



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-

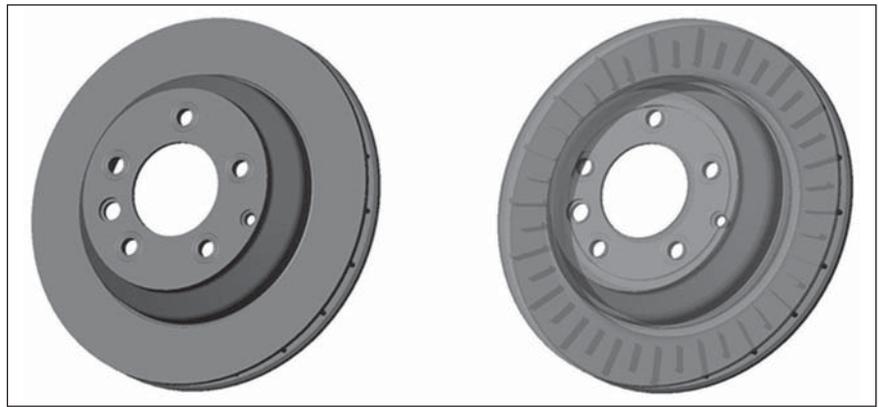


Рисунок 1. Испытательные тормозные диски: сплошное (слева) и прозрачное изображения

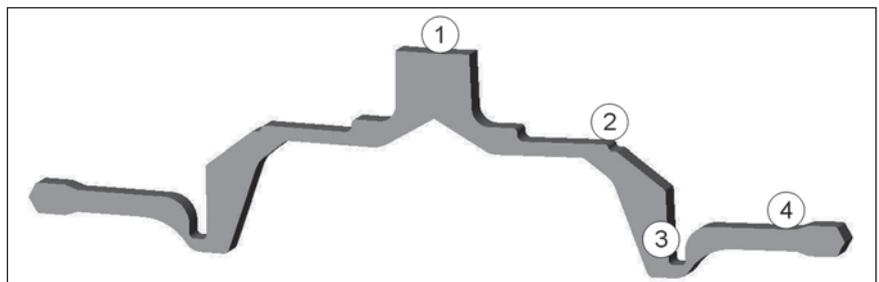


Рисунок 2. Поперечное сечение стержня испытательного тормозного диска: 1 — шейка стержня (для манипулирования при производстве/перемещении); 2 — литейный контур (внутри тормозного диска); 3 — наименьшее поперечное сечение; 4 — вентиляционные каналы с установленным стержнем

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

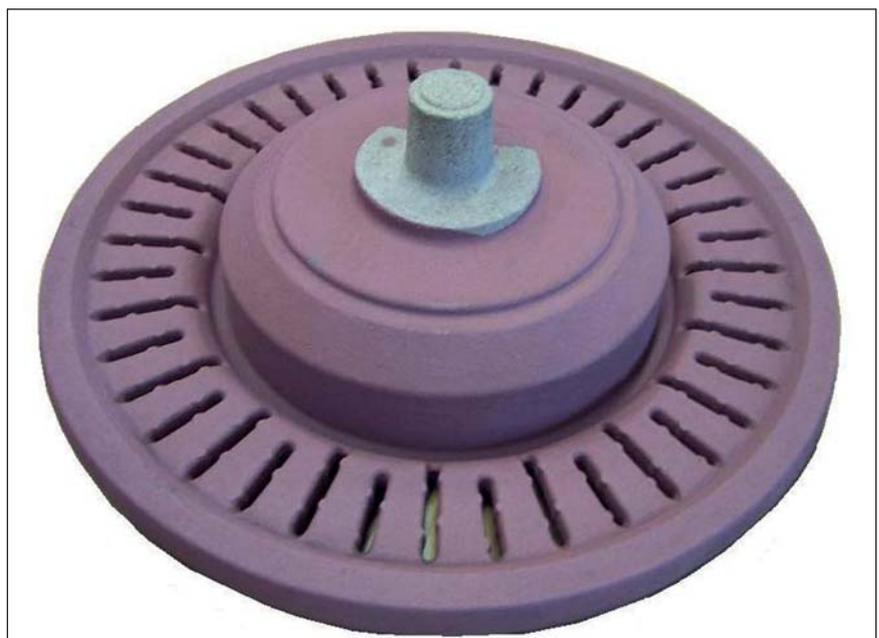


Рисунок 3. Песчаный стержень со связующим Inotec

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.

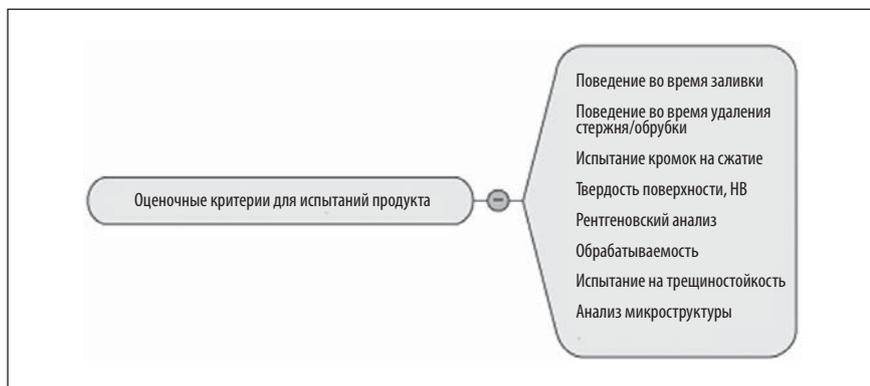


Рисунок 4. Общее тестирование как процедура отдельных испытаний



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

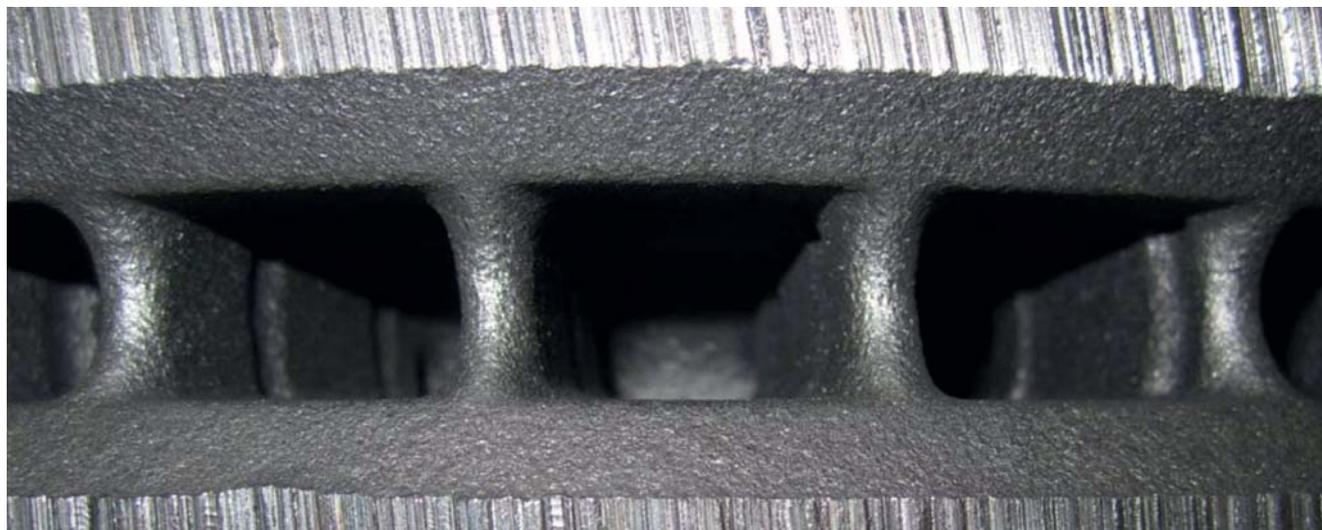


Рисунок 6. Тормозной диск, изготовленный с помощью стержня со связующим Inotec

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, Internet: www.eirich.com

ООО Айрих Машинентехник, ул. Уржумская, 4, строение 2
129343 Москва, Российская Федерация
Телефон: (495) 7716880, факс: (495) 7716879, 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-

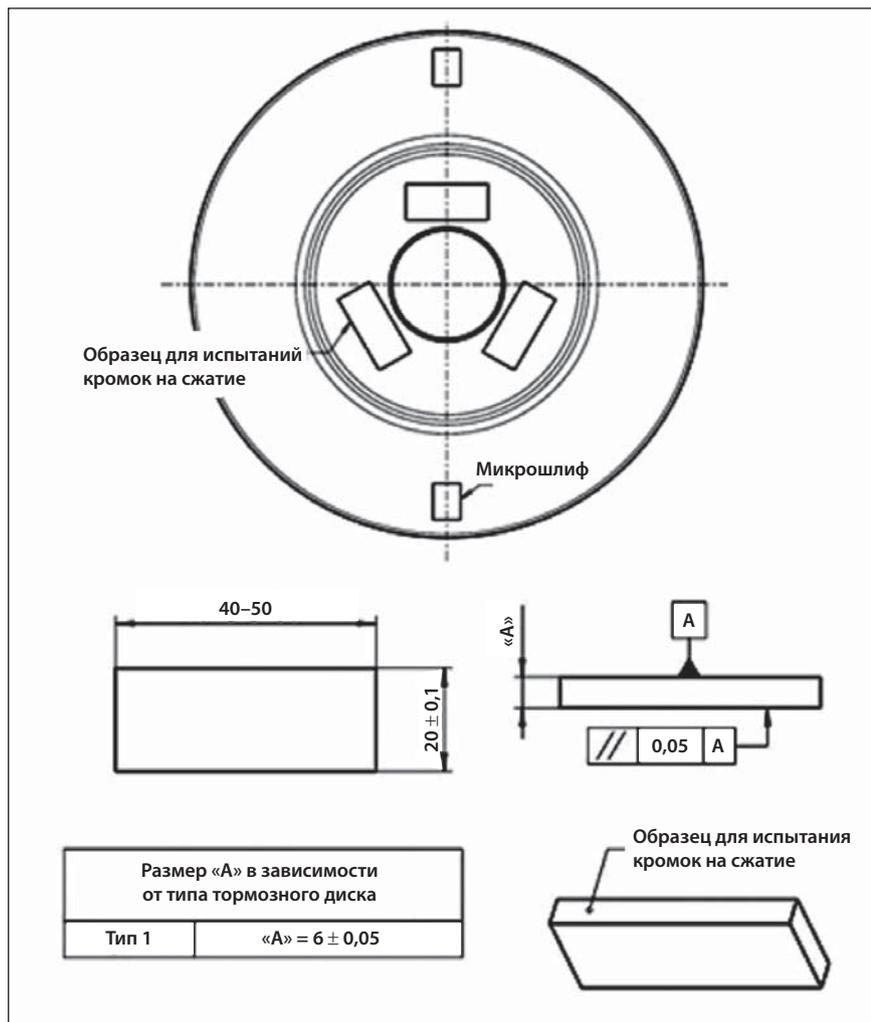


Рисунок 7. Положение отбора образца и его размеры для испытания кромок на сжатие

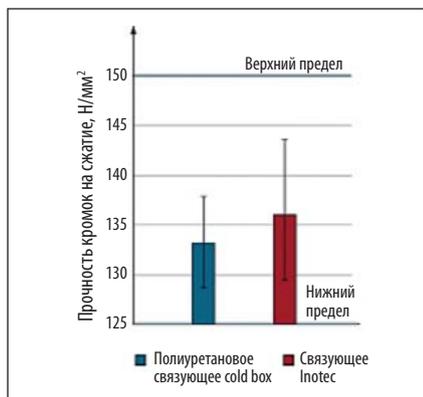


Рисунок 8. Сравнение значений прочности кромок на сжатие образцов отливок, полученных с использованием стержневых связующих cold box или Inotec

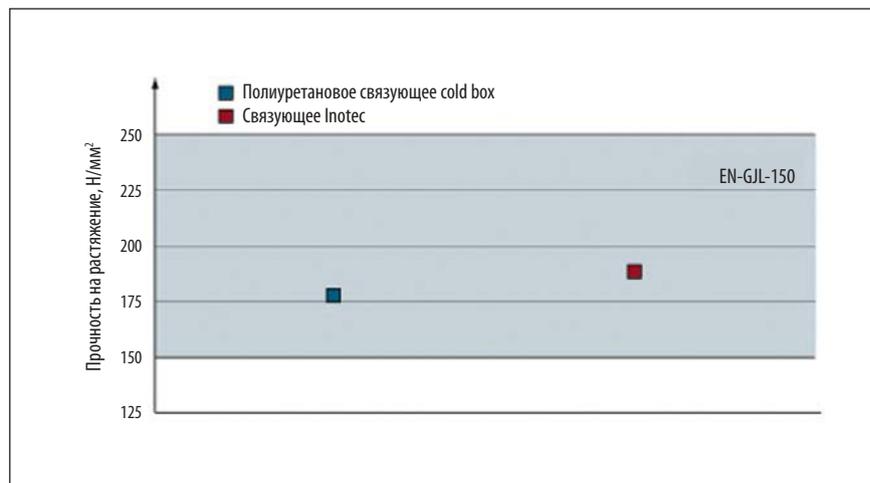


Рисунок 9. Сравнение значений прочности на растяжение литых образцов, полученных с использованием стержневых связующих cold box или Inotec

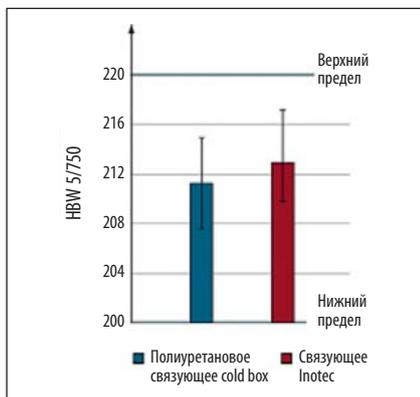


Рисунок 10. Сравнение значений твердости по Бринеллю литых образцов, полученных с использованием стержневых связующих cold box или Inotec

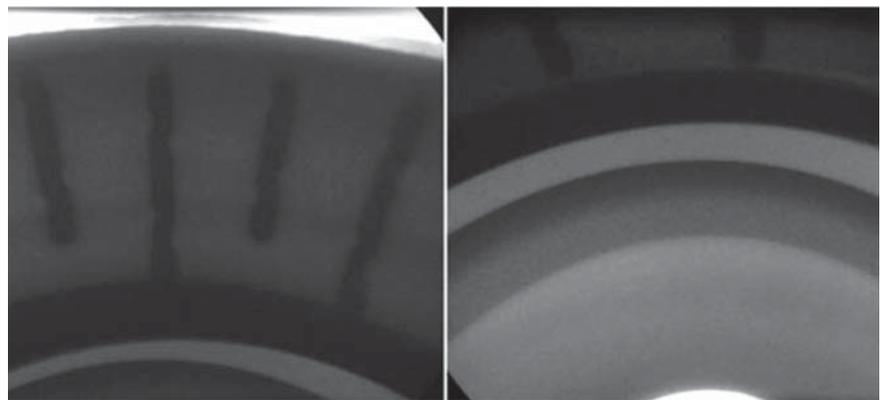


Рисунок 11. Рентгеновское изображение испытательного тормозного диска

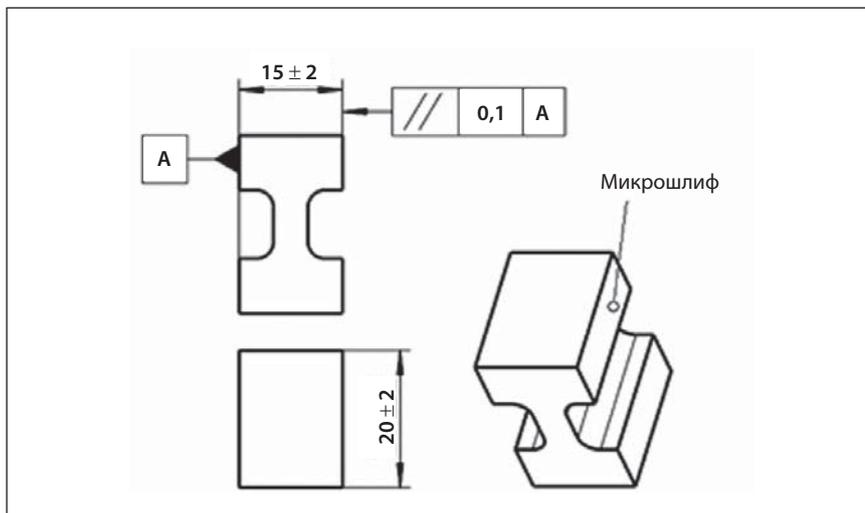


Рисунок 12. Размеры металлографических сечений

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/мм².

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

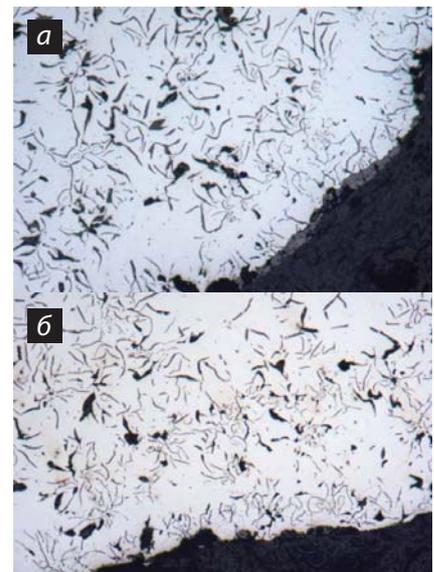


Рисунок 13. Образование графита в испытуемом тормозном диске при переходе к вентиляционному каналу: а — отливка, полученная с использованием стержневых связующих cold box; б — отливка, полученная с использованием стержневых связующих Inotec (обе неперотравленные, $\times 100$)

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