



Тормозной диск, изготовленный с помощью стержня со связующим Inotec на предприятии компании SHW Automotive GmbH в Тутлингене (фото: ASK Chemicals)

Авторы: бакалавр техн. наук Штеффен Сассе, дипл. инж. Йорг Кнехтен, SHW Automotive GmbH, Тутлинген, дипл. инж. Йорг Бротцки, докт. Каролин Валленхорст, дипл. инж. Андре Герхардс, ASK Chemicals GmbH, Хильден, проф. докт.-инж. Хайнц-Йозеф Войтас, Университет Дуйсбург-Эссена, Дуйсбург

## Неорганическая связующая система для производства отливок тормозных дисков из серого чугуна

Вследствие постоянно растущих требований в отношении выбросов и загрязнения окружающей среды, а также увеличения затрат на энергию и материалы литейные производства вынуждены защищать свои интересы перед лицом самой жесткой международной и национальной конкуренции. Инновации для достижения экономически эффективного производства отливок имеют первостепенную важность, особенно при выборе и оптимизации процесса производства стержней. Неорганические связующие уже хорошо себя зарекомендовали при изготовлении стержней для получения отливок из легких сплавов. В этом случае они являются экономически эффективной альтернативой традиционным связующим для производства стержней по процессу cold box (в холодных ящиках). Использование неорганических связующих и связанное с этим сокращение выбросов и конденсатов обеспечивает снижение расходов на очистку воздуха и техническое обслуживание. В ходе работы над кандидатской диссертацией неорганическое связующее Inotec для изготовления стержней компании ASK Chemicals GmbH использовали на предприятии компании SHW Automotive при производстве тормозных дисков из серого чугуна (GJL)

### Производство тормозных дисков на предприятии SHW Automotive

Предприятие Ludwigstal в Тутлингене, Германия, компании SHW Automotive производит широкий

спектр тормозных дисков. Выпускаются как отливки тормозных дисков для оригинальной продукции ведущих автомобилестроительных компаний (Porsche, VW, Audi, BMW, Lamborghini, Bentley, Brembo), так и

тормозные диски в виде готовых изделий для линий сборки автомобилей и в качестве запасных деталей. Производство тормозных дисков из композитных материалов представляет собой новое направление.

Проведен сравнительный анализ неорганического связующего Inotec компании ASK Chemicals GmbH, Хильден, Германия, с серийно выпускаемым полиуретановым связующим cold box с использованием специального испытательного тормозного диска (рис. 1). Качество материала данного тормозного диска с внутренней вентиляцией соответствует марке модифицированного стандарта EN-GJL-200. Модель была выбрана по геометрии отливки или готового стержня (рис. 2).

Тонкое поперечное сечение (4 мм) при переходе от профиля тормозного диска к вентиляционным каналам представляет собой серьезную проблему для стержня или стержневой связующей системы. Усилия растяжения, которые должен выдерживать этот переходный участок, возникают из-за вентиляционных каналов и индекса стержня на внешнем диаметре; оба элемента необходимы при изготовлении стержня и для процесса литья.

### Стержневая связующая система Inotec

Неорганическое связующее Inotec состоит из модифицированного силикатного связующего раствора и минеральных добавок («активаторов»). Отверждение стержней происходит в процессе сушки и реакции сшивания, инициированных нагревом. Это достигается за счет использования нагретого инструментария и пропускания горячего воздуха через стержень.

Для улучшения качества литой поверхности используемые стержни должны иметь покрытие. На стержни с неорганическим связующим наносится покрытие на водной основе, что, в отличие от покрытий на спиртовой основе, исключает выбросы. Поперечное сечение толщиной 4 мм при переходе к вентиляционным отверстиям представляет собой особую задачу с точки зрения обеспечения стабильности покрытия на водной основе для стержней с неоргани-

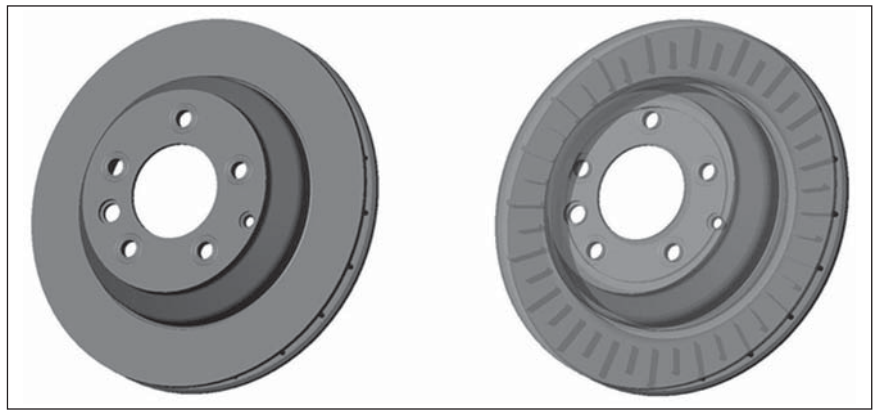


Рисунок 1. Испытательные тормозные диски: сплошное (слева) и прозрачное изображения

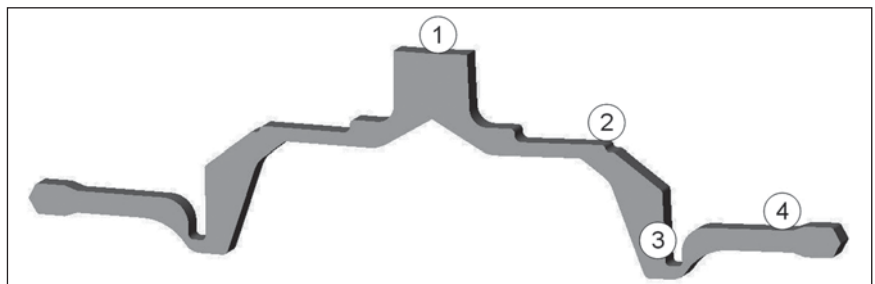


Рисунок 2. Поперечное сечение стержня испытательного тормозного диска: 1 — шейка стержня (для манипулирования при производстве/перемещении); 2 — литейный контур (внутри тормозного диска); 3 — наименьшее поперечное сечение; 4 — вентиляционные каналы с установленным стержнем

ческим связующим. В соответствии с производственным процессом компании SHW стержни используются в формовочной системе Disamatic с вертикально раз-

деляемыми формами. Параметры процесса производства стержней на основе неорганического связующего Inotec согласуются с их геометрией, режимом нанесения

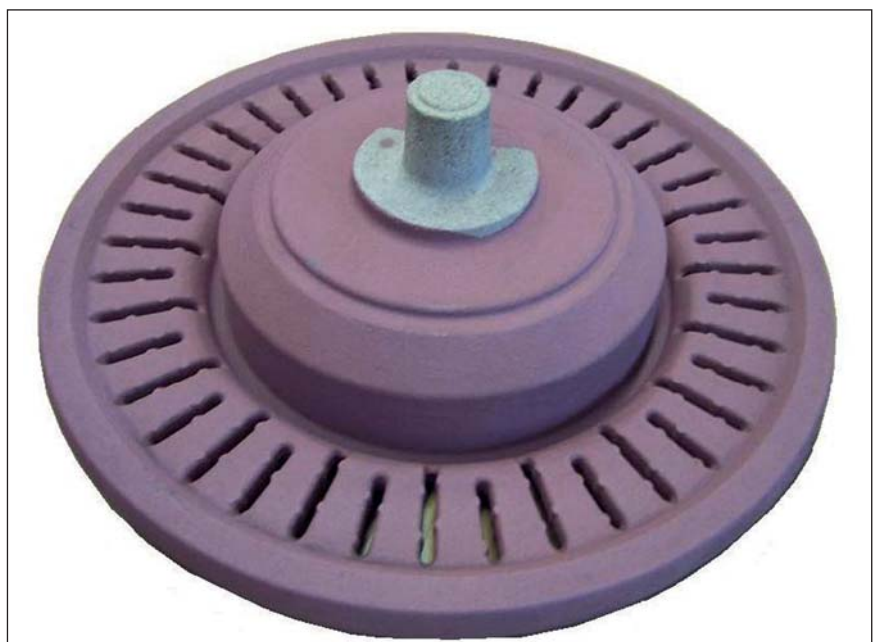


Рисунок 3. Песчаный стержень со связующим Inotec

покрытия, системой форм и материалом.

### Инспектирование

**Предварительные испытания.** Кандидатская диссертация, на базе которой написана данная статья, начиналась с оценки производственных параметров для выпуска стержней со связующим Inotec достаточной прочности и со стабильным покрытием. Испытания проводили на стержневой машине типа hot box (горячий ящик), поскольку данный тип оборудования широко используется в производственном процессе. В данном случае соответствующим образом была произведена адаптация инструмента и его вентиляционных каналов для достижения оптимального уровня плотности

стержня. Кроме того, исследовали время цикла и температуру инструмента, провели анализ различных комбинаций связующего и активатора, нанесено покрытие с соответствующими свойствами. После нанесения покрытия стержни высушивали.

С этой целью использовали сушильную печь непрерывного действия с температурой 150 °С. На **рис. 3** показан песчаный литейный стержень со связующим Inotec с покрытием. Затем стержни использовали в процессе литья.

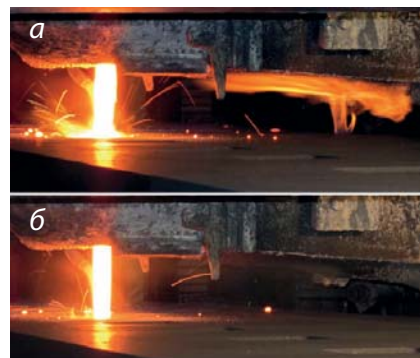
В следующих разделах рассмотрены характеристики отдельных испытаний (**рис. 4**), позволяющие произвести прямое сравнение тормозных дисков, отлитых с использованием стержней со связующим Inotec, и тормозных дисков серий-

ного производства со стержнями, изготовленными процессом cold box на полиуретановой связке.

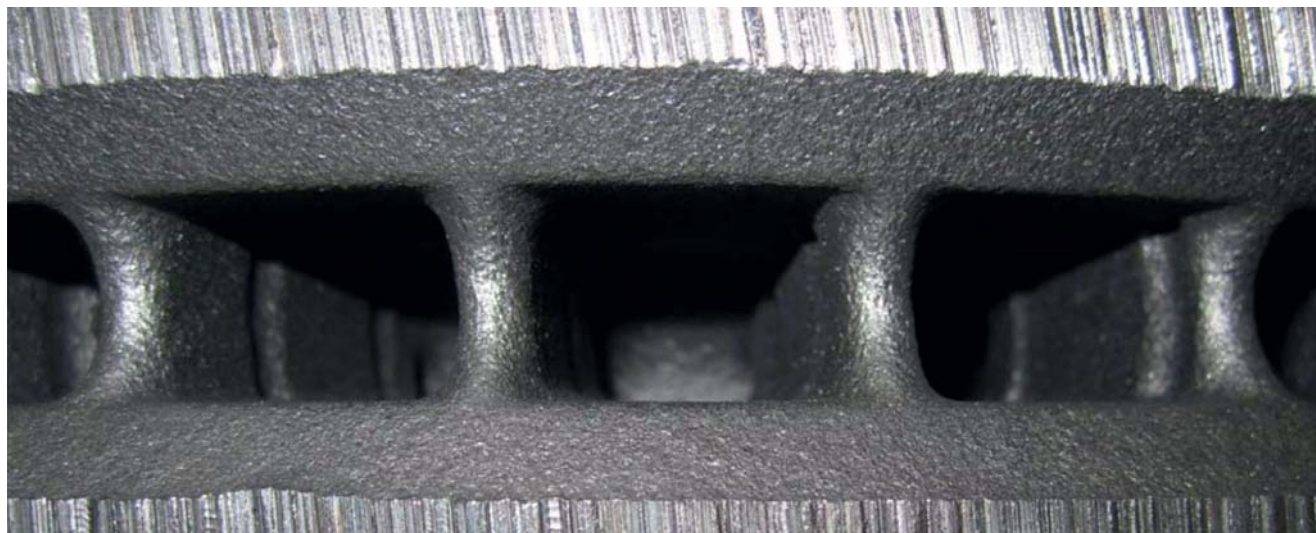
**Поведение стержней во время литья.** Данная процедура контроля предусматривает чисто визуальную оценку поведения стержней во время литья. Причем в данном случае большое значение имеет образование дыма и стержневых газов. На **рис. 5, а** показано поведение стержней на полиуретановой связке cold box во время процесса заливки. Температура расплава во время заливки составляет 1370 °С. Отчетливо видно выгорание литейных газов при переполнении. Причина образования пламени — органические элементы, содержащиеся в связующей системе стержня.



**Рисунок 4.** Общее тестирование как процедура отдельных испытаний



**Рисунок 5.** Песчаный стержень во время заливки: а — полиуретановое связующее cold box; б — связующее Inotec



**Рисунок 6.** Тормозной диск, изготовленный с помощью стержня со связующим Inotec

# Замысел станет реальностью: Установка модульной конструкции фирмы EIRICH через 7 дней уже полностью готова к эксплуатации

Установка  
производительностью  
около 17 т/час  
формовочной смеси

Пример:



**Eirich – Ваш надёжный партнёр  
в области приготовления  
формовочной смеси**

**Затраты и качество  
в надёжных руках!**

**Maschinenfabrik Gustav Eirich GmbH & Co KG**  
Walldürner Straße 50, 74736 Hardheim, Germany  
E-mail: [eirich@eirich.de](mailto:eirich@eirich.de), Internet: [www.eirich.com](http://www.eirich.com)

ООО Айрих Машинентехник, ул. Уржумская, 4, строение 2  
129343 Москва, Российская Федерация  
Телефон: (495) 7716880, факс: (495) 7716879, [info@eirich.ru](mailto:info@eirich.ru)



**EIRICH**

The Pioneer in Material Processing®

Поведение стержней со связующим Inotec показано на рис. 5, б. Благодаря использованию связующего на жидком стекле выжига-

ние стержневых газов не происходит, что оказывает положительный эффект на рабочую среду работников.

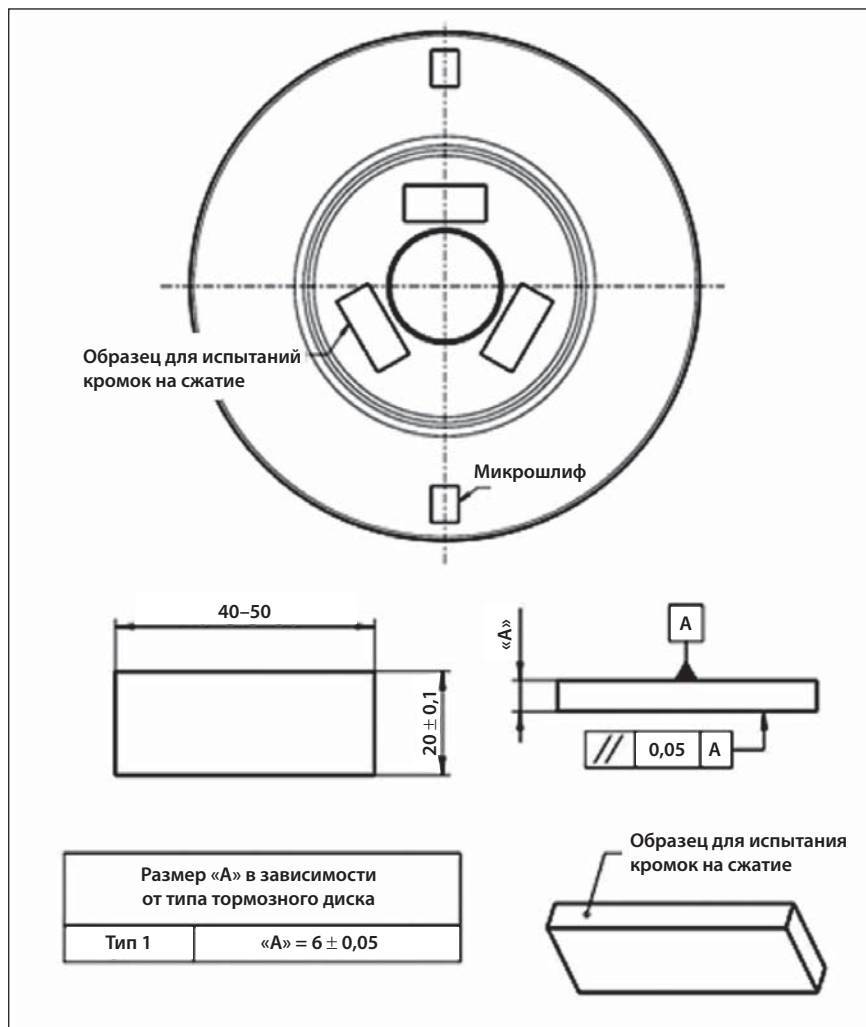
**Удаление стержня/производительность процесса очистки.** После интегрированного в производственный процесс охлаждающего барабана расположена система абразивной очистки непрерывного действия. В ней предусмотрен автоматический мониторинг потока абразивного материала для регулирования его расхода. В качестве абразивного материала используется дробь из низкоуглеродистой литой стали.

Продолжительность процесса абразивной (дробеструйной) очистки зависит от расхода материала, установленной скорости вращения стальной ленты и интенсивности самого процесса обработки. При серийном производстве два последних параметра поддерживаются на постоянном уровне с помощью программы абразивной очистки.

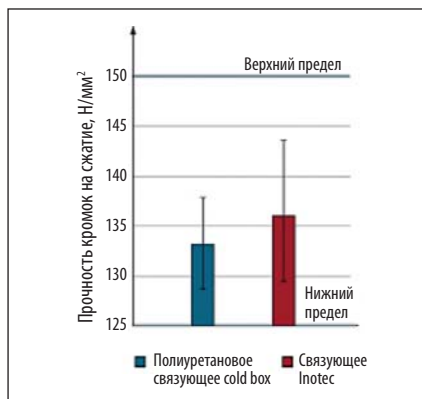
Отливка после дробеструйной обработки имеет чистую поверхность. На рис. 6 показан тормозной диск, изготовленный со стержнем Inotec.

**Испытание на сжатие кромок.** Для определения прочности кромок литого образца на сжатие (рис. 7) его помещали под нагрузку между двумя противоположными клиньями из закаленной стали до разрушения.

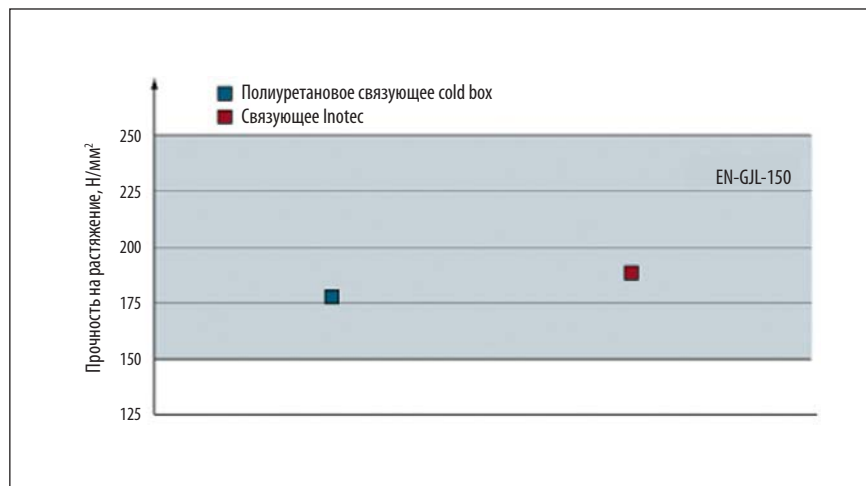
Результаты сравнения двух стержневых связующих систем в отно-



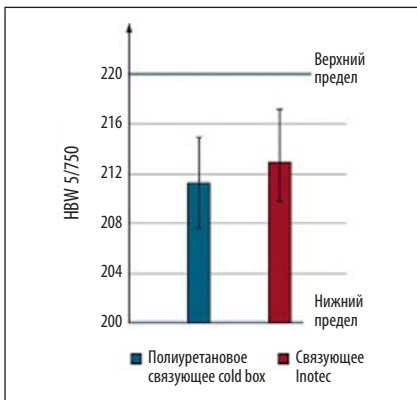
**Рисунок 7.** Положение отбора образца и его размеры для испытания кромок на сжатие



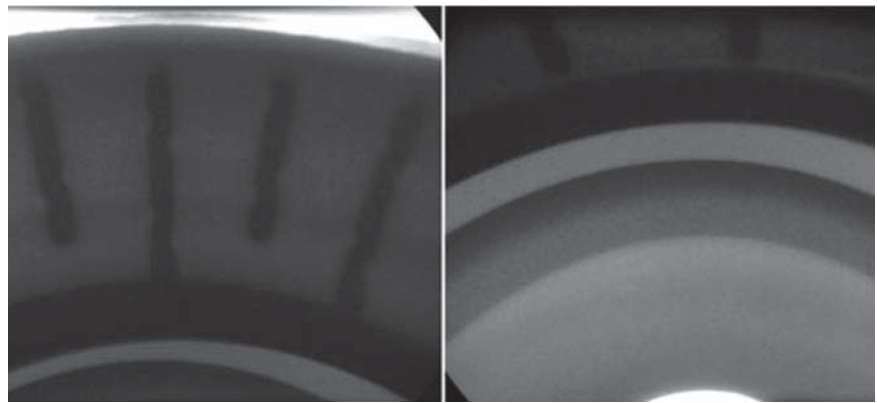
**Рисунок 8.** Сравнение значений прочности кромок на сжатие образцов отливок, полученных с использованием стержневых связующих cold box или Inotec



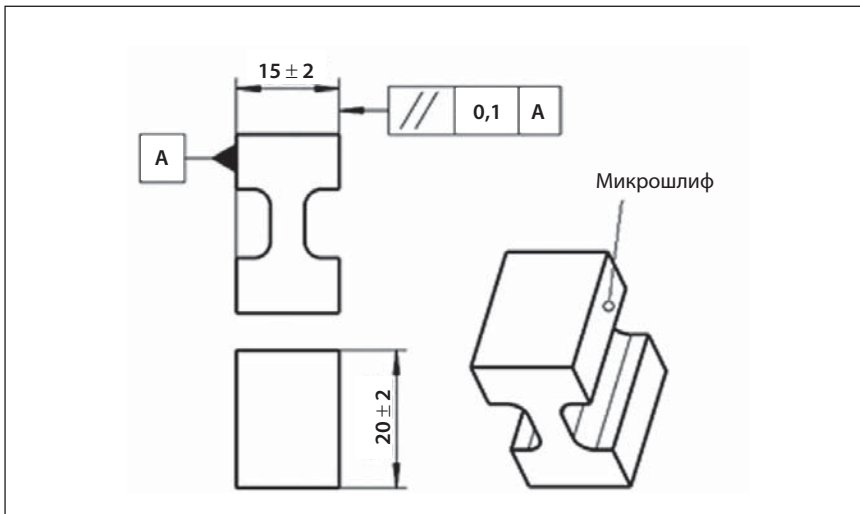
**Рисунок 9.** Сравнение значений прочности на растяжение литых образцов, полученных с использованием стержневых связующих cold box или Inotec



**Рисунок 10.** Сравнение значений твердости по Бринеллю литых образцов, полученных с использованием стержневых связующих cold box или Inotec



**Рисунок 11.** Рентгеновское изображение испытательного тормозного диска



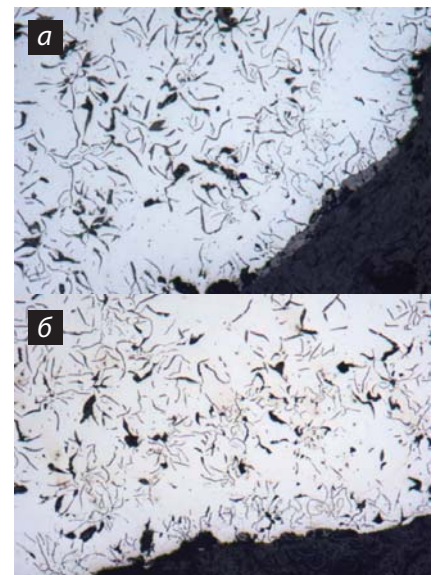
**Рисунок 12.** Размеры металлографических сечений

шении прочности образца на сжатие каких-либо значительных различий не выявили (рис. 8). Различия измеренных значений находились в пределах допуска, что отражено на диаграмме стандартных отклонений.

Прочность кромок на сжатие, как правило, прямо пропорциональна прочности на растяжение и зависит в основном от характеристик хрупкого разрушения материала, модификации кромок и геометрии образца. Испытание кромок на сжатие применяется для косвенного определения прочности на растяжение хрупких материалов, в частности серого чугуна.

Соотношение между прочностью кромок на сжатие и растяжение определяется из условия, что прочность на растяжение  $R_m$  рассчитывается из прочности на сжатие  $R_{мк}$  в соответствии с линейным уравнением общего вида  $R_m = a + b \cdot R_{мк}$ . Для рассматриваемых в данном случае пластин толщиной 6 мм уравнение будет иметь вид  $R_m = -75,5 + 1,9 \cdot R_{мк}$ , при этом разброс значений  $s_R$  составляет 15 Н/мм<sup>2</sup>.

Полученные в соответствии с приведенным преобразованием значения механических характеристик (рис. 9) примерно соответствуют маркам стандарта EN-GJL-150 или EN-GJL-200.



**Рисунок 13.** Образование графита в испытуемом тормозном диске при переходе к вентиляционному каналу: а — отливка, полученная с использованием стержневых связующих cold box; б — отливка, полученная с использованием стержневых связующих Inotec (обе не протравленные,  $\times 100$ )

**Твердость поверхности.** Твердость поверхности измеряется по методу Бринелля в соответствии с европейским стандартом DIN EN ISO 6506-1. Измерения выполнены на поверхности «шляпы» тормозного диска в трех точках, смещенных друг от друга на 120 град. Для испытания использовался карборундовый шарик диам. 5 мм. Прикладываемая нагрузка составляла

7,355 кН со временем реакции 10–15 с. Из рис. 10 отчетливо видно, что твердость поверхности литых деталей, полученных со стержневой связующей системой Inotec и с полиуретановым связующим по методу cold box, не отличаются друг от друга. И в этом случае разница значений находится в пределах измерений.

**Рентгеновский контроль.** В ходе рентгеновского контроля в литых деталях не было выявлено каких-либо структурных изменений, газовых пузырей или других дефектов (рис. 11). Тормозные диски исследовались как в зоне профиля («шляпы»), так и вдоль кольцевой поверхности трения. Контролю подвергались необработанные литые детали.

**Обрабатываемость.** Станочная линия для обработки тестируемых тормозных дисков подразделяется на различные участки и включает станции для предварительной механической обработки и финишной обработки до конечных размеров, а также балансировки. Механическая обработка внешних поверхностей выполняется на токарных станках.

Во время механической обработки тормозных Inotec-дисков никаких изменений в общем времени производственного цикла выявлено не было. Отсутствовали также различия в характеристиках износа режущего инструмента. Не удалось обнаружить и увеличения разбалансировки. По сравнению с серийно производимой продукцией отношение собственной частоты к шуму не изменилось.

**Проверка на трещины.** Проверка дисков на наличие трещин выполняется в станочной линии методом вихревых токов. В ходе про-

верки никаких дефектов выявлено не было. Исследуемые тормозные диски не имели никаких несплошностей или разрушений.

**Анализ микроструктуры.** Из литых тормозных дисков были взяты и приготовлены пробы (рис. 12). Анализ микроструктуры был сосредоточен на сформированных стержнем зонах сечения вентиляционных каналов. В тормозных дисках, изготовленных с использованием стержня со связкой Inotec, выявлены очевидные различия в формировании графита (модификация А-графита).

Улучшение за счет применения связующей системы Inotec и покрытий, которые наиболее адаптированы к чугунам марки GJL и процессам их кристаллизации, позволило добиться результатов, представленных на рис. 13.

### Выводы

В представленной части кандидатской диссертации показана возможность организовать производство тормозных дисков с использованием стержней на основе связки Inotec.

В ходе серии испытаний выполнены соответствующие адаптации в отношении связующего Inotec и покрытий. Стержень был изготовлен на модернизированной стержневой машине типа hot box, широко применяемой в компании SHW. На стержни со связующим Inotec наносилось специально разработанное покрытие, а затем их использовали в процессе литья в условиях серийного производства. Параметры качества, температуры и скорости заливки серого чугуна были аналогичны тем, которые применялись при серийном производстве. Результаты литья соответствуют уровню серийного произ-

водства. Кроме того, в будущем все большую важность при производстве стержней и литье будут приобретать экологические аспекты.

Значения механических характеристик показали, что свойства тормозных дисков, полученных с использованием стержней с полиуретановым связующим cold box или неорганическим связующим Inotec, не имеют значительных различий. В ходе испытаний (поведение в процессе литья, удаление стержня/производительность очистки, испытание кромок на сжатие, твердость поверхности, рентгеновский контроль, обрабатываемость, анализ микроструктуры), которые были выполнены на SHW частично при прямом сравнении изделий на основе Inotec и стержней на полиуретановой связке cold box, были получены практически одинаковые результаты. Таким образом, было продемонстрировано, что стержни со связующим Inotec можно использовать для производства отливок из чугуна марки GJL и, в частности, для изготовления тормозных дисков. На стенде для испытаний торможением планируется провести сравнительный анализ тормозных дисков, изготовленных с использованием стержней на полиуретановой связке cold box и со связующим Inotec, чтобы проверить их соответствие требованиям реального производства.

*Авторы выражают благодарность компаниям ASK Chemical GmbH и SHW Automotive GmbH за содействие в подготовке бакалавра техн. наук Ш. Сассе, исследования которого легли в основу данной статьи.*

[www.ask-chemicals.com](http://www.ask-chemicals.com)