



УДК 621.74:669.13.6

Поступила 26.12.2013

И. О. ЛЕУШИН, Ю. А. ЗИНОВЬЕВ, Д. Г. ЧИСТЯКОВ, Нижегородский государственный технический университет им. Р. Е. Алексеева

УПРОЧНЯЮЩИЕ ФАЗЫ ЧУГУННЫХ ДЕТАЛЕЙ СТЕКЛОФОРМ С ГРАДИЕНТНОЙ СТРУКТУРОЙ ЛИТЬЯ

Рассматривается процесс получения литых заготовок чугуных стеклоформ. Описывается влияние различных структурных компонентов на стойкость формовочных комплектов. Исследуется воздействие упрочняющих фаз на поведение деталей стеклоформ и повышение надежности их эксплуатации.

The process of production of cast blanks of cast-iron glass-molds is considered. Influence of various structural components on firmness of molding sets is described. Impact of hardening phases on behavior of the glass-molds elements and increase of reliability of their operation is investigated.

Введение

Традиционные подходы в совершенствовании комплекса свойств деталей, изготавливаемых из чугунов известных марок, практически исчерпали свои возможности ввиду ограниченного числа управляемых факторов, при помощи которых осуществляется влияние на надежность работы материала. В наибольшей степени установившаяся тенденция обязана многообразием режимов ведения плавки, внепечной обработки расплавов, термической обработки готовых отливок и т. д.

Подобная обстановка сложилась и в процессе поиска путей повышения эксплуатационного ресурса деталей стеклоформ, применяемых для массового выпуска стеклянной тары (бутылки, флаконы, банки и т. п.) и эксплуатируемых в условиях высокоскоростного термоциклирования. В связи с этим в настоящее время в качестве материала для данных деталей наибольшую популярность получил низко- и среднелегированный серый чугун. Имеющиеся на данный момент технологии последующего улучшения литой структуры таких чугунов (графитизирующий отжиг, сфероидизирующий отжиг и т. п.) и повышения прочности рабочих¹ поверхностей деталей (лазерное упрочнение, газопламенное порошковое напыление и т. п.) также достигли предельного уровня технологических возможностей. По этой причине повышение эксплуатационного ресурса формовых комплектов с 0,15–0,2 млн выдерживаемых теплосмен (для се-

рого чугуна) до 0,4–0,55 млн (модифицированный чугун) считается предельно возможным для такого материала. Однако в последнее время в ряде западных стран (Италия, Германия, Болгария, Англия) образовался заметный задел в этой области и иностранные аналоги данной продукции способны выдержать не менее 0,8–1,0 млн термоциклов с одного формокомплекта (по заверениям производителей). В первую очередь это связано с уникальными технологиями изготовления таких деталей – получением особой структуры литья и доведением ее до «конечной» сложными физическими методами воздействия и химической обработкой.

На основании изложенного выше авторы к числу дополнительного потенциала повышения комплекса свойств деталей, изготавливаемых из модифицированных чугунов, относят структурообразование, протекающее в различных частях отливки по разным механизмам кристаллизации, диффузии отдельных элементов и фазовых превращений. Такой принцип формирования структуры в теле отливки способствует получению особого комплекса ее свойств: высокой термоокалиностойкости рабочего слоя, повышенной прочности внутренних слоев и достаточной теплопроводности всей детали в целом. По этой причине важным моментом в создании таких деталей является контроль фазового и химического составов отливок и отслеживание состояния упрочняющих структур, к числу которых относятся перлит, цементит и, например, никелевая фаза, присутствующая на рабочих краях изделия. От их формирования и наличия в про-

¹ Поверхностей, контактирующих с расплавленным стеклом.

цессе роста циклов теплосмен напрямую зависят теплофизические и прочностные свойства детали (теплопроводность, запас вязкости разрушения и пр.).

По мнению авторов, на формирование данных фаз на глубину >5 мм (5 мм – механически удаляемый слой в процессе получения готовой детали) ключевую роль оказывают такие факторы, как:

- легирующий комплекс добавок в расплав чугуна;
- скорость охлаждения отливки;
- технология упрочнения рабочих кромок (как правило, это газовая сварка – нанесение порошковой наплавки).

Различные части формового комплекта изнашиваются по-разному, а повреждаемость рабочих поверхностей зависит от ударной нагрузки (со стороны выдуваемой стекломассы) на конкретный участок и, следовательно, от его прочности, а также от запаса вязкости материала и, следовательно, от его релаксирующей способности.

Экспериментальные исследования

В работах [1,2] установлено, что материал деталей стеклоформ должен обладать большим запасом вязкости (трещиностойкостью) металлической матрицы чугуна, высокой степенью защищенности графитовой фазы от абразивного и ударного воздействий со стороны расплавленного стекла, ми-

нимальной склонностью чугуна к формированию внутренних напряжений и достаточной прочностью для сдерживания процесса коробления формового комплекта под действием циклических воздействий высоких температур. По этой причине наиболее оптимальным вариантом формирования готовой детали является ее изготовление посредством послойного расположения графитовых включений (оказывающих основное влияние на теплофизические и прочностные показатели детали), когда внутренний слой содержит графит шаровидной формы, промежуточный – вермикулярной, а наружный – пластинчатой формы. Однако процесс обеспечения такого послойного расположения высокоуглеродистой фазы позволяет в зависимости от технологии изготовления создавать чугун как с ферритной, так и с перлитной металлической основой. Противоречивость информации о перспективности использования в качестве материала для деталей, работающих при термоциклических нагрузках, перлитного или ферритного чугунов, во многом связана как с технологической сложностью получения ферритного чугуна (>Ф55 по ГОСТ РФ 3443) с «литейного нагрева», так и с возможностью получения перлитного чугуна различной дисперсности и с разным состоянием структурного цементита вторичного (зер-

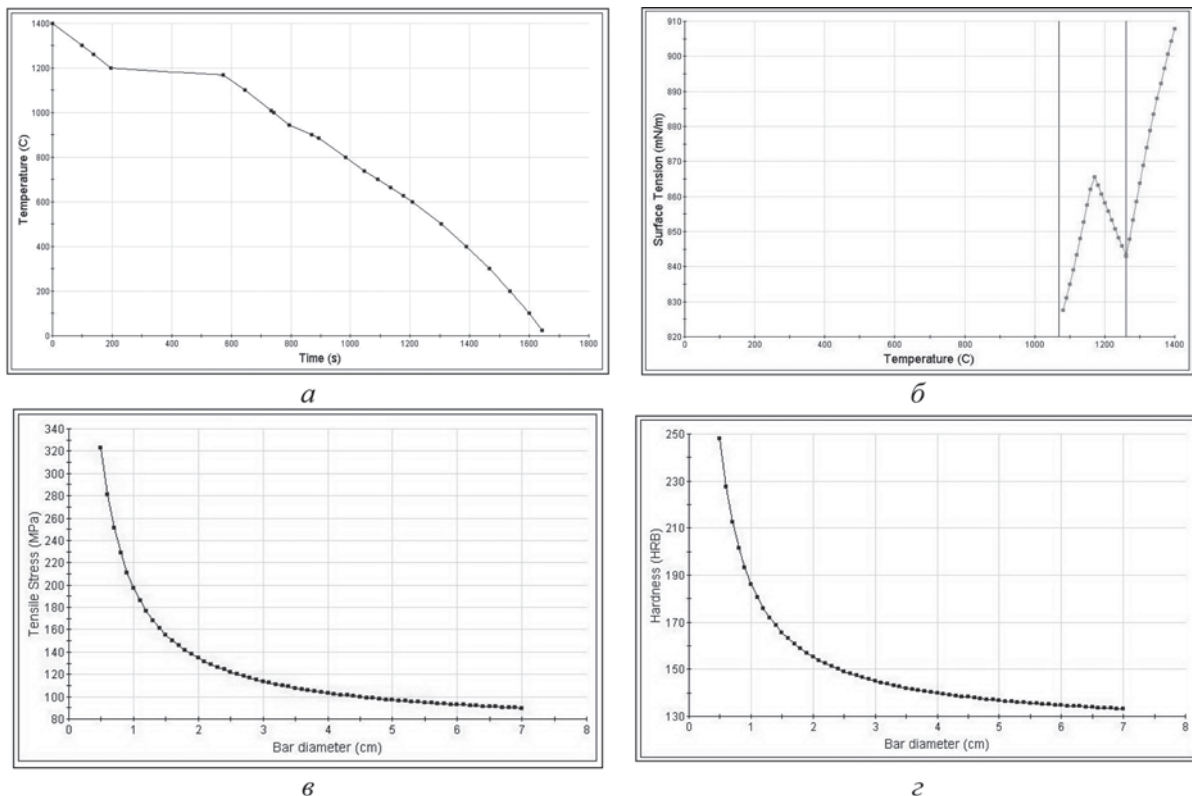


Рис. 1. Свойства отливки, рассчитанные методом CALPHAD: а – кривая охлаждения; б – поверхностная прочность; в – прочность на растяжение по сечению отливки; г – твердость по сечению отливки

нистая форма или пластинчатая) в зависимости от условий затвердевания [3,4].

В связи с изложенным выше авторы в производственных условиях изготовили ферритный и перлитный чугуны для деталей стеклоформ и провели его исследование.

На рис. 1 представлены прогнозируемые свойства отливок стеклоформ следующего состава: С – 3,45%; Si – 4,45; Mn – 0,4; Cr – 0,1; Al – 0,1; Mg – 0,05; S – 0,01; P – 0,1%, полученные методом расчета фазовых диаграмм CALPHAD, основанном на равновесных термодинамических свойствах системы, которые слагаются из свойств, составляющих систему фаз при данном химическом составе расплава чугуна (данные получены на основании расчетного алгоритма, выполненного программой JMatPro).

Перлитизация металлической основы чугуна

Формирование перлита различной дисперсной структуры осуществляли варьированием скоростным режимом охлаждения отливок и образованием в этих условиях цементитных зерен различной формы и размеров при помощи металлических холодильников разной массы. На этом основании подбирали такой химический состав чугуна, который обеспечил бы минимальную склонность чугу-

на к образованию карбидов в отливке в граничном слое с металлическим холодильником и зарождение перлитной структуры высокой пластичности при минимальном размере зерен металлической матрицы чугуна на глубину 10–15 мм.

Экспериментальные работы проводили на отливках стеклоформ массой 25–30 кг, отливаемых на холодильники массой 4,1–20,5 кг (предварительно изготовленные из серого чугуна СЧ20). Все чугуны перед разливкой в формы проходили стадии сфероидизирующего и графитизирующего модифицирования. В качестве модификаторов применяли ФСМг7, ФСМг5 и ФС45, ФС75. В результате были получены литые заготовки, структура которых показана на рис. 2.

Варьирование навесками модификаторов позволило авторам получить чугун с градиентным расположением высокоуглеродистой фазы, связанное в первую очередь с проявлением текстурированного строения отливки: мелкие включения графита шаровидной формы получены только в слое отливки, контактирующем с металлическим холодильником (на глубину ~10 мм), крупные включения вермикулярного графита – в промежуточном слое (10–50 мм) и пластинчатого – в наружном слое, контактирующем при затвердевании с песчаной формой.

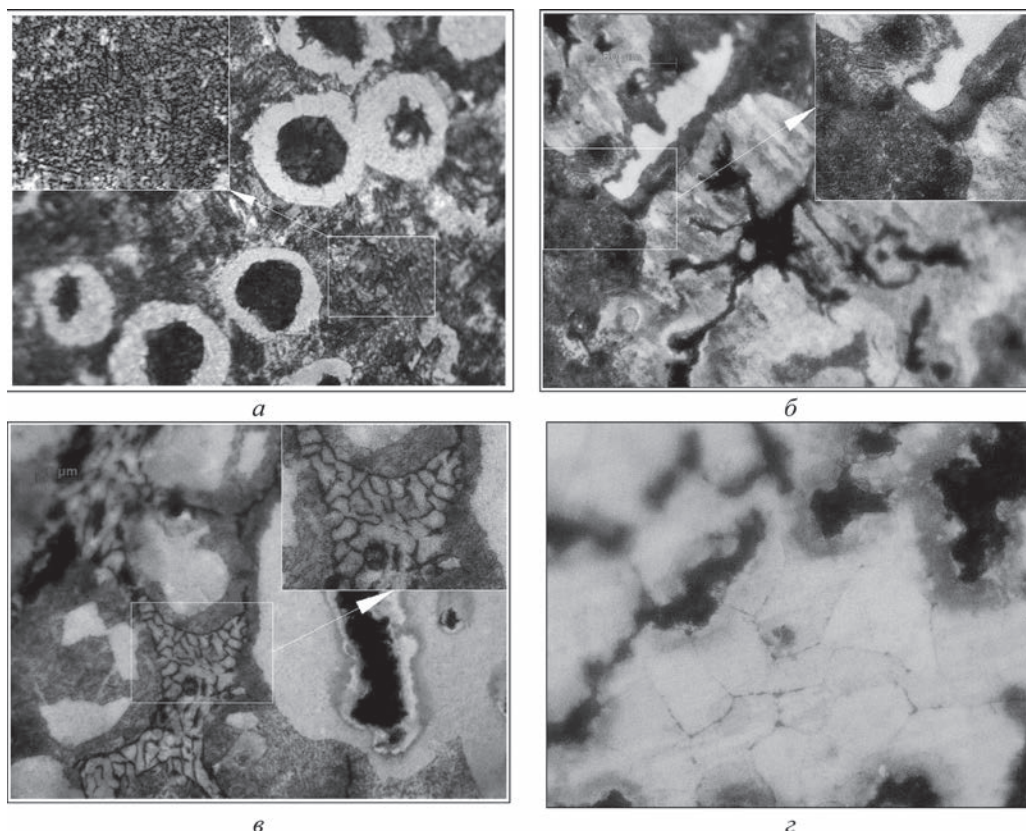


Рис. 2. Структура чугунов с мелкозернистой (а), пластинчатой (б) формами, переходным состоянием (в) перлита и ферритом (з), полученных в отливках на глубине 10–20 мм от металлического холодильника. ×500 (травлено ниталом)

Зернистый перлит образовывался во всех отливках, контактирующих с холодильниками массы 4,1–9,3 кг и прошедших процедуру технического самоотжига² с литейного нагрева, что связано с более «мягким» режимом охлаждения отливок и более «плавным» протеканием процесса роста цементитных зерен из аустенит-ферритного раствора данного химического состава в процессе затвердевания заготовок (рис. 2, а). Это связано с тем, что на определенном расстоянии скорость охлаждения чугуна снижается до такой величины, что температура и время становятся достаточными для протекания процесса диффузии углерода в аустените с образованием округлых зерен цементита и получением именно зернистого перлита. Авторы не исключают и роли применяемых глобуляризирующих и графитизирующих модификаторов (их структуры и размеров кусков, вводимых в расплав). Однако во всех последующих экспериментах в отливках, отливаемых на холодильники массой более 9,3 кг, образовывался перлит пластинчатой формы различной дисперсности (рис. 2, б), причем в отливках, отливаемых на холодильники массой более 16 кг, присутствовал дополнительно перлит переходной формы, состоящий (при увеличении 800) из крупных пластинчатых цементитных зерен (рис. 2, в). Формирование перлита различной дисперсности и формы объясняется тем, что на участках, где аустенит контактирует с плоской поверхностью диффундирующего углерода, приток этого углерода обеспечивает пересыщение аустенита и на таком участке выделяется карбид, который наслаивается на имеющийся, а вытянутые включения вторичных карбидов превращаются в равноосные, т. е. они сфероидизируются [5].

При этом во всех отливках, отливаемых на холодильники массой 4,1–9,3 кг, на глубине более

² Остывание отливок стеклоформ в песчано-глинистой форме после удаления металлических холодильников в течение не менее 60 мин с момента окончания заливки.

10–15 мм была получена ферритная металлическая основа ($\Phi > 55$ по ГОСТ РФ 3443, рис. 2, з), что свидетельствует о полном протекании процесса первичной графитизации и ферритизации чугуна данного химического состава (структура чугунов исследовалась на металлографическом цифровом комплексе «Altami METЗМТ»).

На основании экспериментов авторами установлено, что зернистая форма перлита наиболее предпочтительна для деталей стеклоформ ввиду большей (по сравнению с пластинчатой) пластичности и твердости, достаточной для сдерживания ударных нагрузок со стороны расплавленного стекла. Твердость чугуна с зернистым перлитом в рабочем слое составила 160–175НВ (использовался твердомер Wilson Instruments Rockwell® 574), с пластинчатым и аномальным – 220–350НВ (в зависимости от зоны исследования).

Упрочнение рабочих кромок деталей

Одним из условий получения готовой детали стеклоформы на современном этапе является ее упрочнение. На отечественном рынке применяется ограниченный ряд известных на данный момент методов, а именно: химико-термическая обработка (борирование), лазерная закалка, вакуумное ионно-плазменное напыление нитрида титана, упрочнение с нанесением алмазоподобного нанопокрyтия, газовая сварка [6,7]. Общая схема разрушения деталей представлена в панорамном режиме на рис. 3.

При этом наиболее популярным способом упрочнения деталей стеклоформ является газоплазменное напыление никелевого порошка, что связано с наименьшей (по сравнению с вышеописанными) себестоимостью его проведения. Еще одно преимущество данного метода – защищенность от образования на рабочих частях детали вюститной фазы. Однако существует и ряд серьезных недостатков, не позволяющих расширить спектр решаемых задач данным способом: высокая пористость никелевой наплавки, достигающая 8–9%, а также

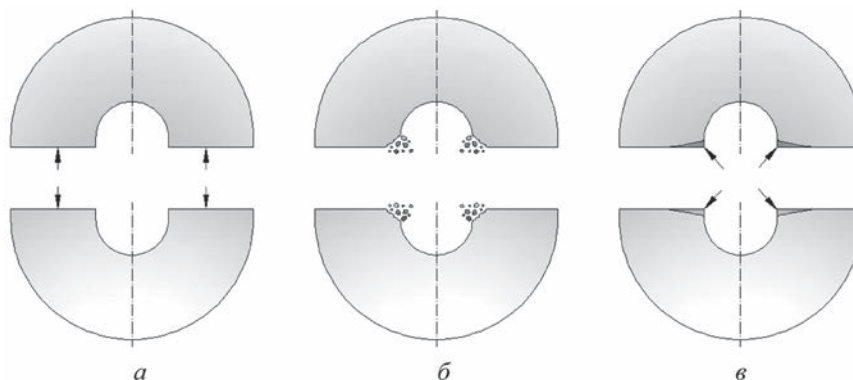


Рис. 3. Панорама разрушения и упрочнения рабочих кромок деталей: а – режим «открытия-закрытия стеклоформы»; б – типичные места разрушений; в – упрочнение потенциальных узлов разрушения

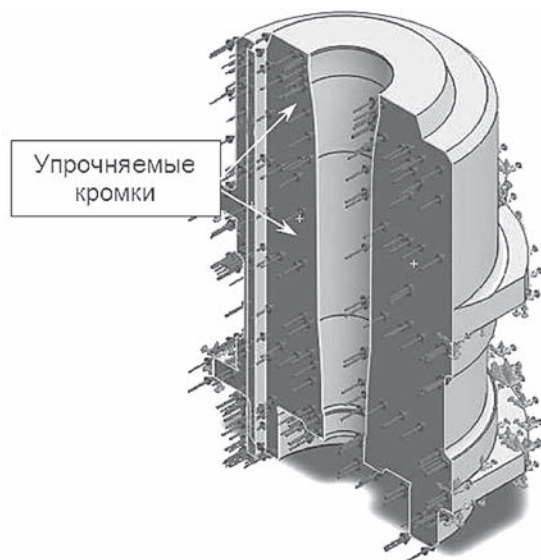


Рис. 4. Схема ударной нагрузки на кромки деталей стеклоформ, применяемых на стеклоавтомате ВВ-7

резкое понижение защиты детали от коррозии при нарушении сплошности никелевого слоя [8].

На рис. 4 показаны схема ударных нагрузок и преждевременно разрушающиеся узлы формового комплекта.

Существующая тенденция к упрочнению рабочих кромок деталей связана прежде всего с низкой прочностью материала в узлах концентрации напряжений, задаваемых циклическими ударными нагрузками. Решить данную проблему становится возможным, если получать в рабочем слое графитовые включения правильной шаровидной формы минимального размера.

Благодаря такому подходу возможно исключение из технологического процесса операции нанесения никелевого покрытия на детали стеклоформы. Все это дает положительный эффект не только за счет экономии трудовых, энергетических и материальных ресурсов на осуществление данной операции, но и вследствие сокращения продолжительности получения готового изделия.

Таким образом, прочность деталей стеклоформ будет определяться суммой свойств, задаваемых различными структурными компонентами чугуна

(зернистость перлита, количественное соотношение фаз, доля цементита и цементита ледебурита и т. д.) и фазами внедрения в граничный слой упрочняющих элементов (никель, бор и т. д.). При этом получение литых заготовок с градиентной структурой литья значительно упрочняет формокомплект при сохранении требуемых теплофизических характеристик изделия.

Выводы

Процесс изготовления отливок стеклоформ с заданным структурным соответствием (например, градиентная структура литья – текстурированный³ графит в феррит-перлитной металлической матрице) оказывает большое влияние на эксплуатационную стойкость будущих деталей. Формирование зернистого перлита, являющегося наиболее предпочтительным для деталей данного типа, в виду его меньшей твердости, большей пластичности, хорошей механической обрабатываемости, низкой диффузионной активности при термоциклировании металлической формы обеспечивает бесперебойную эксплуатацию деталей на линии до 0,8–1,0 млн теплосмен. При этом авторы считают, что следует различать долговечность детали, т. е. ее полную стойкость до момента разрушения, не подлежащего ремонту, и промежуточную стойкость (формирование задиров стекломассы, риск, царапин, заусенцев, дефектов типа «апельсиновая корка» и т. д., оказывающих существенное влияние на качество получаемых стеклоизделий), т. е. стойкость между двумя перешлифовками (переполеровками) и заварками. В связи с этим большое значение имеет количество допустимых ремонтов формовых блоков, которое сказывается на дополнительных затратах предприятий, в первую очередь стеклотарных заводов, осуществляющих «обновление» формовых комплектов в собственных условиях, либо оплачивающих отгрузку, перешлифовку и транспортировку ремонтнопригодных деталей поставщикам.

³ Наиболее предпочтительные величина, расположение и формы графитовых включений по сечению заготовки.

Литература

1. Леушин, И. О. Влияние структурообразования и фазового состава чугуновых отливок стеклоформ на эксплуатационные свойства готовых изделий / И. О. Леушин, Д. Г. Чистяков // Изв. вузов. Черная металлургия. 2013. № 5. С. 19–23.
2. Леушин, И. О. Об эксплуатационной стойкости литых деталей чугуновых стеклоформ / И. О. Леушин, Д. Г. Чистяков, В. Н. Дубинский, Р. А. Воробьев // Литейное производство. 2013. № 9. С. 2–5.
3. Захарченко, Э. В. Термостойкость отливок из высокопрочного чугуна / Э. В. Захарченко, В. Н. Семененко, А. А. Жуков // Литейное производство. 1992. № 1. С. 16–17.
4. Жуков, А. А. Высокопрочные чугуны и литые стали с мелкодисперсным графитом / А. А. Жуков // Литейное производство. 1996. № 10. С. 11–13.
5. Бунин, К. П. Металлография железоуглеродистых сплавов / К. П. Бунин, В. И. Мовчан, В. И. Шаповалов. Днепропетровск: ДМетИ, 1974.

6. Т о п о л я н с к и й, П. А. Увеличение срока службы формокомплектов в условиях стеклотарных заводов // Стеклопакет. 2009. № 3. С. 14–18.

7. M a n n s P. Glass in contact with mould materials for container production / P. Manns, W. Doll, G. Kleer // Glass science and technology. 1995. Vol. 86. P. 389–399.

8. П а н и н, С. В. Проблемы разрушения поверхностно упрочненных материалов с различной геометрией границы раздела «покрытие-основа» / С. В. Панин, С. К. Юсиф, Б. Б. Овечкин и др. // Изв. ТПУ. 2011. № 2. С. 50–57.

X Международная конференция

Современные технологии литья и металлургии, охрана окружающей среды

Энергосберегающие и ресурсосберегающие технологии

Краков–Липово, 4–6 сентября 2014 года

Организаторы

Факультет литья Краковской горно-металлургической Академии (КГМА), Польша
Региональное отделение Польской Ассоциации литейщиков (ПАЛ), г. Краков

Круг рассматриваемых вопросов

- О комплексном предотвращении и контроле загрязнений (КПКЗ) – лучшие применяемые технологии.
- Новые технологии литья и металлургии, не загрязняющие окружающую среду (материалы, технологии плавки, технологии производства литейных форм и стержней).
- Теория и практика регенерации песка, современные системы и оборудование для регенерации.
- Методы испытаний и критерии оценки влияния на окружающую среду литейных и металлургических процессов.
- Безопасность литейных и металлургических производств.

Общая информация

Тел (+48 12) 617 27 56 (М. ХОЛТЦЕР)

Тел. (+48 12) 617 27 51 (Е. ЖИХ)

Тел./Факс (+48 12) 617 27 72 (Э. ПУДИК) (Секретариат)

holtzer@agh.edu.pl; izych@agh.edu.pl; epudek@agh.edu.pl