

## **РАЗВИТИЕ ПРЕДСТАВЛЕНИЙ О СТРУКТУРООБРАЗОВАНИИ ВЫСОКОПРОЧНЫХ ЧУГУНОВ**

**Покровский А.И.**

Физико-технический институт НАН Беларуси,  
г. Минск, Республика Беларусь

Проанализированы существующие в мире научные школы исследователей процессов структурообразования высокопрочного чугуна и представлены лидеры каждого из направлений. Обобщены результаты разработок высокопрочных чугунов в ФТИ НАН Беларуси (работы Горева К.В., Шевчука Л.А., Дудецкой Л.Р.).

Выполнен анализ теорий зарождения сферических графитных включений при литье и их внутреннего строения. Экспериментально уточнены и дополнены абсорбционная теория и теория зарождения графита на микровключениях оксидов, сульфидов, оксисульфидов, нитридов, карбонитридов. С помощью новейших методик подтверждено секторальное строение включения графита и радиальный рост наслаивающихся друг на друга пластин. С помощью микрорентгеноспектрального анализа экспериментально установлены аномалии в распределении концентраций по сечению графитного включения следующих химических элементов: углерод, магний, кремний, сера, кислород. Доказана возможность нахождения внутри включения графита участков кремнистого феррита.

Представлен обзор текущего состояния производства чугуновых отливок в мире и в Беларуси. Проанализированы происходящие изменения в структуре марочных составов чугуна в пользу высококачественных и высокопрочных сортов. Повышенная прочность, пластичность и улучшенное качество этих типов чугунов обусловлена аусферритной микроструктурой металлической матрицы и наличием включений шаровидного графита.

Представлены результаты 2D и 3D-моделирования процессов пластической деформации высокопрочного чугуна. Выполнены расчеты с помощью программы ANSYS (лицензия ИММС) напряженно-деформированного состояния графитных включений и структурных составляющих металлической матрицы при сжатии и выдавливании (как в мезофрагменте, так и при формообразовании конкретных деталей). Выполнены расчеты напряжений на межфазных границах (графит – аустенитная металлическая матрица), позволившие спрогнозировать зоны возникновения трещин, направления их распространения, характер разрушения, выдвинуть гипотезу о пластической деформации хрупких графитных включений, а также обосновать оптимальные силовые режимы деформации.

Представлены результаты экспериментальных исследований поведения чугуна при горячей пластической деформации, в частности трансформация структуры, изменение физических характеристик. Выдвинута и экспериментально подтверждена гипотеза о том, что графитные включения в

структуре чугуна в процессе горячей обработки давлением претерпевают пластическую деформацию без разрушения.

Представлены результаты комплексных исследований механических и эксплуатационных характеристик чугунов после деформации, их анизотропии, позволившие выявить максимальные показатели и наиболее оптимальные режимы обработки.

По результатам исследований разработана и защищена патентами группа химических составов деформируемых половинчатых чугунов с повышенной пластичностью в горячем состоянии, отличающихся микродобавками бора, циркония.

Доказаны высокая конкурентоспособность отливок из высокопрочных чугунов по сравнению с изделиями, изготовленными из проката легированных сталей. Приведены примеры успешной замены чугуном ответственных изделий по критериям: качество – свойства – цена (детали железнодорожной подвески, крупных шестерен главной передачи грузовых автомобилей, почвообрабатывающего инструмента и др.). Показано, что в ряде отраслей машиностроения (железнодорожный транспорт, тяжелое автомобилестроение) замена стали на чугун приняла массовый характер.

Разработаны и опробованы научно обоснованные экспериментальные технологии прокатки, штамповки, выдавливания различных изделий из чугуна, конструкции деформирующей штамповой и прокатной оснастки, которые защищены патентами. Показана наибольшая эффективность для чугуна процесса горячего выдавливания. Предложена концепция формирования структур, градиентных по сечению чугунных изделий, получаемых за счет воздействия градиента пластической деформации при выдавливании и последующей термической обработки. Для деталей типа втулок разработаны и защищены патентами технологии получения заготовок уплотнительных и поршневых колец, втулок трансмиссии автомобилей.

Предложена концепция создания экономно-легированных аусферритных чугунов с пониженным содержанием основной «триады» дорогих легирующих: молибдена, никеля и меди. В частности, защищены патентами группа безникелевых и безмолибденовых аусферритных чугунов.

Изготовлены опытные партии деталей из деформированного чугуна: втулки педалей оси сцепления и тормоза пассажирского автобуса, которые успешно прошли эксплуатационные испытания (более 300 тыс. км).

Представлены результаты работ по гармонизации и создан проект (первая редакция) белорусского аналога СТБ международного стандарта ISO 17804:2005 Founding - Ausferritic spheroidal graphite cast irons - Classification (Отливки. Аусферритный чугун с шаровидным графитом. Классификация).