

ВЛИЯНИЕ ГОРЯЧЕЙ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ ВЫСОКОПРОЧНОГО ЧУГУНА

Хроль И.Н.

Физико-технический институт НАН Беларуси, г. Минск, Республика Беларусь,
igor_aspirant_fmm@mail.ru

Чугун обладает гетерогенной структурой и является композитным материалом, механические и эксплуатационные свойства которого зависят от характеристик металлической основы (прочность, пластичность, твердость и др.), а также формы, размеров, количества и распределения включений графита (упругость, пластичность). При этом решающее значение в ряде случаев имеют либо включения графита, либо металлическая основа.

Воздействие горячей пластической деформации оказывает влияние на структурообразование, приводя к измельчению зерен, образованию текстур.

Для исследований в качестве исходного материала использовали высокопрочный чугун марки ВЧ 50 (ГОСТ 7293–85), следующего химического состава: С 3,2–3,6 %; Si 1,7–2,1%; Mn 0,5–0,7%; Ni 0,4–0,6%; Mg 0,04–0,06%, Р до 0,08%, S до 0,01%.

Степень деформации изменяли от 20 до 80% посредством изменения диаметра исходной заготовки таким образом, чтобы вся номенклатура получаемых деформацией прутков была одинакового диаметра (12,5 мм).

Металлографические исследования проводили с помощью рентгеноспектрального микроанализа (микроскоп SEM 515) на поверхности изломов образцов из деформированного высокопрочного чугуна после испытаний на растяжение и ударную вязкость.

Исследование снимков полученных на растровом микроскопе SEM 515 исходных (литых) образцов (рис. 1, а) показали, что поверхность излома неоднородная рельефная. Излом можно характеризовать по большей части как хрупкий, на котором присутствуют характерные –«листьеобразные» (напоминающие лист с прожилками) перлитные участки. На плоскости излома имеется большое количество углублений с включениями графита. Необходимо отметить, что при разрушении включения графита либо остается в металлической матрице, либо вырывается из нее. Отсутствуют видимые следы разрушений самих включений графита. На рисунке 1, б показано, что включение графита находится в зоне излома, характеризуемой большей пластичностью (ферритная оторочка вокруг включения графита).



Во время деформирования и последующего охлаждения в структуре происходят по меньшей мере два процесса: наклеп при деформации и фазовые превращения на границе раздела.

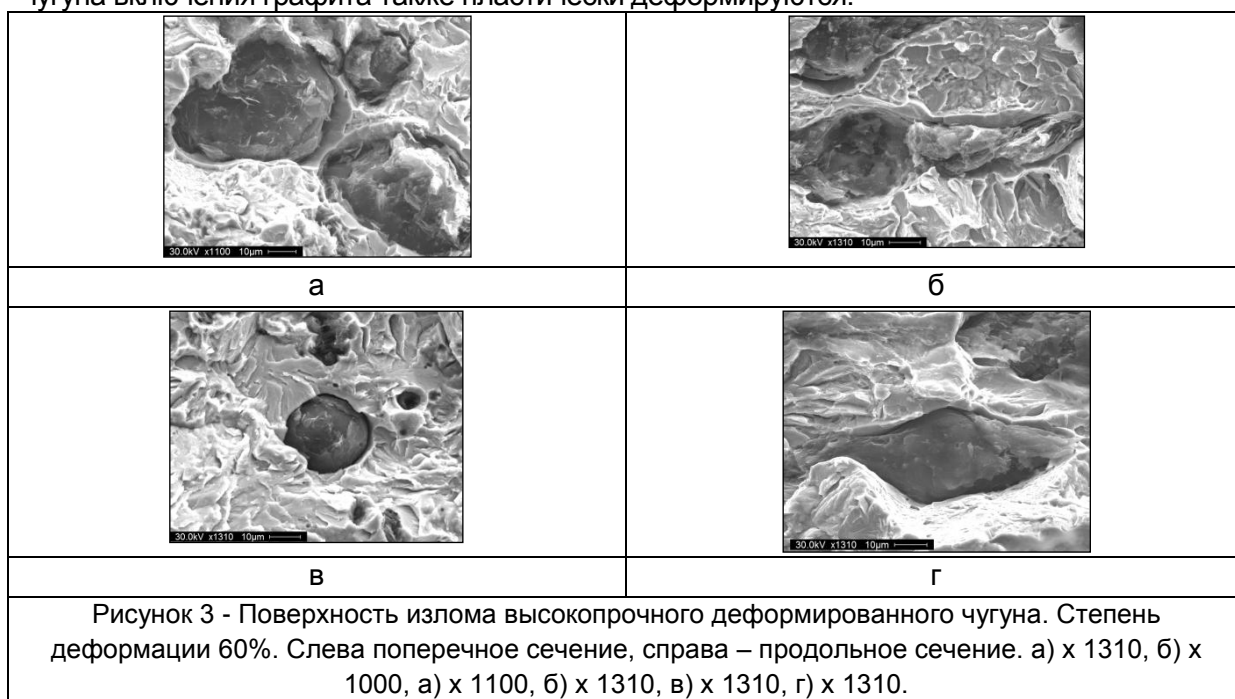
При исследовании продольного сечения изломов образцов со степенью деформации 20% (рисунок 2 б) четко видно, что само включение графита не изменяет своей формы (остается шаровидным), а ферритная оторочка приобретает форму эллипса. Характер излома металлической матрицы у деформированных образцов такой же, как и у

исходного (литого). На рисунке 2 а, б видно, что при разломе образцов включения графита либо остаются в металлической матрице, либо вырываются из нее. Следы пластической деформации выражаются в образовании кратеров и ямок различной величины и формировании складок по краям кратеров.



Ферритная оболочка (рисунок 2) имеет неравномерную поверхность в месте соприкосновения с включением графита. Исходя из того, что перлитная матрица более прочная составляющая, по сравнению с ферритной оторочкой и включениями графита, то деформироваться будут именно они. В тоже время необходимо отметить, что приложение нагрузки приводит к образованию пустот вокруг включений графита (рисунок 2 б), что объясняется незначительной величиной степени деформации (20%), вследствие чего возникающие напряжения релаксируются в мягкой ферритной оболочке. В процессе горячей пластической деформации ($\epsilon=20\%$) при температуре 900-1000°C включения графита имеет большую прочность, чем ферритная оторочка.

Образцы со степенью деформации 60% в продольном сечении (рисунок 3, б, г) имеют более вытянутую форму включений графита (эллипсообразное ядро от которого отходят своеобразные усы). Важно отметить, что при такой степени деформации включения графита сохраняют целостность и не имеют видимых трещин. Исходя из этого, можно утверждать, что в процессе горячей пластической деформации высокопрочного чугуна включения графита также пластически деформируются.



При изломе образцов с высокими степенями деформации меняется характер разрушения, т.е. элпсовидное ядро (включение графита) может отрываться от усов (рисунок 3 б), а металлическая матрица имеет меньшие диаметры кратеров и ямок. В

верхней части рисунка 3 б видна тонкая ферритная оторочка, которая плавно огибает включение графита. По равномерному излому можно определить пластический характер излома. Излом же перлитной матрицы остался хрупким, однако размеры фасеток немного уменьшились.

В поперечном сечении включение графита имеет шарообразную форму и отсутствуют следы вытянутости. Это можно объяснить тем, что основное ядро графита отрывается от усов (рисунок 3 а).

В деформированном состоянии ($\epsilon=80\%$) поверхность разрушения становится более плоской и гладкой (рисунок 4, б) по сравнению с литым состоянием, однако хрупкий характер излома металлической матрицы сохраняется, ввиду присутствия цементитной составляющей перлита. Необходимо отметить, что перлит приобретает более мелкозернистую структуру. Поэтому можно утверждать, что при испытании на излом пластичность чугуна с ростом степени деформации и увеличением дисперсности металлической матрицы возрастает и приближается к характеристикам стали. Включения графита имеют меньшие размеры, а также большую вытянутость по сравнению с образцами, имеющими меньшую степень деформации. На поверхности излома присутствуют участки локального упрочнения протяженностью 20-30 мкм (так называемая "псевдозеренная" структура), при этом ферритная оторочка вокруг включений графита практически отсутствует.

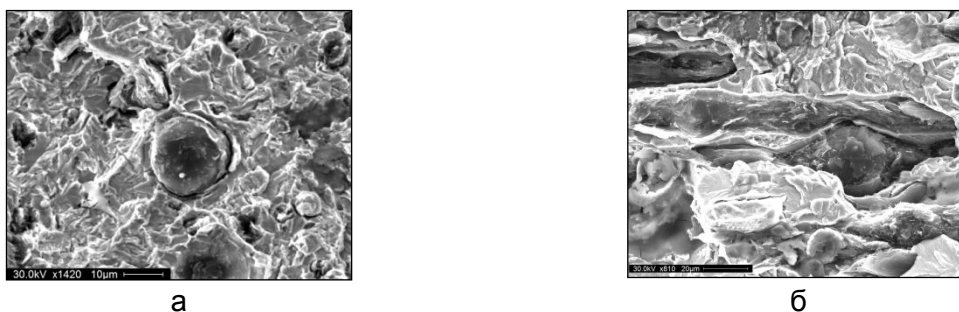


Рисунок 5 - Поверхность излома высокопрочного деформированного чугуна. Степень деформации 80%. а) x 1420, поперечное сечение, б) x 810, продольное сечение.

В поперечном сечении включения графита имеют шарообразную форму и отсутствуют следы вытянутости, хотя в продольном сечении видно, что включения графита вытягиваются вдоль оси деформирования и имеют веретенообразную форму. При этом в продольном сечении не выявлено следов разрушения включений графита, т. е. при деформировании включения графита пластически деформируются вместе с металлической матрицей.

Выводы.

При исследовании изломов образцов из высокопрочного чугуна в литом и деформированном состояниях установлено, что включения графита при деформации (при температурах порядка 900-1000°C) в условиях неравномерного всестороннего сжатия имеют пластический характер деформирования, без разрушения.

По мере роста степени деформации в образцах из высокопрочного чугуна происходят следующие изменения формы включений графита и металлической матрицы:

1) при $\epsilon=20\%$ включения графита практически не изменяют своей формы (остаются шаровидными), ферритная оторочка приобретает форму эллипса, перлитная металлическая матрица видимых изменений не претерпевает.

2) при $\epsilon=60\%$ шарообразные включения графита приобретают вытянутую форму (эллипсообразное ядро от которого отходят своеобразные усы), ферритная оторочка (вокруг включения графита) еще больше вытягивается. Цементитные пластинки измельчаются, что говорит о фазовых превращениях перлита.

С увеличением степени деформации изменяется характер излома и форма включений графита, что позволяет получить требуемые свойства материала.

1. Основы металлографии чугуна. / Бунин К.П., Малиночка Я.Н., Таран Ю.Н. - М.: Металлургия, 1969. - 416 с.
2. Справочник по металлографическому травлению. / Беккерт М., Клемм Х. Лейпциг, 1976. Пер. с нем. - М.: Металлургия, 1979, 336 с.
3. Металлографическое травление металлов и сплавов: Справ. изд. / Баранова Л.В., Демина Л.М. - М.: Металлургия, 1986, 256 с.
4. ГОСТ 3443–87. Отливки из чугуна с различной формой графита. Методы определения структуры. - М.: Стандартиформ, 2005. 42 с.
5. Пластическая деформация чугуна. / Антонишин Ю.Т. – Минск: Навука і тэхніка, 1991. – 119 с.
6. Горячая пластическая деформация чугуна: структура, свойства, технологические основы. / Покровский А.И. - Минск: Беларуская навука. – 2010. – 256 с.
7. Влияние горячей пластической деформации на изменения микроструктуры чугуна с шаровидным графитом / Чаус А.С., Сойка Я., Покровский А.И. // Физика металлов и металловедение, - М.: РАН, «Наука», 2013, том 114, № 1. - С.94-104.
8. Влияние формы графитовых включений на акустические характеристики изделий из литого и деформированного чугуна / Покровский А.И., Чаус А.С., Куновский Э.Б. // «Металловедение и термическая обработка металлов». - М.: Фолиум, № 7 (673), июль. 2011. С.3-10.
9. Пластическое течение включений цементита и графита при обработке давлением чугуна / Покровский А.И. // Литье и металлургия. - Минск: «Интерфаундри». - 2013. -№ 1 (69). - С.88-95.
10. Численное моделирование напряженно-деформированного состояния и особенности структурообразования чугуна при горячем выдавливании. / Покровский А.И., Луцкич П.Е. // Литье и металлургия. - Минск: «Интерфаундри». - 2014, № 4 (77), с.33-44.
11. Растровая электронная микроскопия. Разрушение. Справочник. / Энгель Л., Клингеле Г. Пер. с немецкого. - М.: Металлургия, 1986 – 232 с.
12. Изломы конструкционных сталей: Справочное изд. / Герасимова Л.П., Ежов А.А., Маресев М.И. - М.: Металлургия, 1987. 272 с.
13. Высокопрочный чугун в автомобилестроении / Шебашинов М.П., Абраменко Ю.Е., Бех Н.И. – М.: Машиностроение, 1988 – 216 с.
14. Патент Республики Беларусь № 10650 от 02.02.2015 по заявке u20140426 от 20.11.2014. Покровский А.И. Устройство для выявления формы графитных включений в структуре чугуна.
15. Патент Республики Беларусь № 10652 от 02.02.2015 по заявке u20140426 от 20.11.2014. Покровский А.И. Устройство для выявления формы графитных включений в структуре чугуна.
16. Бриджмен П.В. Исследование больших пластических деформаций и разрыва. - М.: Издательство иностранной литературы, 1955.- 444 с.