требуемый уровень содержания остаточного магния варьируется в указанных выше пределах. То есть каждое предприятие, на котором применяются традиционные методы производства ВЧ, использует завышенные навески магния.

Технология получения высококачественного ВЧ

PQ-DIT™ – это «Технология получения Высокопрочного Чугуна Высокого Качества» (Prime Quality Ductile Iron Technology). Это новая концепция, разработанная компанией NovaCast, для получения высококачественного ВЧ с использованием минимально возможной навески магния. Технология основана на усовершенствованном термическом и химическом анализах. Система подсчитывает общее содержание кислорода, в том числе и активность кислорода в расплаве, активный углеродный эквивалент, статус зародышеобразования и еще несколько важных металлургических параметров. Основываясь на этих данных и данных химического анализа, система PQ-DIT™ оценивает расплав и, если нужно, дает рекомендации по объему и типу специальных добавок для корректировки состава базового чугуна.

Когда состав базового чугуна соответствует необходимым требованиям, система PQ-DIT™ подсчитывает идеальный объем навески магния или другой добавки, используемой для обработки чугуна. Такой «рецепт» можно получать на каждый тип сплава и отливку. Концепция PQ-DIT™ так же включает в себя рекомендации по выбору оптимального состава базового чугуна, модификатора и по улучшению процессов плавки и обработки расплава.

Стартовая точка процесса производства любой отливки – получение хорошего базового чугуна. Для того чтобы произвести высококачественный ВЧ необходимо соблюсти такие основные требования к базовому чугуну как:



Активный углеродный эквивалент должен выбираться так, чтобы удовлетворять требованиям изготавливаемой отливки и литейной формы. Активный углеродный эквивалент (ACEL) и содержание кремния определяют сколько эвтектического углерода пойдет на снижение усадки при затвердевании отливки. Система PQ-DIT™ измеряет активный углеродный эквивалент.

Склонность к зародышеобразованию расплава должна находиться в приемлемых пределах. Ее можно измерить, контролируя такие параметры как: нижний предел температуры эвтектического превращения, количество выделившегося тепла за время эвтектического превращения (рекалесценция) и по специальным показателям выделившегося графита. Контролируя эти факторы системой PQ-DIT™, можно оптимизировать количество и ход процесса формирования включений графита и, тем самым, уменьшить объем или даже вообще отказаться от использования прибылей.

Общий уровень содержания кислорода должен находиться в определенных пределах. Следует отметить, что измерение активного кислорода показывает только малую часть кислорода в расплаве. Важный фактор – это общий уровень содержания кислорода, потому что количество оксидов уменьшается магнием. Система PQ-DIT™ подсчитывает как общий уровень содержания кислорода, так и активность кислорода.

Металлургические "отпечатки пальцев" расплава, то есть важные тепловые параметры, измеренные системой PQ-DIT™, должны находиться в контролируемых пределах. Это делается с использованием диаграммы параметров закристаллизовавшегося сплава и сравнением ее с определенными заранее ограничениями, позволяющими получать высококачественные отливки.

Химический состав чугуна необходимо также поддерживать в приемлемых пределах. Особенно важно чтобы содержание серы было определено с высокой точностью. Приемлемые уровни содержания серы для базового чугуна лежат в пределах 0.008 % – 0.018 %.

Тестирование и корректировка базового чугуна системой PQ-DIT™ 1

Когда базовый чугун расплавлен и достигнута температура выдержки расплава, отливаются образцы с использованием специальных, стандартных тиглей (Quik-Cups). Два тигля используются для каждого теста - один стандартный тигель с теллуром, а второй – без него.

Система PQ-DIT™ оценивает чугун, используя параметры, упомянутые выше, и предлагает необходимые варианты по улучшению состава базового чугуна перед обработкой магнием. Рекомендации так же включают в себя вопросы введения дополнительных легирующих добавок для корректировки содержания кислорода.

Когда базовый чугун доведен до кондиции, система PQ-DIT™ предлагает идеальные навески ФСМг, защитного материала (для кармана с модификатором в сэндвич процессе) и Se-содержащего мишметалла. Этот «рецепт» (рекомендации) можно использовать для нескольких ковшей без необходимости заливки нового образца.

Колебания содержания «активного» магния в расплаве, в основном, зависят от:

- Качества ФСМг – его состав и фракция
- Расчета реакционного кармана/камеры для модификатора
- Дизайна ковша, в котором проходит обработка
- Времени выдержки после ввода сфероидизатора
- Типа и количества защитного материала в кармане
- Температуры модифицирования
- Времени нахождения сфероидизирующей добавки в кармане перед началом обработки расплава
- Уровня общего содержания кислорода в базовом чугуна
- Уровня серы в базовом чугуна
- Уровня азота в базовом чугуна

Замечание: Следует помнить, что спектральный анализ показывает общее содержание магния в чугуна. Общее содержание магния включает в себя не только растворившийся магний, но так же и соединения магния (такие как: MgS, MgO, силикаты Mg и Mg₂N₃).

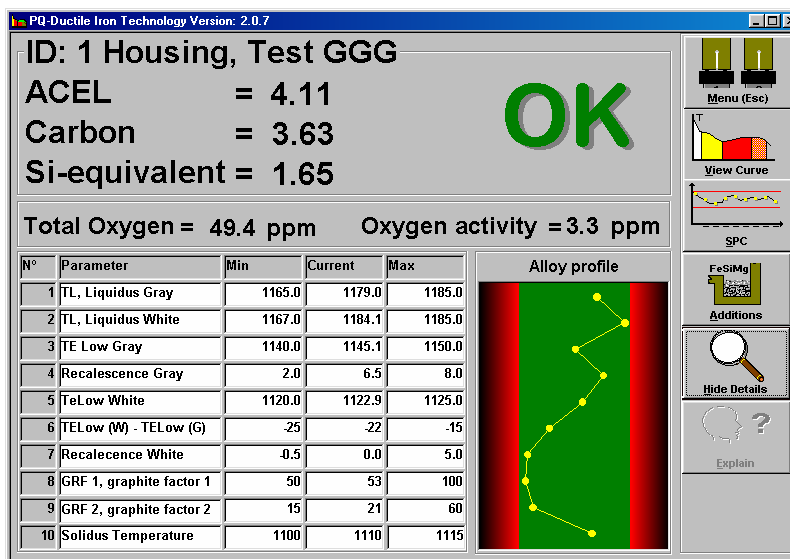


Рисунок показывает изображение экрана при анализе базового чугуна системой PQ-DIT™.

Усвоение магния можно вычислить по формуле:

$$\text{Итоговое усвоение магния \%} = \frac{\text{Общий Mg по анализу} * 100}{\text{Общий Mg из навески}}$$

Усвоение магния из модификатора часто варьируется в интервале от 50 до 65 % от ковша к ковшу из-за изменений одного или нескольких факторов, упомянутых выше, если не предпринимать специальных мер. Технология PQ-DIT™ включает в себя информацию о том, как снизить эти колебания.

Изменения в содержании кислорода и серы также создают большой разброс по усвоению магния. Базовый чугун с содержанием серы 0.01 % и содержанием кислорода 40 ppm может требовать навески ФСМг приблизительно на уровне 1.1 %. Если содержание серы и кислорода увеличивается до 0.015 % и 80 ppm, соответственно, тогда для достижения той же самой степени сфероидизации графита потребуется навеска порядка 1.35 %.

Если было изменение в других факторах, влияющих на усвоение магния, вызывая понижение усвоения на 15 %, тогда потребность в ФСМг увеличилась бы с 1.35 до 1.60 %.

Система управления производственным процессом PQ-DIT™ позволяет литейному заводу контролировать содержание кислорода, серы и склонность к зародышеобразованию и значительно сокращать навески ФСМг, как было продемонстрировано выше. Помимо этого данная система существенно влияет на увеличение выхода годного литья. Концепция PQ-DIT™ также включает в себя технические рекомендации по улучшению таких факторов, как: выход годного, выбор сфероидизирующего и графитизирующего модификаторов и т.д. Рисунок показывает экран с рекомендуемыми навесками для текущей плавки.

Проверка обработанного чугуна конечного состава системой PQ-DIT™ 2

N°	Parameter	Min	Current	Max
1	TL, Liquidus Gray	1160.0	1165.6	1180.0
2	TL, Liquidus White	1162.0	1172.0	1185.0
3	TE Low Gray	1140.0	1149.6	1155.0
4	Recalescence Gray	1.0	2.3	4.0
5	TELow White	1145.0	1154.1	1160.0
6	TELow (W) - TELow (G)	-25	4	10
7	Recalescence White	0.0	2.4	5.0
8	GRF 1, graphite factor 1	50	63	100
9	GRF 2, graphite factor 2	20	32	60
10	Solidus Temperature	1100	1108	1115

Обработанный чугун, может быть проверен путем заливки проб в тигли Quik-cup и последующим анализом кривых охлаждения при помощи системы PQ-DIT 2. Один из тиглей содержит теллур. Эффект содержания теллура заключается в том, что Te реагирует с растворенным в чугуне Mg, с формированием теллурида магния (MgTe). За счет этого чугун в таком тигле кристаллизуется подобно нормальному серому чугуну. Сравнивая термические данные двух кривых охлаждения возможно оценить процент растворившегося магния, а, следовательно, и степень сфероидизации графита (см. рисунок). Приемлемые пределы усвоения можно вводить в базу данных сплавов для

чугунов различного состава и/или определенных отливок. Систему PQ-DIT™ 2 необходимо калибровать для каждой установки из за особенностей производства на каждом заводе.

Данные полученные от системы PQ-DIT™ также пригодны для отладки процесса обработки расплава. При монтаже системы с целью нахождения оптимального уровня содержания растворившегося магния необходимо провести ряд плавки с постепенным уменьшением навесок.

Преимущества использования системы PQ-DIT™

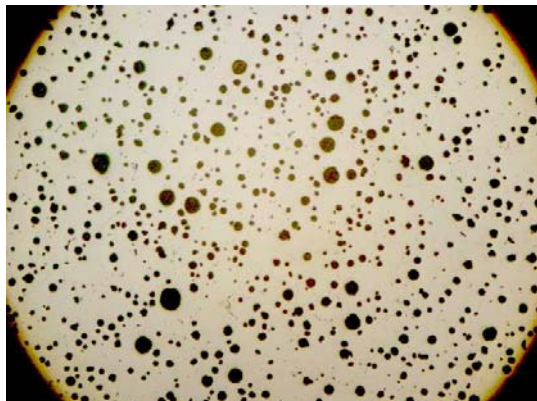
Система PQ-DIT™ обеспечивает репродуктивный путь процесса производства ВЧ при минимальной навеске сфероидизирующего модификатора. Основные преимущества использования системы:

- Меньшая склонность отливок к образованию усадочных дефектов
- Возможность увеличения выхода годного за счет снижения потребности применения прибылей
- Меньшая склонность к образованию шлаковых дефектов и дефектов неметаллических включений
- Лучшая механическая обрабатываемость литья
- Увеличивается стабильность процесса производства
- Снижается себестоимость конечного литья – во многих случаях срок окупаемости системы составляет менее 6 месяцев.

На фотографиях микроструктур, представленных ниже, показан пример того, как была улучшена степень шаровидности графита в чугунах, обработка которых проводилась с использованием системы PQ-DIT™, при снижении содержания остаточного магния на 38 %!

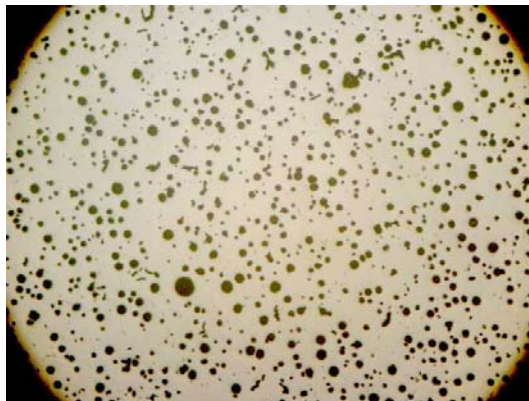
Традиционный способ обработки чугуна

Mg=0.042%



Обработка чугуна с использованием системы PQ-DIT и ФСМг производства компании Элкем

Mg=0.026%



Области применения

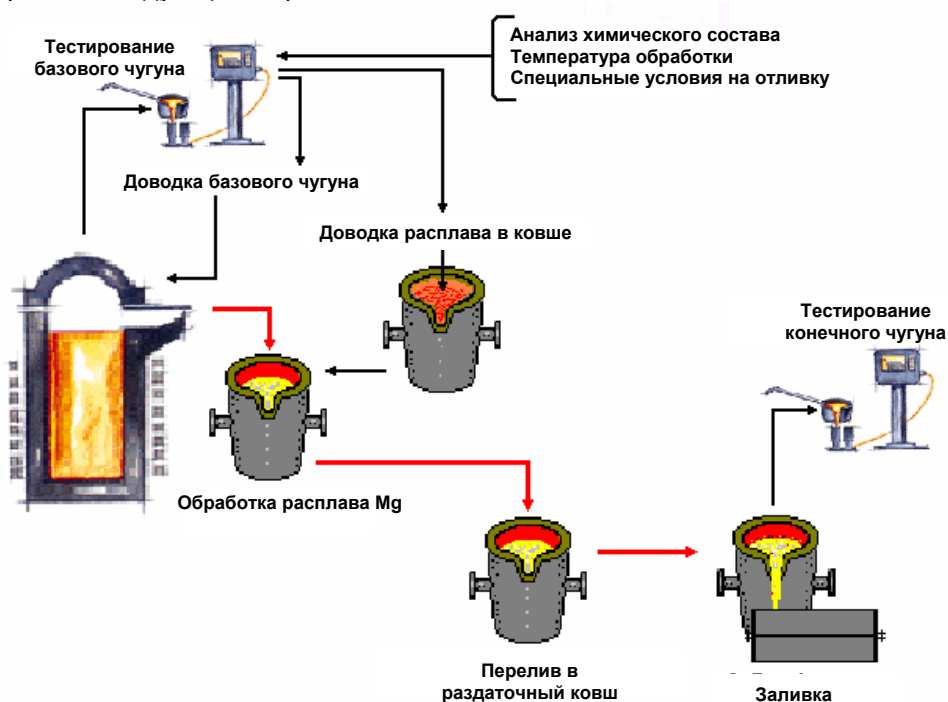
Система PQ-DIT™ состоит из двух частей.

PQ-DIT™ 1 – используется для контроля и регулирования состава базового чугуна и для выдачи рекомендаций по идеальной навески магния для проведения сфероидизирующей обработки расплава. Эта система устанавливается около блока плавильных печей или возле печей выдержки.

PQ-DIT™ 2 – система проверки обработанного чугуна. Система устанавливается непосредственно на участке заливки форм, так как она используется для того, чтобы протестировать и проверить конечный, обработанный чугун.

Технология получения высококачественного ВЧ (PQ-DIT™) поддерживается специалистами мирового класса в области литейных технологий и металлургии компаний NovaCast и Elkem.

Процесс изготовления и обработки отливок из ВЧ с применением системы PQ-DIT™ можно проиллюстрировать следующим образом:



Список использованной литературы:

1. T. Skaland. A model for the graphite formation in ductile cast iron. Avhandling 1992:33. Metallurgisk institutt, Trondheim
2. R. Elliot. Cast Iron Technology. ISBN 0.408-01512-8
3. H. Fredriksson, M. Hillert. The Physical Metallurgy of Cast Iron. ISSN 0272-9172