

МАТЕРИАЛЫ

1																	2
H																	He
Wasserstoff																	Helium
3	4															10	
Li	Be															Ne	
Lithium	Berilium															Neon	
11	12															18	
Na	Mg															Ar	
Natrium	Magnesium															Argon	
19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36
K	Ca	Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr
Kalium	Calcium	Scandium	Titan	Vanadium	Chrom	Mangan	Eisen	Kobalt	Nickel	Kupfer	Zink	Gallium	Germanium	Arsen	Selen	Brom	Krypton
37	38	39	40	41	42	43	44	45	46	47	48	49	50	51	52	53	54
Rb	Sr	Y	Zr	Nb	Mo	Tc	Ru	Rh	Pd	Ag	Cd	In	Sn	Sb	Te	I	Xe
Rubidium	Strontium	Yttrium	Zirkonium	Niob	Molybdän	Technetium	Ruthenium	Rhodium	Palladium	Silber	Cadmium	Indium	Zinn	Antimon	Tellur	Jod	Xenon
55	56	57 bis 71	72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86
Cs	Ba															Rn	
Cäsium	Barium															Radon	
87	88	89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104
Fr	Ra	La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lr	Uub
Francium	Radium	Lanthanreihe	Lanthan	Cerium	Praseodym	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Ho	Er	Tm	Ytterbium	Lutetium	Uun
105	106	107	108	109	110	111	112	113	114	115	116	117	118	119	120	121	122
Hf	Ta	W	Re	Os	Ir	Pt	Au	Hg	Tl	Pb	Bi	Po	At	Rn	Uu	Uu	Uu
Hafnium	Tantal	Wolfram	Rhenium	Osmium	Iridium	Platin	Gold	Quecksilber	Thallium	Blei	Bismut	Polonium	Astatin	Radon	Uue	Uu	Uu
72	73	74	75	76	77	78	79	80	81	82	83	84	85	86	87	88	89
Sc	Ti	V	Cr	Mn	Fe	Co	Ni	Cu	Zn	Ga	Ge	As	Se	Br	Kr	Seaborgium	Bohrium
Scandium	Titan	Vanadium	Chrom	Mangan	Eisen	Kobalt	Nickel	Kupfer	Zink	Gallium	Germanium	Arsen	Selen	Brom	Krypton	Seaborgium	Bohrium
21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34	35	36	37	38
La	Ce	Pr	Nd	Pm	Sm	Eu	Gd	Tb	Dy	Ho	Er	Tm	Yb	Lr	Uub	Uu	Uu
Lanthanreihe	Lanthan	Cerium	Praseodym	Promethium	Samarium	Europium	Gadolinium	Terbium	Dysprosium	Ho	Er	Tm	Ytterbium	Lutetium	Uun	Uu	Uu
89	90	91	92	93	94	95	96	97	98	99	100	101	102	103	104	105	106
Ac	Th	Pa	U	Np	Pu	Am	Cm	Bk	Cf	Uu	Uu	Uu	Uu	Uu	Uu	Uu	Uu
Actiniumreihe	Actinium	Thorium	Protactinium	Uranium	Neptunium	Plutonium	Americium	Curium	Berkelium	Californium	Uue	Uu	Uu	Uu	Uu	Uu	Uu

Уплотненный серый чугун обладает максимальной прочностью среди материалов, используемых для массового производства картеров блоков цилиндров. Однако для лучшей механической обрабатываемости эффективнее производить гильзы цилиндров из серого чугуна

Автор: Дипл. инж. Дирк Радебах, Halberg Guss Management GmbH, Саарбрюккен, Германия

Активно действующие добавки для формовочной смеси с целью получения высококачественных материалов

Проект с высоким инновационным потенциалом предусматривает получение микроструктуры уплотненного серого чугуна в комбинации с поверхностным слоем из серого чугуна в отверстиях блока цилиндров картера

Одна из возможностей уменьшения массы двигателя автомобиля — выбор подходящего материала. Двигатели, изготавливаемые из высокопрочного уплотненного серого чугуна (УСЧ), могут функционировать при значительно более высоких стрессовых нагрузках по сравнению с двигателями аналогичных размеров из других марок литейного чугуна или алю-

миниевых сплавов. Причина подобного уменьшения массы — значительно более высокая прочность УСЧ относительно серого литейного чугуна (СЧ) и алюминиевых сплавов. Фирма Halberg Guss Management GmbH стремится разрабатывать для своих заказчиков изделия, обладающие не только меньшей массой, но и лучшей обрабатываемостью резани-

ем. Это создало условия для появления проекта с высоким инновационным потенциалом: реализация микроструктуры УСЧ в комбинации с поверхностным слоем из СЧ в отверстиях блока цилиндров картера.

ОСНОВЫ

Ограниченное локальное изменение свойств или оказывающих

влияние переменных обычно называют градиентом. Предусматриваемый градиентный материал сочетает преимущества СЧ (хорошие обрабатываемость резанием и трибологические свойства) и УСЧ (чрезвычайно высокая прочность) [1]. Необходимо учитывать также дополнительные эксплуатационные издержки на инновационную производственную технологию при крупносерийном производстве отливок.

Автомобилестроение постоянно призывает поставщиков к снижению массы своей продукции. В этом отношении инновационный вклад со стороны разработчиков двигателей получил название «downsizing» (уменьшение размера). Это означает постоянное снижение массы изделий при непрерывном повышении удельных эксплуатационных характеристик, которое практически неразрывно связано с ростом пикового давления. Все это приводит к увеличению механических напряжений на подшипники и другие детали конструкции (отверстия под шатуны, элементы корпуса).

Так как в будущем, по всей видимости, нагрузки и напряжения будут только возрастать, потребуются материалы с максимально возможной прочностью. Из всех производимых в массовом масштабе материалов для цилиндров двигателя наибольшую прочность имеет УСЧ. По сравнению с СЧ и алюминиевыми сплавами УСЧ обладает наибольшими значениями прочности на растяжение, усталостной прочности и модуля Юнга.

В качестве примера практической реализации преимуществ УСЧ можно привести двигатели V6 TDI, V8 TDI и V12 TDI в автомобилях Audi.

Интерес к УСЧ возрастает во всем мире. Это, в частности, подтверждается принятием стандарта ISO 16112, (международный стандарт в отношении УСЧ). В соответствии с этим стандартом, в результате соответствующего режима охлаждения УСЧ 450 дол-

жен иметь следующие механические характеристики:

- минимальная прочность на растяжение: $R_{m\ min} = 450\ \text{МПа}$;
- минимальный условный (0,2 %) предел текучести: $R_{p0,2\ min} = 315\ \text{МПа}$;
- минимальное относительное удлинение: $A_{\min} = 1,0\ \%$.

Стандарт относится только к маркам УСЧ, металлическая фаза (матрица) которых состоит из пер-

лита и/или феррита (рис. 1). Другие металлические фазы, включая вермикулярный графит, в принципе также допускаются. В качестве примера для этого случая можно привести вермикулярный графит с аустенитно-ферритной матрицей (рис. 2), который, согласно стандарту ISO 16112, является специальным УСЧ-материалом. Структурные основы вермикулярного графита с аустенитно-ферритной

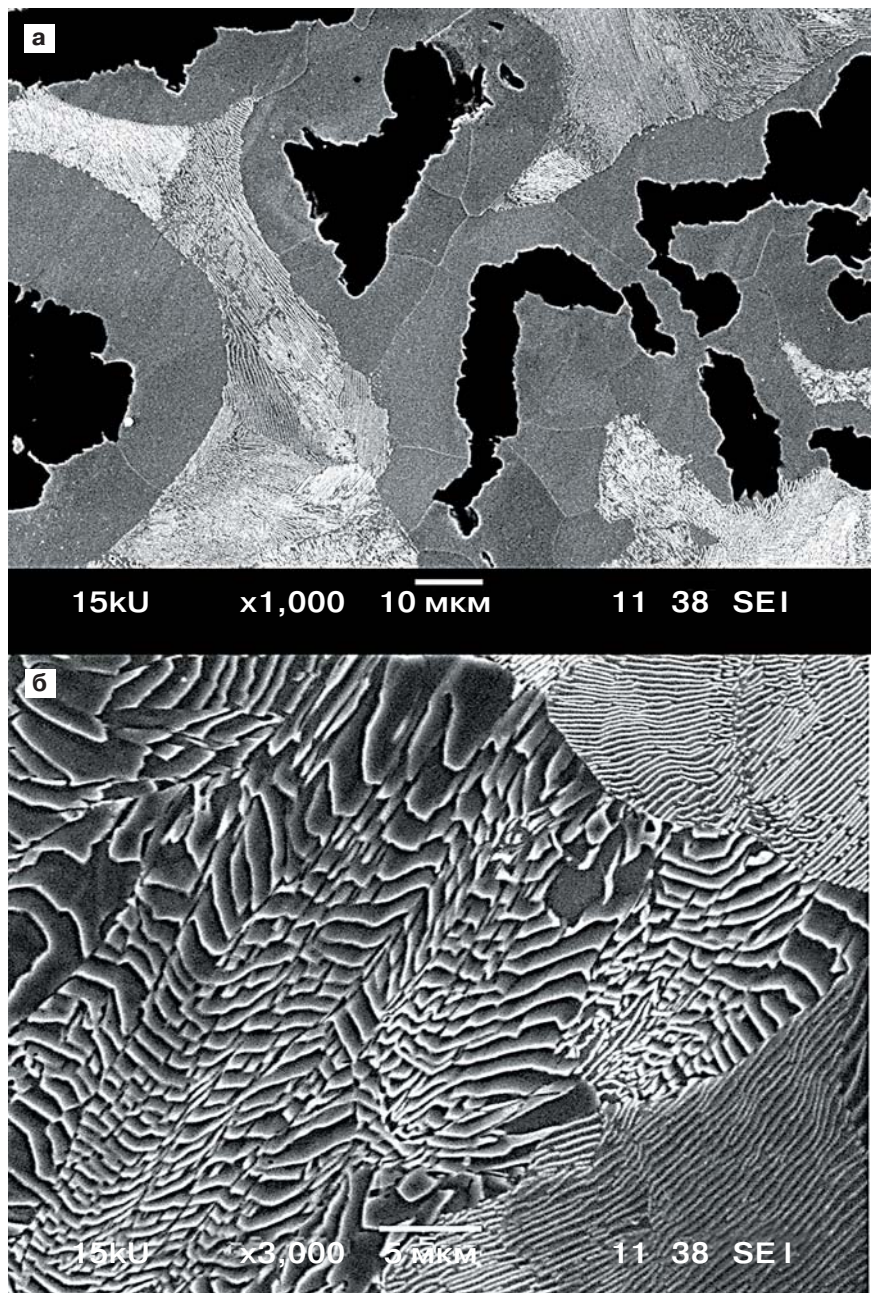


Рисунок 1. Уплотненный серый чугун (а — с перлитом и ферритом, б — с перлитом)

матрицей и изотермического ковкого чугуна (ADI — Austempered Ductile Iron) аналогичны. Однако обозначение CGI-ADI было бы неправильным, так как D, обозначающее Ductile (ковкий), то есть с большим относительным удлинением, не подходит для вермикулярного графита с аустенитно-ферритной матрицей.

Ученые-материаловеды из Halberg Guss всегда стремятся осуще-

ствить «тонкую настройку» химического состава, параметров плавки и процесса литья УСЧ с целью достижения наивысших эксплуатационных характеристик материала. Объем знаний относительно УСЧ постоянно увеличивается, о чем свидетельствует исследовательский проект «Разработка инструментов для создания экологически безопасной и экономически эффективной конструкции

литых деталей» [3]. Проект, поддерживаемый Федеральным министерством образования и исследований (BMBWF), направлен на повышение уровня компьютерного моделирования УСЧ.

Несмотря на длительную историю использования литейного чугуна, частицы графита по-прежнему определяют характер трибологического взаимодействия пар трения поршень — гильза цилиндра. В качестве примера хорошо зарекомендовавших себя на практике технологий финишной обработки поверхности гильз цилиндров можно привести жидкоструйное хонингование и лазерное воздействие. Хорошие трибологические свойства достигаются с использованием обоих процессов.

В целом, несмотря на отмеченные выше преимущества УСЧ (высокая прочность и хорошие трибологические свойства) по сравнению с СЧ и алюминием, было изготовлено очень немного двигателей с использованием этого материала. К. Вильгельм (C. Wilhelm) [4] приписывает данный факт более высокой стоимости компонентов из УСЧ по сравнению с СЧ. Большие затраты объясняются высокой стоимостью как самого литья, так и механической обработки деталей из-за меньшего по сравнению с СЧ срока службы инструмента. В связи с этим основная задача состояла в том, чтобы устранить недостатки экономического характера, связанные с дорогой механической обработкой деталей, за счет реализации проекта по созданию инновационного, легкого в обработке блока цилиндров из УСЧ. Блок цилиндров включает СЧ в тех местах, где осуществляется интенсивная механическая обработка, в частности в отверстиях картера, что позволяет облегчить процесс механической обработки. Кроме того, в УСЧ выявлены основные зоны, которые могут выдерживать приложение высоких напряжений. При этом принимались во внимание самые различные подходы.

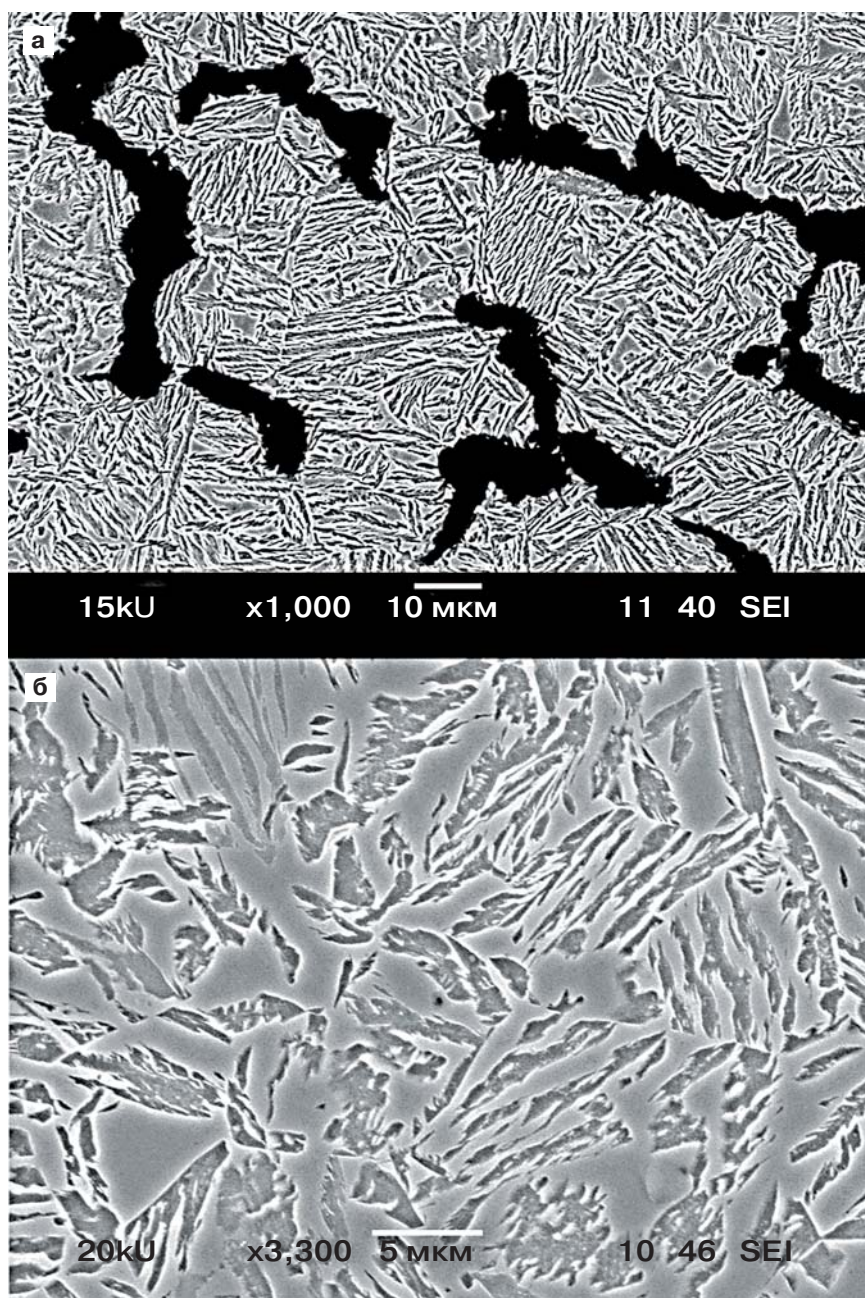


Рисунок 2. Вермикулярный графит с аустенитно-ферритной матрицей (а), аустенит-феррит (б)

IMF значительный вклад в ХТС



Манипулятор для литейного цеха «Аутома»



Сборочный манипулятор



Заполнение крупных опок



Выбивка опок

Люди Знание Сервис

Представительство IMF в СНГ:
115114 Москва, Россия
Дербеневская наб. 11
Тел.: +7 495 785 51 99
Факс: +7 495 788 67 44
info@imf-moscow.ru
www.imf-moscow.ru



I.M.F. srl
Via Turati 110/1
21016 Luino (VA)-Italy
Tel. +39 0332 542424
Fax +39 0332 542626
e-mail: imfluino@imf.it

www.imf.it

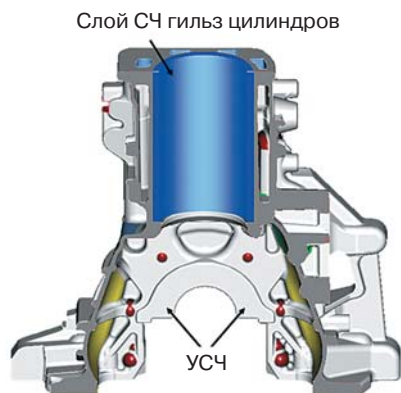


Рисунок 3. Особенности градиентного литья

В качестве первой возможности рассматривалось литье комбинированной СЧ-гильзы в УСЧ. Испытания были проведены с использованием СЧ-гильзы без нагрева. Структура литого материала содержала цементит и образовывала трещины на границе раздела СЧ и УСЧ. Дополнительные испытания с использованием нагретой СЧ-гильзы не проводились из-за явной экономической неэффективности процесса при массовом производстве деталей.

Следующим подходом было послойное литье. В этом случае расплав СЧ разливался в форму, наполовину наполненную УСЧ. Предполагалось, что можно будет получить отливку с нижней частью (включая подшипник) из УСЧ, а верхнюю часть (включая цилиндр и водяную рубашку) из СЧ. Однако во время основных испытаний расплав смешивался до такой степени, что ставилась под сомнение практическая реализуемость проекта.

Другой подход обработки расплава был основан на металлургии поверхностного слоя. Ожидалось, что это приведёт к формированию в цилиндре локального градиента морфологии графита от пластинчатой формы к компактной.

Проблема градиентного литья

Как уже было сказано, «градиентный» в общем случае означает локальное изменение свойств мате-

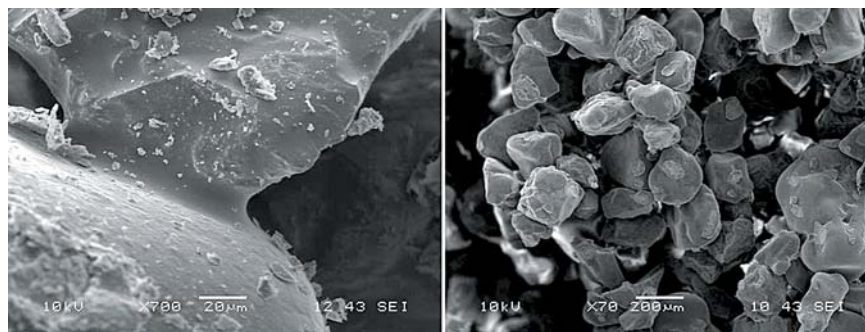


Рисунок 4. Пористый формовочный стержень при различном масштабе увеличения

риала. В этом контексте термин «градиентное литье» предполагает получение микроструктуры, адаптированной к локальным требованиям, предъявляемым к отливке. Локальный градиент морфологии графита, переход от пластинчатой к компактной форме, как считается, должен обеспечить оптимальную комбинацию свойств (механическая обрабатываемость, прочность и трибология). Изготовление блока цилиндров с минимальным временным сопротивлением на растяжение 400 МПа в подшипниковой зоне с однородным слоем СЧ в области тела цилиндра в направлении движения поршня, толщина которого находится в пределах допуска на механическую обработку, является серьезной технической задачей градиентного литья (рис. 3). Это стало темой поддерживаемого Федеральным министерством образования и исследований проекта «Градиентные материалы с улучшенной механической обрабатываемостью и трибологией для элементов двигателя».

Кроме Halberg Guss Management GmbH в состав исследовательской группы входили Фраунгоферский институт неразрушающего контроля (Fraunhofer Institute for Nondestructive Testing — IZFP), Саарбрюккен, фирма Hüttenes-Albertus Chemische Werke GmbH, Дюссельдорф, Институт функциональных материалов Университета Саара (Institute for Functional Materials of Saarland University), Саарбрюккен, и концерн Volkswagen AG, Вольфсбург.

Принцип технологии

Металлургия поверхностного слоя. Как можно получить чугун с градиентом морфологии графита, в частности, поверхностный слой из СЧ в комбинации с сердцевиной из УСЧ?

Ответом на этот вопрос является технологическая разработка металлургического процесса обработки поверхностного слоя, в ходе которой осуществляется целенаправленное воздействие на расплав посредством введенных в формовочный стержень добавок, выделяющих газ. Точка начала процесса — формовочный стержень, который формирует поверхностный слой (в данном случае стержень отверстий цилиндров). Добавки, содержащие серу, вводились в формовочный стержень. Выделяемое расплавом тепло вызывает нагрев стержня. Как только формовочный стержень достигает определенной температуры активации, добавки начинают выделять серосодержащие газы. Сера попадает в расплав через газовую фазу, стержень, как пористую среду (рис. 4), и через границу раздела огнеупор/расплав. Данный процесс может стать экономически эффективным за счет образования соединений с легирующими элементами, содержащимися в расплаве УСЧ. При взаимодействии серы с магнием с образованием MgS количество свободного магния после заполнения формы уменьшается. Формирование УСЧ требует минималь-

ного уровня свободного магния. Если количество свободного магния на поверхности в результате активного образования MgS снижается ниже минимального уровня, то предотвращается формирование компактного графита. В результате последующего охлаждения формируется поверхностный слой, содержащий пластинчатый графит. В тех областях расплава, где отсутствует обусловленная серой сегрегация магния, количество свободного магния остается неизменным после заполнения формы. В этих зонах расплав последовательно кристаллизуется с образованием УСЧ. Описанный выше процесс с использованием серы в определенной степени можно реализовать с кислородсодержащими добавками.

Сформулированные модельные подходы и рабочие гипотезы подтверждаются при применении в данном проекте градиентного материала. В частности, это касается установления различий в содержании связанного и свободного магния в местах, где формируется УСЧ. Это не измеренное с помощью спектрометрических методов содержание магния, параметра критического для формирования УСЧ, а меньшая по величине составляющая свободного магния. Спектрометр позволяет определить только общее содержание магния в сумме $Mg + MgO + MgS + MgSiO_2$ + прочие магниесодержащие соединения.

Технические преимущества определяются на основе знаний о физической системе, состоящей из пористых огнеупорных материалов, границы раздела огнеупор/расплав и собственно расплава. Эффективность процесса литья в значительной степени зависит от выбранных добавок, вводимых в качестве компонентов в формовочный стержень отверстий цилиндров.

Компоненты градиентного литья. Для металлургии поверхностного слоя пригодны 16 видов носителей кислорода, 16 видов носителей

серы и 12 видов носителей оксидов серы. Комбинация различных добавок, которые можно смешивать или последовательно вводить в слой, обеспечивает более 50 возможных вариантов обработки. Ориентируясь на повышение механической обрабатываемости, можно вывести критерий предварительного отбора: хорошая механическая обрабатываемость СЧ требует наличия в структуре матрицы достаточно большого числа частиц MnS. Добавка, которая не содержит каких-либо атомов серы для возможного образования частиц MnS, не способствует формированию этих частиц в слое СЧ градиентной структуры. Хотя для полноты картины было протестировано несколько носителей кислорода, однако работы сфокусированы на веществах, содержащих серу, в качестве добавок для формовочных стержней.

Механизм действия. Был выполнен ряд разнообразных испытаний для выяснения механизма действия добавок. Полученные знания использовались для разработки и непрерывного улучшения модели, описывающей фундаментальные принципы металлургии поверхностного слоя. Результаты испытаний отливок, проведенных с использованием большого количества различных добавок, совпадают с данными, полученными с помощью модели. Краткие выдержки заключений приводятся ниже. Использовались следующие аналитические инструменты:

- производный термогравиметрический анализ смеси из стержневого песка и добавок, смеси из материала покрытия и добавок и только добавок;
- термический анализ на основе непрерывной регистрации большого числа кривых температура — время для отливок и форм;
- моделирование;
- анализ микроструктуры градиентного материала с помощью СЭМ;

— нанотомографическое исследование графита в градиентном материале.

Испытания образцов

Компоненты. Описанный выше процесс в основном применялся при производстве картеров однорядных четырехцилиндровых двигателей (рис. 5). За основу был взят блок цилиндров двигателя 1.9TDI компании Volkswagen AG. Для серийно производимого двигателя используется исполнение из СЧ.

Испытание на качество материала.

Какая разница между микроструктурами УСЧ и СЧ? Микроструктура обоих материалов в основном состоит из графитовой и металлической фаз. Однако процессы образования графита в СЧ и УСЧ различаются. Трехмерное изображение является более надежным (по сравнению с двухмерным металлографическим анализом) средством оценки процесса образования графита. Использование трёхмерных изображений (рис. 6, а и 7, а) позволяет произвести более адекватную оценку, так как отличительные черты структуры становятся более четкими и различимыми. Согласно работам С. Даусона (S. Dawson) и Т. Шрёдера (T. Schroeder), [5] графит в СЧ имеет более ровную поверхность, меньшую толщину и более заостренные концы по сравнению с графитом УСЧ. Трехмерные изображения создаются удалением металлической фазы путем мокрого химического травления. При этом

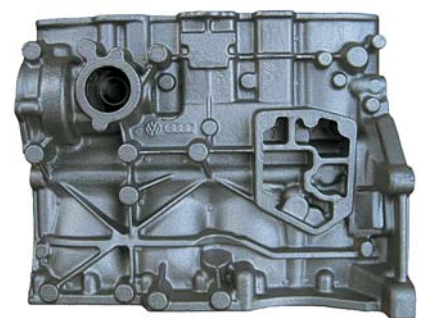


Рисунок 5. Испытуемый картер четырехцилиндрового двигателя

графитовая фаза остается без изменений. Постепенное нисходящее удаление материала осуществляется только до глубины, на которой еще остается видимой горизонтальное плато графитовой структуры, образующееся в результате шлифования поверхности образца.

В двухмерном изображении плато будут видимыми как вырезанные поверхности трехмерного графита. Руководствуясь этим принципом, двухмерное изображение (рис. 6, б и 7, б) реконструировано с помощью компьютера в виртуальной форме на основании реального трехмерного.

Экспонированная область испытываемого образца (рис. 8) иллюстрирует технику реконструкции микроструктуры. Левая сфера имеет плато, которое в двухмерном изображении выглядит как круглая зона. Правая сфера во время металлографической обработки не отпечаталась, но поверхность сферы экспонирована в результате глубокого травления, как это видно на трехмерном изображении. В двухмерном изображении металл скрывает сферу, что и делает ее невидимой. Сферы окружены компактным графитом.

На двухмерном изображении графитовая фаза проявляется в виде темных неясных зон. Каков же результат оценки топографических особенностей в трехмерном изображении? Проявляется графит на трехмерном изображении в разборчивом или неразборчивом виде? Топологическое описание фазы в трехмерном изображении является критическим фактором для определения свойств микроструктуры. Глубокое травление показывает, что графит в трехмерном изображении достаточно отчетливо идентифицируется в индивидуальных телах, эвтектических ячейках. Сегрегационное травление эвтектической ячейки (рис. 9) подтверждает это.

Институт функциональных материалов Университета Саарланда проанализировал полученные гра-

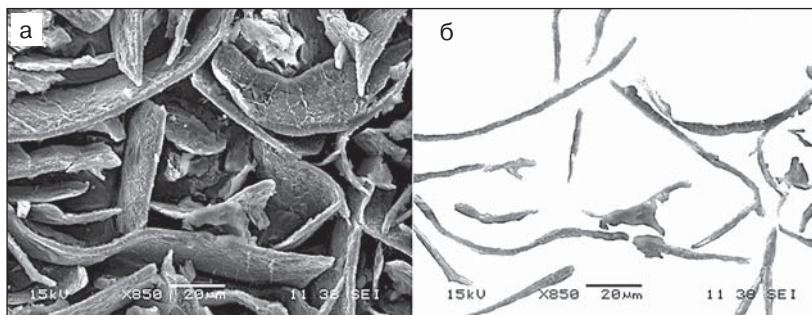


Рисунок 6. Серый литой чугун: а — трехмерное изображение; б — двухмерная реконструкция

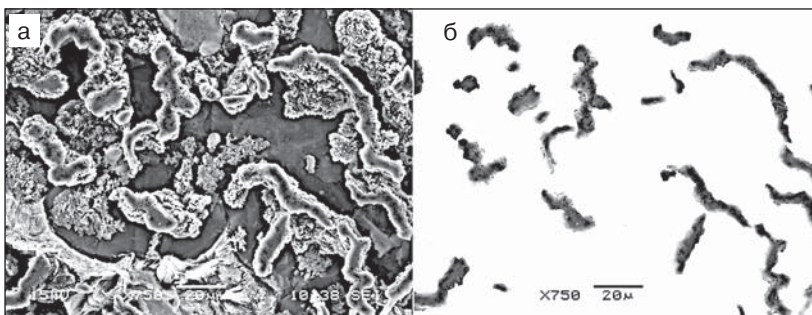


Рисунок 7. Уплотненный серый чугун: а — трехмерное изображение; б — двухмерная реконструкция

диентные материалы. Анализ осуществлялся вне процедуры, описанной в стандарте DIN EN ISO 945. Разработаны новые, более объективные методы анализа для классификации пластинчатого, уплотненного и сфероидального графита, достигнув более высокого уровня качества анализа (однозначность и воспроизводимость) по сравнению с процедурами, приведенными в указанном стандарте.

Более подробная информация по данной теме представлена в статье Ф. Мюклиха (F. Mücklich) [6]. Толщина слоя СЧ, установленная Ф. Мюклихом (Институт функциональных материалов) в определенных положениях в ходе испытания (рис. 10), свидетельствует об исходном промежуточном состоянии разработки при изменении добавок [7].

Разработчики компании Halberg Guss Management достигли успе-

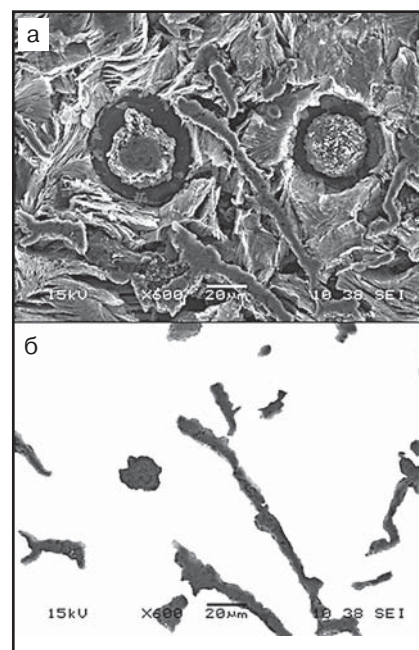


Рисунок 8. Реконструкция графита с помощью глубокого травления: а — трехмерное изображение; б — двухмерная реконструкция

хов в производстве однорядного четырехцилиндрового испытательного объекта VW-типа с цилиндрами из градиентного материала. Во время последующих испытаний с использованием

добавок различного химического состава было выяснено, что слой СЧ в направлении движения поршня имеет толщину, аналогичную с представленным на рис. 10 слоем.

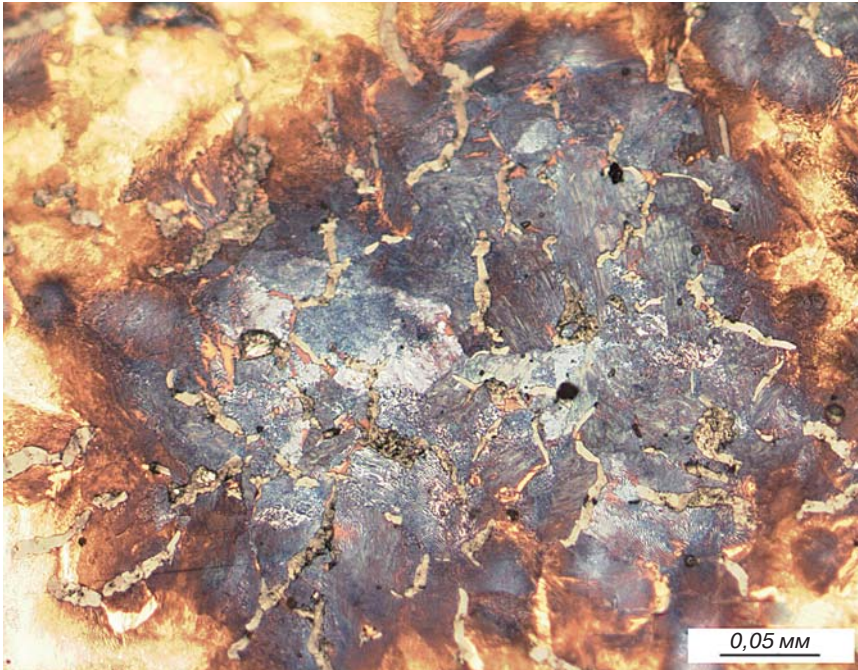


Рисунок 9. Эвтектическая ячейка в микроструктуре уплотнённого серого чугуна; сегрегационное травление на кремний

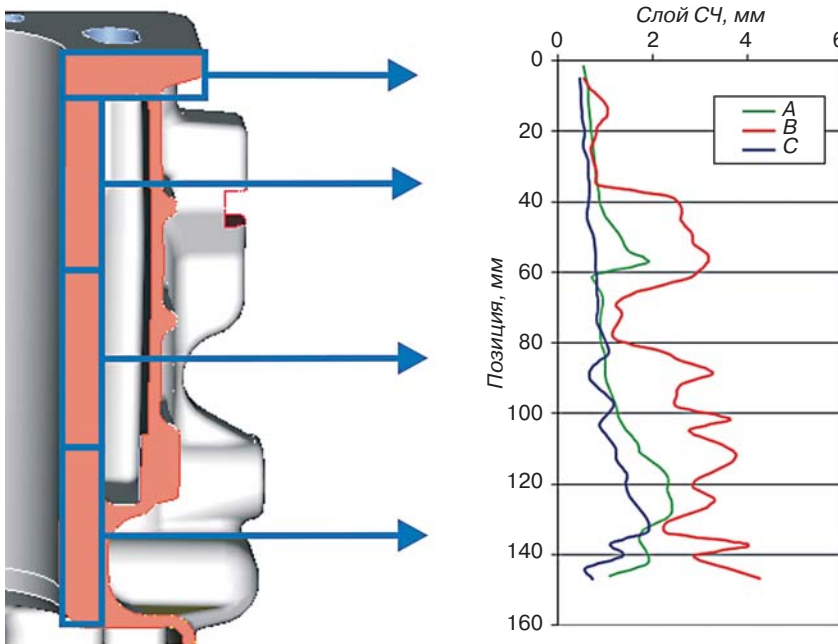


Рисунок 10. Слой серого чугуна, полученный при помощи различных добавок

Влияние геометрии. Толщина слоя СЧ градиентного материала уменьшается в направлении движения поршня от основания до головной части. Это нежелательный градиент перепада толщины слоя. Подобное явление наблюдалось при использовании всех эффективных добавок, что дало повод предположить о зависимости данной особенности градиентного материала при использовании в блоке цилиндров от геометрии объекта. Чтобы доказать это, необходимо усовершенствовать упрощенную модель за счет включения дополнительных испытаний, например, одновременной регистрации большого числа кривых формовочного стержня, отверстий цилиндра и прилегающей зоны поверхности отливки. Этот термический анализ при изохронном рассмотрении демонстрирует наличие температурного градиента в продольном направлении в поверхностной зоне формовочного стержня. Термохимические данные уже получены с помощью метода термогравиметрического анализа. Проведено сравнение данных термического и термохимического анализа. Упрощенная диаграмма, позволяющая понять полученную улучшенную модель, представлена на рис. 11. Несмотря на очень равномерное распределение добавок в формовочном стержне, наблюдаются различия в локальном выделении газов и, как следствие, в металлургической эффективности из-за наличия температурного градиента. Подтверждено, что толщина слоя СЧ зависит от температурного градиента в формовочном стержне в продольном направлении и, следовательно, от геометрии.

Из-за большого влияния геометрии технологические параметры в значительно большей степени, чем обычно, зависят от формы деталей. Быстро и просто применить технологию для производства других деталей невозможно, требуется тщательная проработка в зависимости от конкретных условий.

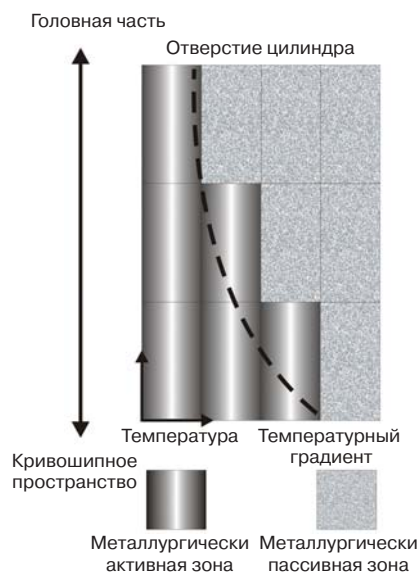


Рисунок 11. Различные скорости газовыделения в результате наличия температурного градиента (схематичное изображение)

Технологический контроль. Из большого числа добавок только одна оказалась пригодной для контроля технологического процесса. Результаты, полученные со всеми другими добавками, рассматриваются как неудовлетворительные с точки зрения надежности и эффективности контроля. Слой СЧ был слишком тонким, как это имело место с добавками на основе тиосульфата натрия или гептагидрата сульфата железа (II), или же были проблемы с цементитом в слое СЧ в градиентном материале. Наличие и количество цементита варьируется в ходе почти всех испытаний. Проблемы цементита не удалось решить изменением дозировки. Несмотря на многочисленные (в том числе очень тонкие) вариации дозировки, не удалось найти какого-либо технологического решения для надежного предотвращения образования цементита. Наличие цементита приводит к интенсивному износу и даже поломке инструмента в процессе механической обработки. Не удалось добиться экономически эффективной за счет формирования слоя СЧ механической обработки картера блока цилиндров из УСЧ.

Какая добавка эффективна для предотвращения образования цементита и почему? Добавки, содержащие серу и обладающие способностью быстрого газовыделения, малоприспособны для этой цели с точки зрения определенной геометрии испытуемого объекта. Возможен случай, когда поверхность будет перенасыщена свободной серой. Количество серы, насыщающей поверхность, настолько велико, что свободная сера присутствует даже после введения таких легирующих элементов, как магний и марганец. Свободная сера способствует образованию цементита.

Носитель в виде соли с металлургически нейтральным катионом, содержащий серу и кислород, считается наиболее подходящей добавкой. Кристаллическая структура этой соли показана на рис. 12.

Соль можно вводить в формовочный стержень очень равномерно. Термохимические данные совместимы с характеристиками с процессами нагрева в формовочном стержне цилиндров, то есть температура активации находится на достаточно низком уровне, и процесс локального газовыделения не осуществляется слишком быстро. Разнообразная геометрия испытуемых объектов приводит к различным характеристикам нагрева формовочного стержня. В результате соль может

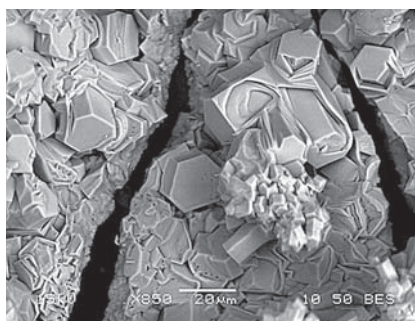


Рисунок 12. Соль в качестве добавки для получения градиентного материала (микроснимок сканирующего электронного микроскопа)

проявлять разные термохимические данные.

Не удастся увеличивать толщину слоя СЧ в верхней части отверстия цилиндра посредством изменения химического состава добавок. Получить более равномерную толщину слоя СЧ можно только с помощью усовершенствованной технологии литья. Одним из подходов в этом направлении можно считать целенаправленное влияние процесса нагрева в формовочном стержне на отверстие цилиндра. Этого удалось добиться за счет конструирования стержня отверстия цилиндров с полостью в центральной части, также наполняемой металлом во время заполнения формы. Подобный «нагревательный элемент» позволяет изменить экзотермические условия в поверхностной зоне стержня. Необходимость в изменении геометрии этой зоны отсутствует. Допуск на механическую обработку также адаптирован к толщине слоя СЧ. Сокращение общего объема удаляемого металла обеспечивает увеличение срока службы инструмента во время механической обработки картера блока цилиндров при наличии градиентов и, как следствие, способствует экономии средств. Конструкция «нагревательного элемента», включая литник и форму, для массового производства изделий до настоящего времени не отлажена в полной мере.

Перспективы для массового производства

Несмотря на улучшения в технологии литья, наиболее важным аспектом при массовом производстве серийной продукции является экономическая эффективность процесса. Ожидаемая экономия средств при использовании градиентных материалов достигается в результате более эффективной механической обработки отверстий цилиндров по сравнению с дополнительными затратами, связанными с их получением. Конечно, следует принимать во внимание тот факт, что для достижения

равномерного слоя СЧ необходимо модернизировать технологический процесс, что связано с дополнительными расходами.

Большая жесткость деталей высоконагруженных двигателей может обеспечить существенное снижение массы картера блока цилиндров. По результатам поддерживаемого Федеральным министерством образования и исследований проекта «Разработка инструментов для создания экологически безопасной и экономически эффективной конструкции литых деталей» было выявлено, что ориентированные на перспективу литые производства дополнительно к поставке деталей превращаются в поставщиков технологий. Это подтверждается, кроме всего прочего, следующим поддерживаемым Федеральным министерством образования и исследований проектом «Градиентные материалы для улуч-

шения механической обрабатываемости и трибологии компонентов двигателя». Подобные разработки технологий в литейном производстве позволяют заказчикам получить выгоду за счет совершенствования серийной продукции в области автомобилестроения.

Библиографический список

- [1] International Aluminium Journal 83 (2007), March, pp. 64-66, ISSN 0002-6689.
- [2] Radebach, D.: Gusseisenwerkstoffe für effiziente und leichte Motoren. CTI Fachkonferenz Werkstoffe im Motorenraum, 08.04.2008, Munich.
- [3] Altpeter, I.; Egner-Walter, A.; Junk, H.; et al.: Entwicklungswerkzeuge zum ökologischen und ökonomischen Gestalten von Gussteilen. Final report on BMBF-funded project 01RW0058/01RW0059/01RW0060, Saarbrücken, Fraunhofer Institut für zerstörungsfreie Prüfsysteme IZFP, Halberg Guss GmbH, Magma Gießereitechnologie GmbH, 2005.
- [4] Wilhelm, C.: Gießtechnik im Motorenbau. Anforderungen der Automobilindustrie. VDI-Berichte 1830, Düsseldorf: VDI Verlag GmbH, 2005, p. 155.
- [5] Giesserei-Praxis (2005) Issue no. 6, p. 229.
- [6] Mücklich, F.: Neue Möglichkeiten der objektiven Graphitklassifizierung in Gusseisen durch Nano-Tomographie und Internet-basierte Online-Verfahren. Gießtechnik im Motorenbau. Anforderungen der Automobilindustrie, 4. Fachtagung, 6/7 February 2007, Magdeburg. VDI Verlag GmbH, Düsseldorf 2007.
- [7] Mücklich, F.: Gradientenwerkstoffe zur Verbesserung der Bearbeitbarkeit und Tribologie von Komponenten im Motorenbau. Final report on BMBF-funded project 03N3119D, Institute for Functional Materials, Saarbrücken, 2006, p. 49.
- [8] Radebach, D.: Gradientenwerkstoffe zur verbesserten Bearbeitbarkeit und Tribologie von Komponenten im Motorenbau. MTZ (2007), Issue no. 10.

www.halberg-guss.de



**ZrO₂ фильтр для
стального литья**

Drache
umwelttechnik

www.drache-gmbh.de · mail@drache-gmbh.de

TargiKielce
EXHIBITION & CONFERENCE CENTRE



METAL

**16. Международная Ярмарка
Технологии для Литейного Дела**

www.metal.targikielce.pl



ALUMINIUM & NONFERMET

**9. Международная Выставка
Алюминия и Технологии,
Материалов и Производства
из Цветных Металлов**

www.nonfermet.targikielce.pl

28-30.09.2010

Кельце, Польша

**МЫ ПРИГЛАШАЕМ ВАС НА ВЕДУЩУЮ
ЯРМАРКУ ЛИТЕЙНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ
В ЦЕНТРАЛЬНОЙ И ВОСТОЧНОЙ ЕВРОПЕ**

Организатор: Targi Kielce (Ярмарка Кельце)
ul. Zakladowa 1, 25-672 Kielce, Poland
Комиссар ярмарки — Piotr Pawelec
tel. +4841 365 12 20, fax +4841 365 13 12
e-mail: pawelec.p@targikielce.pl