



Две отливки, полученные с использованием узлов Turboprint и Kalmineх. Выход металла увеличился (фото Foseco)

Авторы: Давид Храбина, Foseco Prerov; Петр Филипп, UNEX Dlouha Loucka; Вильям Яносик, Foseco Pittsburgh

Вращающаяся система фильтрации Turboprint

Фильтрация расплавленной стали позволяет удалять неметаллические включения и снизить турбулентность потока металла во время заполнения формы. Пеночероамические фильтры особенно эффективны в случае большого потока динамической энергии для превращения турбулентного потока заполнения формы в ламинарный за счет действия сил трения. В результате уменьшается эрозия формы, улучшается качество поверхности отливки и сводится к минимуму последующее повторное окисление металла. Кроме того, удаление неметаллических включений повышает степень чистоты и механические свойства литого металла

Существующие ограничения фильтрации

Фильтрация железосодержащих расплавов первоначально была разработана в 1980-е годы для чугунолития. При фильтрации стальных отливок представляют также интерес улучшение механических свойств и уменьшение поверхностных дефектов. Однако технология фильтрации стали сложнее, чем чу-

гуна. Одним из наиболее сложных сплавов для фильтрации является низколегированная сталь с высокой температурой заливки, высоким коэффициентом поверхностного натяжения, узким температурным интервалом кристаллизации и большим количеством неметаллических включений, обусловленных процессами раскисления и формирования оксидной пленки.

Для преодоления специфических проблем, связанных с фильтрацией жидкой стали, были разработаны определенные технологические решения. Эти проблемы необходимо учитывать как при производстве мелкого, так и крупного стального лития. Для небольших стальных отливок характерна закупорка фильтра в начале заливки с использованием нижнего раз-

ливочного ковша. В начале процесса при открывании стопорного механизма возникает большой трудноконтролируемый поток расплава. В этом случае металл заполняет литниковую систему очень быстро в течение одной десятой секунды, но при использовании фильтра процесс заполнения займет пару секунд (т. е. металл пропускается через фильтры). В этом случае оператор ковша может попытаться компенсировать величину потока, полностью закрывая стопорный механизм или уменьшая расход металла. Подобная комбинация действий может привести к застыванию металла на поверхности фильтра до того, как установится нормальный поток, вызывая тем самым блокировку фильтра (рис. 1, 2). Этот эффект становится еще более выраженным с уменьшением диаметра стакана; по сравнению с крупногабаритным маленький стакан поглощает больше тепловой энергии от разливаемого металла. Это находит свое отражение в «модуле» стакана $M = \text{площадь поперечного сечения}/\text{периметр}$. То же самое в равной степени относится и к размеру фильтра — чем меньше площадь фильтра, тем больше риск первоначальной закупорки.

Это можно было наблюдать при массовом производстве, когда блокировка фильтра появлялась при заливке первых трех-четырех форм, что связано с прогревом стакана в начале заливки металла. Данная проблема возникает и в литниковой системе, когда металл охлаждается в ковше в течение продолжительной заливочной кампании. Фильтрацию мелкого литья легче организовать и контролировать, используя разливку через носик или сифонные ковши.

Разработка и производственные испытания системы Turboprint

Около 90 % проблем, связанных с фильтрами, приходится на описанные выше случаи. Очевидно,



Рисунок 1. Закупоренный вертикальный фильтр 50x50x20/10 ppi



Рисунок 2. Закупоренный горизонтальный фильтр 50x50x20/10 ppi

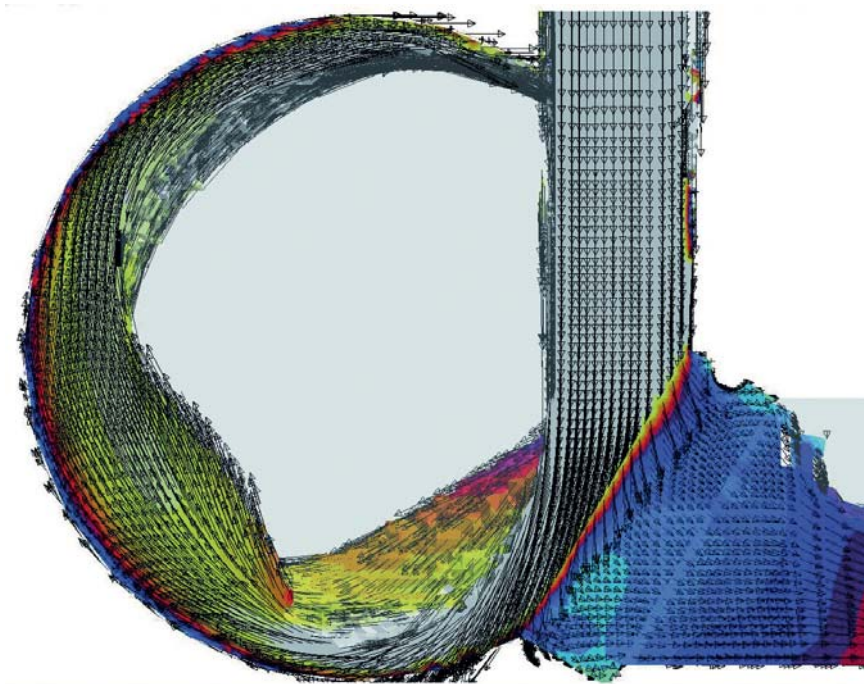


Рисунок 3. Центробежная фильтрация Turboprint: промывка фильтра (моделирование процесса заполнения Magma)



Рисунок 4. Система Turboprint 50×50×20 для железнодорожной отливки массой 68 кг (материал GS45)



Рисунок 5. Модель фильтра с установочным диаметром 175 мм

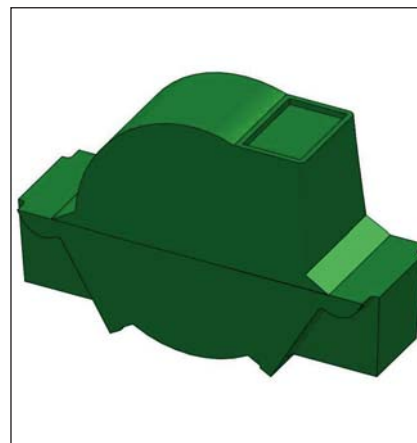


Рисунок 6. Система Turboprint с двумя фильтрами 75×75 для мелких отливок

	Площадь фильтрации, см ²	Продолжительность заливки, с				Расход, кг/с/см
		Отливка 1	Отливка 2	Отливка 3	Отливка Ø	
Прямое литье	240,5	41	39	Закупорка фильтра	40	0,052
Turboprint	112,5	29	31	28	29	0,153

Таблица 1. Прямое литье и система Turboprint

что проблема застывания металла на поверхности фильтра более важная, чем закупорка его различными включениями. При заливке расплава исключение попадания первой порции окисленного и холодного металла на фильтр и нагрев его поверхности горячим потоком рассматривалась как контрмера. Узел центробежной фильтрации обеспечивает выполнение подобных условий (рис. 3). Эта концепция получила название Turboprint.

Для сравнения эффективности системы Turboprint с традиционными фильтрами были проведены экспериментальные разливы. Первоначальные результаты превзошли все ожидания: время заливки сократилось с 18–28 до 9–11 с, а заполнение фильтра казалось мгновенным. Вызванная холодными стаканами блокировка фильтров в начале заливки не наблюдалась даже при снижении температуры расплава до 1570–1600 °С, т. е. до температуры заливки данного типа от-

ливок без фильтров (рис. 4). Кроме этого, было установлено, что производительность фильтрования также увеличивается благодаря воздействию центробежных сил на включения и очистке металлом поверхности фильтра.

Результатом успешных испытаний стала двоякая система Turboprint 75×75×25 для отливки детали для трамвая. Эта деталь заливалась, как правило, с использованием установки прямого литья. При этом часто происходила преждевременная закупорка фильтра содержащимися в потоке металла включениями.

Масса отливки с литниковой системой составляла 500 кг, материал — низколегированная сталь. Три отливки были получены через фильтры типа Stelex PrO диаметром 175 мм и площадью 240,5 см², расположенные непосредственно под заливочной чашей (рис. 5). Другие три отливки были отлиты с использованием вертикального фильтрующего узла Turboprint

(рис. 6), включающего два фильтра Stelex PrO 75×75 мм с общей площадью 112,5 см². Высота столба металла над фильтрами была одинаковой и составляла 300 мм. Отливки производились в непосредственной близости друг от друга, из одного и того же ковша, чтобы обеспечить равные условия заливки всех форм. Результаты эксперимента приведены в табл. 1.

Табличные данные свидетельствуют о значительном положительном влиянии центробежного эффекта на производительность фильтрации и скорость проходящего через фильтр потока металла. Скорость заливки в расчете на единицу площади фильтра увеличилась в три раза по сравнению с прямым литьем (рис. 7, 8). Производительность системы Turboprint составила 4,44 кг/см² (при прямом литье 2,08 кг/см²). Кроме того, центробежная фильтрация повысила эффективность самого процесса фильтрования, снижая количество дефектов литья.

Рассмотрение конкретного случая: поворотный шкворень

Первоначально данная отливка производилась с песчаной прибылью (рис. 9). Недостатки процесса — наличие кластеров включений и низкий выход расплава металла. Применение системы Turboprint с двумя фильтрами 75×75×25 позволила разместить две отливки в одной форме (рис. 10). Материал отливок — сталь GS24Mn6, температура литья — 1570 °С. Производство отливок производилось в одно и то же время в течение 35 с. Масса каждой отливки составила 245 кг, а общая масса отливки с литниковой системой — 680 кг, что существенно меньше, чем с первоначальной массой 570 кг для отдельной отливки. Производительность фильтрации немного превышает 6 кг/см², что, по всей видимости, находится вблизи максимума для примене-

ния системы Turboprint. Система Turboprint обеспечивает высокую скорость заливки, а также существенное повышение качества поверхности и степени чистоты отливки. Литниковая система, которая подробно изучена с помощью Asrex-анализа, описана ниже.

Использование фильтрации улучшает механические свойства отливок. Твердые неметаллические включения могут влиять на формирование структуры металла и повышать хрупкость отливки, особенно в случае, когда имеются динамические нагрузки, например отливки, используемые на железнодорожном транспорте, горно-рудной промышленности и строительстве. Фильтрация с использованием пеноматериала позволяет эффективно удалять эти включения. Влияние фильтрации на механические свойства литья еще более существенно при пониженных

температурах. В табл. 2 приведены данные ударной вязкости образцов, полученных во время экспериментальной отливки с фильтрацией и без нее. Фильтрация оказывает положительное влияние на пластичность и относительное удлинение. При сотрудничестве с Техническим университетом VSB (Острава, Чешская Республика) проведены исследования горячего трещинообразования образцов из стали марки GS20Mn5, полученных с использованием центробежного фильтрования и без него.

Несколько опытных образцов диаметром 6 мм нагревались под действием растягивающего напряжения внутри специальной углеродной капсулы, содержащей защитную восстановительную атмосферу. Исследовали пластическую деформацию при температуре 1400 °С (вблизи температуры солидуса сплава). Результаты, по-



Решения для моделирования процессов литья

ProCAST/QuikCAST

Технологии повышения производительности и прибыли.



Моделирование литья



Литье в песчаные формы



Расчет пористости



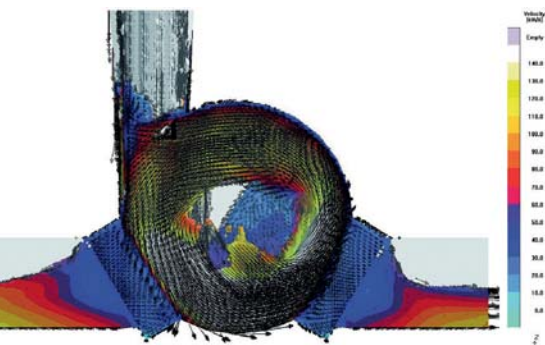


Рисунок 7. Моделирование процесса заливки Магма, промывка поверхности фильтров и удаление включений



Рисунок 8. Поверхность выпускного желоба после фильтрации Turboprint

лученные для образцов из фильтрованного и нефильтованного металла, приведены в табл. 3. Температура солидуса материала — 1415 °С. Образцы из отфильтрованного металла были способны к пластической деформации уже при температуре на 15 °С ниже точки солидуса. Для достижения подобной пластической деформации образцы из нефильтованного металла должны иметь температуру 1360 °С, что на 65 °С ниже температуры солидуса. Металлографический анализ показывает большое различие между отливками из отфильтрованного и нефильтованного металла.

Анализ Aspex: повышенная чистота металла

Анализатор качества металла Aspex — используемый в промышлен-

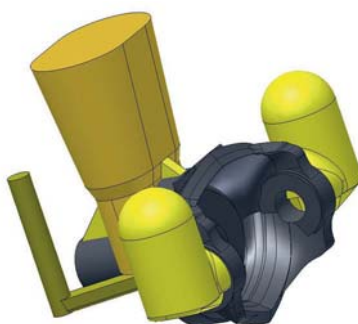


Рисунок 9. Первоначальная отливка с песочной прибылью: выход металла 43–72 %

ности прибор для квалификационной оценки чистоты металла. Прибор, состоящий из устройства фокусировки электронного луча, детектора обратнорассеянных электронов, EDS-детектора, позволяет идентифицировать включения на основе их различия в контрасте с

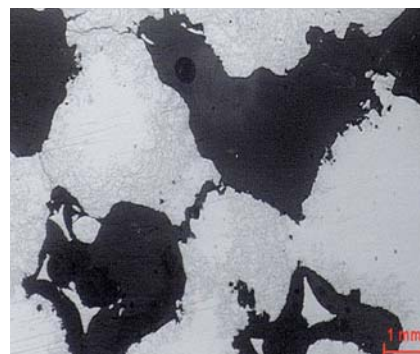


Рисунок 10. Глубинная фильтрация неметаллических включений (поворотный шкворень)

металлом, проводить анализ каждого включения методом дисперсионной рентгеновской спектрометрии и определять его химический состав. Это дает возможность быстро формировать базу данных включений в образце. Программное обеспечение производит классифика-

№ образца	Материал GS-45				Материал GS-45 – 18CrMo4			
	20 °С		–65 °С		20 °С		–40 °С	
	Φ*	НΦ**	Φ	НΦ	Φ	НΦ	Φ	НΦ
1	83	48	10	5	105	100	51	44
2	79	68	7	9	102	111	32	37
3	76	56	12	7	116	93	49	33
					118	103	40	38
Средняя	79	57	10	7	110	101	43	38
%	139	100	143	100	108	100	113	100

* Φ — с фильтрами.
** НΦ — без фильтров.

Таблица 2. Изменение ударной вязкости образцов после центробежной фильтрации, Дж

	Образец из нефильрованного металла	Образец из фильтрованного металла
Максимальная нагрузка, Н	95	217
Работа разрушения, Дж	0,03	1,42
Уплотнение, %	0,00	96,4

Таблица 3. Характеристика зависимости «усилие — деформация»

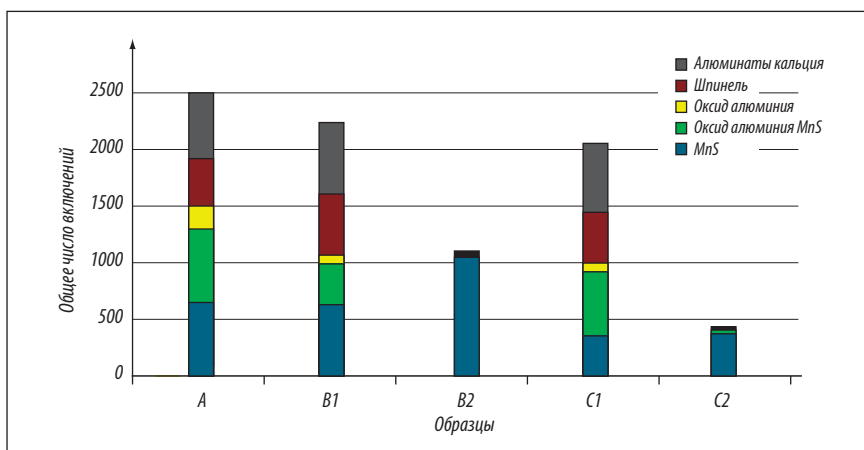


Рисунок 11. Общее количество включений по химическому составу для пяти металлических образцов, полученных с использованием системы Turboprint

цию включений по размеру и/или химическому составу с выдачей подробных сообщений по качеству металла. Анализатор Aspex представляет собой эффективный инструмент оценки чистоты стали как для первичных производителей металла, так и для литейных производств [2, 3]. Для анализа образцов металла, полученных из поворотного шкворня с использованием системы Turboprint, применялся PSEM-анализатор Aspex. В общей сложности было отобрано пять образцов: один из срединной части круговой области (A), по одному из передней части с каждого торца фильтра (B1 и C1) и по одному из питателя позади каждого фильтра (B2 и C2). Результаты исследования приведены в табл. 4. Большинство включений содержат MnS, который растворился в расплаве стали во время заливки и выделился после кристаллизации, и поэтому не мог быть отфильтрован. В табл. 4 вклю-

Реклама

TargiKielce
EXHIBITION & CONGRESS CENTRE

**ВЕДУЩАЯ ВЫСТАВКА
ДЛЯ ЛИТЕЙНОЙ ИНДУСТРИИ**

METAL
19-я Международная выставка технологий литейного дела

ALUMINIUM & NONFERMET
12-я Международная выставка алюминия и технологии его изготовления, материалов и продукции из цветных металлов

25-27.09.2013
Кельце, Польша

www.metal.targikielce.pl
www.nonfermet.targikielce.pl

Реклама

KELLER MSR
INFRARED TEMPERATURE SOLUTIONS

Переносные и стационарные неизнашиваемые пирометры CellaCast для бесконтактного измерения температуры жидких металлов



-40 – 3500 °C

www.keller-msr.de · info@keller-msr.de

	А (середина)	В1 (нефиль- трованный металл)	В2 (фильтро- ванный металл)	С1 (нефиль- трованный металл)	С2 (фильтро- ванный металл)
Расстояние между включениями, %	0,199	0,224	0,006	0,410	0,012
Общее число включений	1224	1255	35	1138	37
Размер включений, мкм:					
0,5–2,5	302	422	10	195	4
2,5–5	639	462	10	465	18
5–15	279	370	15	449	15
>15	4	0	0	28	0
Состав включений:					
Са6	598	612	5	566	6
Обогащенная алюминием шпинель	382	508	5	435	3
Оксид алюминия	182	78	25	73	24
Шпинель	189	78	25	73	24
Число групп включений	17	11	0	61	0

Таблица 4. Результаты, полученные с помощью анализатора Asprex: превосходная эффективность фильтрации

чения MnS не указаны, но для полноты картины на **рис. 11** приведен полный химический состав идентифицированных включений. Результаты анализа Asprex показывают, что система Turboprint чрезвычайно эффективна для очистки стали. Она позволяет уменьшить общее число включений, включений по каждому размеру и химическому составу, а также их кластеров. Диаграммы химического состава включений до и после фильтрации свидетельствуют, что пенокерамический фильтр является эффективным инструментом для удаления включений любых химических составов, за исключением MnS, что, впрочем, и ожидалось.

Заключение

Принцип центробежной фильтрации предоставляет современному литейному производству новые возможности для эффективного производства высококачественных отливок из углеродистой и низколегированной стали. Цен-

тробежный эффект улучшает производительность фильтрации, повышает надежность и одновременно эффективность производства. Кроме того, данная технология экономична по сравнению со стандартным процессом, поскольку используется меньшая по площади фильтрующая поверхность.

Улучшения механических характеристик и качества поверхности, достигаемое за счет применения фильтрации с использованием пеноматериала, повышает конкурентоспособность отливок на мировом рынке. Стальные отливки, которые теперь можно производить более конкурентоспособным способом, представляют реальную альтернативу другим материалам и производственным маршрутам, например изделиям, полученным ковкой и сваркой.

Общую производительность каждого фильтрующего узла необходимо тщательно подбирать к фактическим условиям конкретного литейного производства. Су-

ществует множество факторов, влияющих на фильтрующую способность, поэтому она должна адаптироваться к типу сплава, разливаемому на конкретном предприятии.

Библиографический список

- [1] Kozelsky P.: Filtration effect to plastic strength performance of carbon steel close to solids temperature, VSB-TU Ost-rava.
- [2] Pretorius, E.; Oltmann, H. and Cash T.: The Effective Modification of Spinel Inclusions by Ca-Treatment in LCAK Steel. Iron & Steel Technology 7(7), 2010, pp. 31–44.
- [3] Singh, V.; Peaslee, K. and Lekakh, S.: Use of Automated Analysis to Evaluate the Effects of Ladle Treatment on Steel Cleanliness. 63rd Technical and Operating Conference, SFSA, Chicago, IL, 2009.