

УДК 669.13.018

ВЫСОКОПРОЧНЫЙ ЧУГУН ВЧТГ: ИЗУЧЕНИЕ МЕТОДОМ АТОМНО-СИЛОВОЙ МИКРОСКОПИИ

П.С. Дробышевский¹, С.А. Тюрин¹, Д.С. Чумак¹, А.И. Комаров²,
В.И. Комарова²

¹ОАО «Гомсельмаш», г. Гомель, Республика Беларусь;

²ОИМ НАНБ, г. Минск, Республика Беларусь

К настоящему времени разработаны высокопрочные чугуны с шаровидным и вермикулярным графитом, прочность которых превышает 1000 МПа, что делает их по прочностным свойствам сопоставимыми с легированными сталями. Между тем, по целому ряду параметров (меньшая стоимость, повышенные, по сравнению со сталью, литейные и технологические свойства; хорошие антифрикционные свойства; способность быстро гасить вибрации и резонансные колебания; меньший, чем у стали, удельный вес и др.) чугун обнаруживает более высокие свойства, чем сталь. В связи с этим высокопрочные чугуны (ВЧ) в настоящее время имеют тенденцию к расширению объемов производства.

В ОАО «Гомсельмаш» при производстве современных высокопроизводительных самоходных комбайнов для сельского хозяйства уже несколько лет успешно применяется такой материал – новый высокопрочный чугун с шаровидным графитом и высокими сопротивлением усталости собственной разработки (марки ВЧТГ). На разработанный чугун получен патент РБ № 15617, а также разработан и введен в действие государственный стандарт РБ СТБ 2544-2019.

ВЧ с шаровидным графитом обладает одновременно высокими прочностью, вязкостью и износостойкостью при наличии бейнитной структуры в металлической матрице. Такое строение ВЧ достигается изотермической закалкой. На степень превращения аустенита в бейнит влияет температура изотермического распада и наличие легирующих элементов. Таким образом, есть возможность управлять механическими свойствами ВЧ за счет использования рациональных режимов термообработки (ТО) путем изменения тонкой структуры матрицы ВЧ. К параметрам тонкой структуры, чувствительным к изменению состояния материала, относятся величина микроискажений кристаллической решетки и размер субзерна.

В работе проведено исследование субструктуры высокопрочного чугуна ВЧТГ методом атомно-силовой микроскопии (АСМ) с дополнительным использованием сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) и рентгенофазового анализа (РФА). Объектом исследования являлись образцы чугуна ВЧТГ, в исходном состоянии и прошедшие изотермическую закалку от 880...900 °С до температур изотермической выдержки в течение

часа для всех образцов в диапазоне от 250 до 360 °С. Исследования проводили на 6 образцах: без ТО и с ТО после температур изотермической выдержки 250, 270, 300, 330 и 360 °С. Методами РФА, СЭМ с микрорентгеноспектральным анализом (МРСА) и АСМ исследовали микроструктуру ВЧТГ в исходном состоянии и после изотермической выдержки.

В исходном образце ВЧТГ (без ТО) установлена упорядоченная слоистая многоуровневая структура феррита. Феррит кристаллизован в виде ступеней шириной 400...600 нм и высотой около 100 нм. В свою очередь, поверхность ступеней состоит из полос шириной 30 нм и высотой между полосами 3...10 нм. Такое наноразмерное упорядоченное строение феррита исходного ВЧТГ определяет эффективность последующей термической обработки с аустенитно-бейнитным превращением.

Исследованием образцов ВЧТГ после ТО методом АСМ выявлен размер субзерна бейнита, который составил 100...300 нм. Установлена прямая связь морфологии тонкой субзеренной структуры ВЧТГ после каждой температуры изотермической выдержки в диапазоне от 250 до 360 °С с величиной микроискажений кристаллической решетки. Важным параметром тонкой структуры ВЧТГ является наноразмерная глубина границ между субзернами. От соотношения этой глубины и диаметра субзерна зависит способность образца деформироваться при нагрузке путем сдвига между субзернами без образования микротрещин, что может служить мерой оценки возможности сдвиговых деформаций в материале без его разрушения. Наилучшими показателями обладает образец ВЧТГ после $T_{\text{из.выд.}}=300$ °С (рис. 1): при размере субзерен 200 нм глубина границ между ними всего 5...10 нм. Уровень микроискажений кристаллической решетки, установленный РФА для образца после $T_{\text{из.выд.}}=300$ °С, составляет $1,1 \cdot 10^{-4}$ и является наименьшим для примененных температур изотермической выдержки (ниже остальных в 3...10 раз).

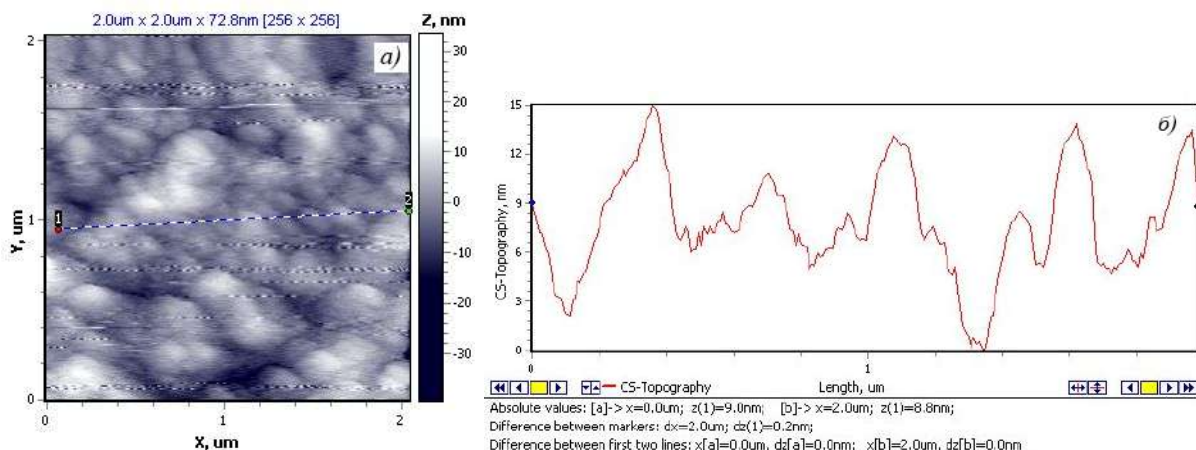


Рис. 1. Особенность АСМ-субструктуры бейнита ВЧТГ после $T_{\text{из.выд.}}=300$ °С, поле 2x2 мкм, отношение глубины границы к размеру субзерна 2,5...5 % (а); профиль поперечного сечения поверхности (б)