

## Внутриформенное модифицирование на ВЧ.

Oddvar Knustad, Senior Metallurgist, MSc. "Elkem ASA. Foundry Products Division", P.O. Box 8040, Vaagsbygd, NO-4675 Kristiansand, S. Norway, Tel. + 47 38 01 76 79, Fax. + 47 38 01 74 94

В настоящее время порядка 10 % (или более 1,5 млн. тонн в год) высокопрочного чугуна в мире производится методом внутриформенного модифицирования. Идея этой технологии заключается в заливке необработанного базового чугуна в форму и реализации сфероидизирующей обработки (модифицирования) внутри литейной формы одностадийным процессом. Реакционная камера, объединенная с литниковой системой внутри формы, заправляется модификатором ФСМг и модифицирование расплава происходит непрерывно, пока металл протекает через реакционную камеру перед попаданием в полость, сформированную в форме моделью.

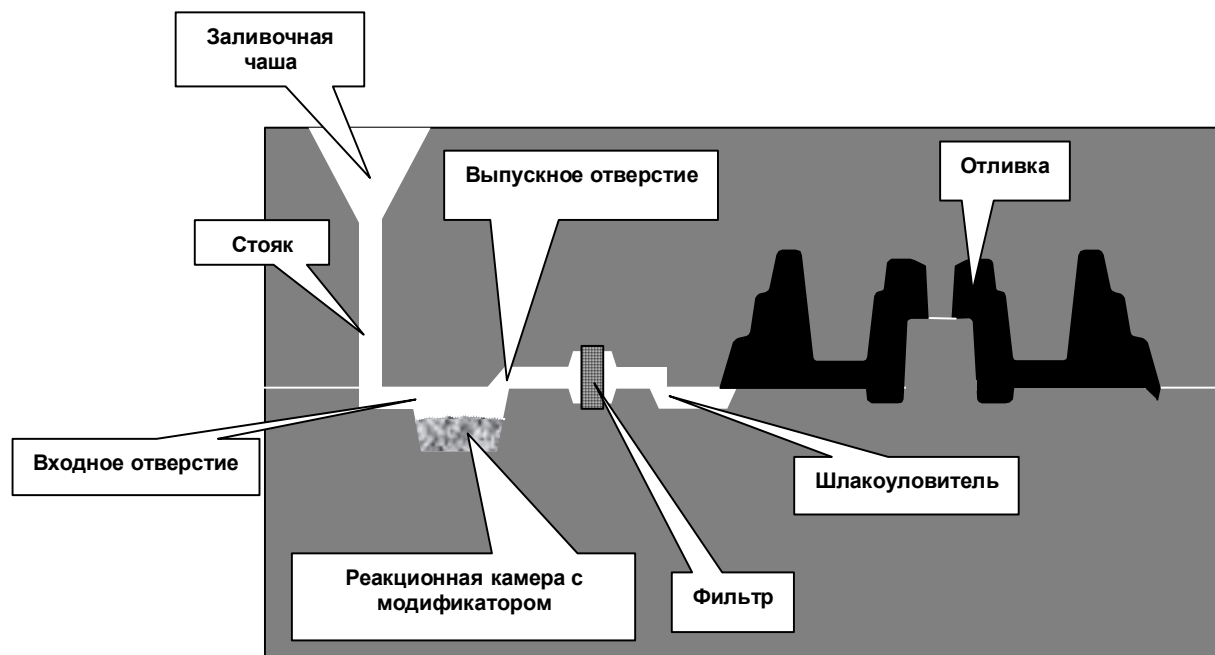


Рисунок 1. Принцип внутриформенного модифицирования.

Существует ряд преимуществ и недостатков данной технологии, а именно:

### Преимущества процесса:

- Уменьшает количество производственных операций.
- Отсутствие выдержки обработанного чугуна. Уменьшает проблемы, связанные со шлаком, что присуще миксерам и печам выдержки.
- Отсутствует эффект «старения» модифицирующего эффекта.
- Высокое усвоение Mg и меньшая навеска модификатора.
- Не требуется вторичного модифицирования.
- Низкие капитальные затраты.
- Низкие колебания себестоимости литья.
- Поздняя обработка расплава препятствует переохлаждению и формированию карбидов.
- Отличная интеграция с процессом автоматической заливки.
- Быстрое восстановление производственного процесса после простоев производства.
- Минимальное воздействие на окружающую среду.
- Отсутствие шлака, требующего утилизации, при обработке расплава.

### Недостатки процесса:

- Уменьшает свободное место на модельной плите.
- Снижает выход годного.
- Увеличивает вероятность образования шлака в форме.
- Требуется определения скорости заливки.
- Требуется низкого содержания серы в базовом чугуне, макс. 0,015 %.
- Возможно варьирование содержания Mg в разных частях отливки.
- Возможно потребуются 100 % контроль качества.

В качестве примера уменьшения количества производственных операций сравним процесс внутриформенного модифицирования с другим широко известным способом получения ВЧ – «сэндвич» процессом:

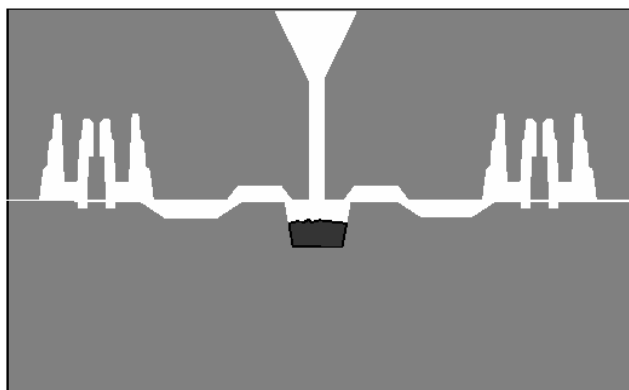
#### «Сэндвич» процесс:

- Плавка
- (Десульфурация)
- Обработка базового чугуна Mg
- Скачивание шлака
- Вторичное графитизирующее модифицирование
- Контроль времени
- Контроль температуры
- Отбор пробы металла
- Заливка
- Контроль качества

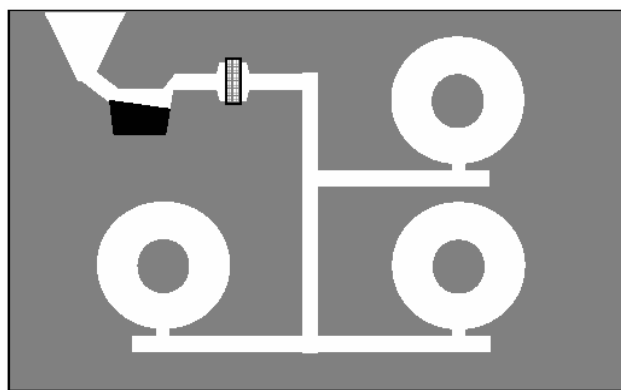
#### Ин-моулд процесс:

- Плавка
- (Десульфурация)
- Контроль температуры
- Заливка
- Контроль качества

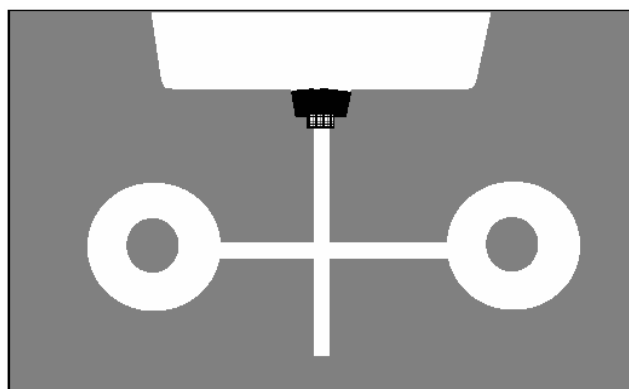
На Рисунке 2 приведены примеры использования процесса для форм различного типа разъемов.



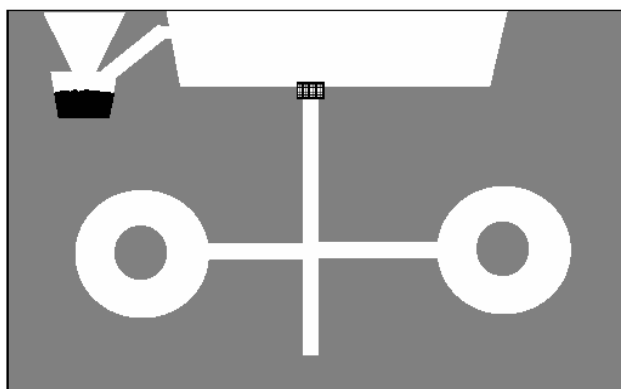
Форма с горизонтальным разъемом, одна реакционная камера на несколько отливок.



Форма с вертикальным разъемом.



Форма с вертикальным разъемом, «модифицирование на форме».



Форма с вертикальным разъемом, «Kokut»- процесс.

**Рисунок 2. Примеры использования ин-моулд процесса**

Для эффективного использования процесса внутриформенного модифицирования необходимо следовать нескольким простым правилам:

## 1.) Конструкция литниковой системы:

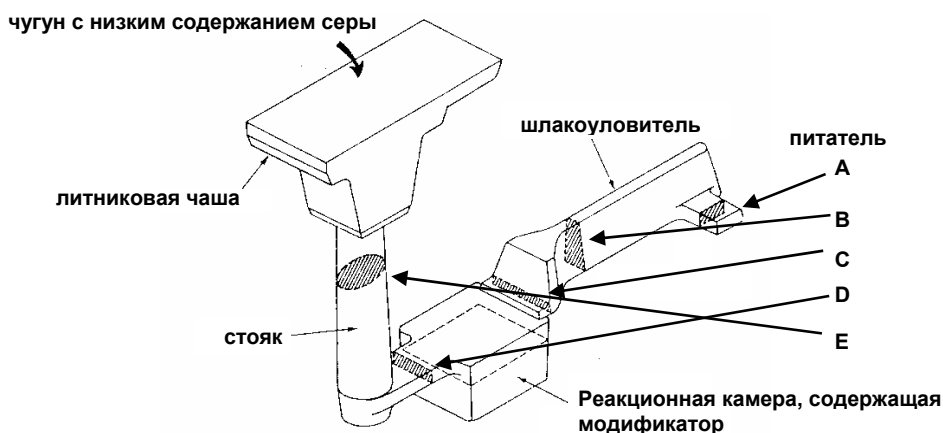


Рисунок 3. Пример типовой литниковой системы для внутриформенного модифицирования. Общие правила:  $A = \text{площадь питателя}$ ,  $B = A + 10 \%$ ,  $C = A + 12 \%$ ,  $D = E = A + 30 \%$ .

## 2.) Расчет реакционной камеры:

Формула для расчета размеров реакционной камеры, предложенная Дюнком (изобретателем процесса внутриформенного модифицирования):

$$\text{Площадь реакционной камеры (A)} = \frac{Mg_t \cdot W}{k \cdot t}$$

Где,  $A$  = Площадь реакционной камеры;  
 $Mg_t$  = Требуемое количество остаточного магния;  
 $W$  = Масса заливаемого в форму расплава;  
 $k$  = Коэффициент эффективности модификатора;  
 $t$  = Время заливки.

Коэффициент эффективности модификатора ( $k$ ) предложен Дюнком:

- 6 % ФСМг:  $k = 0.032 \text{ ф/дюйм}^2 \cdot \text{сек} = 0.002225 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{сек}$
- 9 % ФСМг:  $k = 0.048 \text{ ф/дюйм}^2 \cdot \text{сек} = 0.003338 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{сек}$

Соотношение  $\frac{W}{t}$  является не чем иным, как скоростью заливки расплава, а соотношение  $\frac{k}{Mg_t}$

получило название **фактор растворимости модификатора** (Alloy Solution Factor – ASF). Следовательно, формулу расчета размеров реакционной камеры можно представить в виде:

$$\text{Площадь реакционной камеры (A)} = \frac{\text{Скорость заливки}}{\text{Фактор растворимости модификатора (ASF)}}$$

### Общие правила устройства реакционной камеры:

- Входное отверстие должно находиться в нижней полуформе.
- Выходное отверстие должно находиться в верхней полуформе.
- Глубина камеры = Высота, необходимая для модифицирования, + 25 мм.

### Факторы, влияющие на фактор растворимости модификатора (ASF):

- Содержание Mg в ФСМг.
- Содержание РЗМ в ФСМг.
- Температура заливки.
- Содержание серы в базовом чугуне.
- Тип потока расплава в реакционной камере (ламинарный или турбулентный).

Типичное значение ASF обычно составляет от  $0.045 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{сек}$  до  $0.060 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{сек}$ , но, в некоторых случаях, значение ASF достигает  $0.070 \text{ кг/см}^2 \cdot \text{сек}$ . Количество вводимого модификатора при модифицировании в форме, как правило, колеблется от 0.8 % до 1.2 %.

**Таблица 1: Таблица площадей камер при различных значениях ASF и скоростях заливки форм:**

ASF [фунт/дюйм <sup>2</sup> сек]	ASF [кг/см <sup>2</sup> сек]	Площадь реакционной камеры [см <sup>2</sup> ]	Скорость заливки, W / t [кг/сек]									
			2	4	6	8	10	12	14	16	18	20
1	0.070		28	57	85	114	142	171	199	228	256	284
0.95	0.067		30	60	90	120	150	180	210	240	269	299
0.9	0.063		32	63	95	126	158	190	221	253	284	316
0.85	0.060		33	67	100	134	167	201	234	268	301	335
0.8	0.056		36	71	107	142	178	213	249	284	320	356
0.75	0.053		38	76	114	152	190	228	266	303	341	379
0.7	0.049		41	81	122	163	203	244	284	325	366	406
0.65	0.046		44	88	131	175	219	263	306	350	394	438
0.6	0.042		47	95	142	190	237	284	332	379	427	474
0.55	0.039		52	103	155	207	259	310	362	414	465	517
0.5	0.035		57	114	171	228	284	341	398	455	512	569
0.45	0.032		63	126	190	253	316	379	443	506	569	632

**3.) Модификаторы, используемые для процесса внутриформенного модифицирования:**

При получении отливок методом внутриформенного модифицирования необходимо использовать целевые марки модификаторов, так как традиционные модификаторы на основе ФСМг могут иметь ряд недостатков. Основные проблемы, связанные с использованием стандартных марок ФСМг:

- рост формирования усадочной пористости и
- увеличение склонности к образованию дефектов по вине неметаллических включений.

Рекомендуемые составы модификаторов для получения высокопрочного чугуна методом внутриформенного модифицирования представлены в виде двух конкретных примеров:

**Модификатор 1**

Si	44 – 48 %
Mg	5.0 – 6.0 %
<b>La</b>	<b>0.25 – 0.4 %</b>
Ca	0.4 – 0.6 %
Al	0.8 – 1.2 %

**Модификатор 2**

Si	43 – 47 %
Mg	5.75 – 6.5 %
<b>PЗМ</b>	<b>0.35 – 0.7 %</b>
Ca	0.35 – 0.6 %
Al	0.4 – 0.75 %

Применение La содержащих модификаторов с малым количеством шлакообразующих элементов является в настоящее время наиболее эффективным путём для получения качественного литья из высокопрочного чугуна с одновременным существенным снижением себестоимости его производства за счёт практически полного устранения металлургического брака. Имея в своём составе чистый лантан (La) вместо традиционных PЗМ, такой модификатор способствует уменьшению тенденции к объемной усадке по сравнению с традиционными модификаторами. Рекомендуемый рассев модификатора 1 – 4 мм.

За дополнительной информацией по вопросам организации процесса внутриформенного модифицирования рекомендуем обращаться в Московское представительство компании “Elkem ASA”.