

Т.С. Скобло, проф., д-р техн. наук, М.В. Марченко, доц., канд. техн. наук
Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко

Влияние напряжений от неметаллических включений на показания коэрцитивной силы

В статье рассмотрено влияние напряжений от неметаллических включений во втулках цилиндров, отлитых центробежным методом из низколегированного чугуна, на уровень коэрцитивной силы

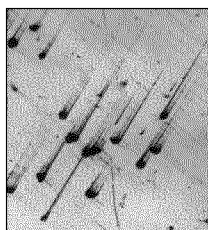
напряжения, неметаллические включения, коэрцитивная сила, втулка цилиндров

Нарушение технологического процесса разлива втулок цилиндров методом центробежного литья, с использованием различных модифицирующих добавок и углеродного боя в ковш для корректировки химического состава, могут способствовать формированию ликвационных зон, а это, в свою очередь, привести к формированию локальных скоплений неметаллических включений и отбелу.

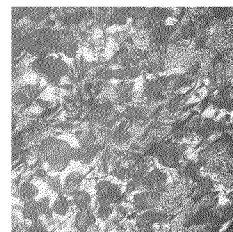
Для улучшения качества втулок цилиндров, в состав легирующей добавки вводили титан. Добавка титана в чугун оказывают заметное влияние на его механические свойства вследствие измельчения зерна и выделения частиц карбонитридов. В тоже время известно, что введение титана может привести к ухудшению характеристик пластичности [1].

При анализе качества втулок цилиндров, отлитых центробежным методом, по уровню твердости, оцененной по Бринелю, были выявлены участки в которых значения твердости превышали технические требования. Поэтому целью работы явилась необходимость разработать методику неразрушающего контроля втулок. Для этого был использован магнитный метод с оценкой коэрцитивной силы, который позволил бы установить связь твердость – коэрцитивная сила и прочность – коэрцитивная сила в любой зоне отлитого изделия. При более детальном анализе на данных участках выявили, что включения графита практически отсутствуют. Металлографическим анализом микроструктуры в таких пробах выявлены как отдельные неметаллические включения, так и их скопления (рис. 1), в том числе и плёночные.

© Т.С. Скобло, М.В. Марченко, 2010



а)



б)

- а) скопление неметаллических включений и интерметаллидов (оксиды и карбонитриды титана);
б) скопление цементита.

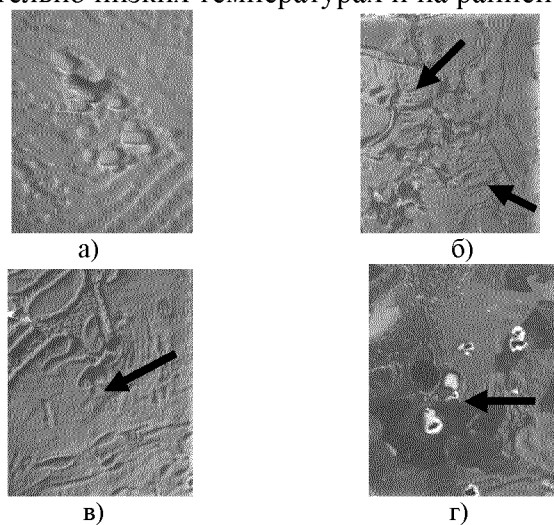
Рисунок 1 - Микроструктура зоны с минимальной долей графита, выделениями цементита и неметаллическими включениями (302 НВ), $\times 100$

Локальным спектральным анализом по месту формирования неметаллических включений выявлена ликвация титана до 0,48% при его среднем содержании 0,01 – 0,013%. Кроме таких включений выявлены и выделения цементита (см. рис. 1). При изготовлении шлифов ряд включений разрушается и они при полировке оставляют след в виде царапин. Поскольку царапины глубокие, вывести их длительной полировкой не представляется возможным.

Для выявления неметаллических включений и области распространения пластических и упругих деформаций, которые возникают при охлаждении отливки, был разработан режим травления в вакууме в интервале температур 200 – 1000°C при остаточном давлении $13,3 \times 10^{-3}$ Па. Для исследований использовали образцы размером $3 \times 4 \times 80$ мм.

Область распространения пластических и упругих деформаций оценивали при нагреве и быстром охлаждении по формируемому рельефу и его отсутствию вокруг включений (рис. 2) с использованием эмиссионного микроскопа.

Появление складчатого рельефа на поверхности шлифов зависит от температуры и времени выдержки, при которых реализуется стремление поверхности кристалла вокруг включений к минимуму свободной энергии. Основными процессами, способствующими развитию рельефа, является перенос вещества через газовую фазу, объемная и поверхностная диффузии. Поверхностная диффузия наиболее интенсивно развивается при относительно низких температурах и на ранней стадии процесса.



а – электронная микроскопия, $\times 3700$; б, в – оптическая микроскопия после травления в вакууме, $\times 1000$; г – эмиссионная микроскопия, $\times 1000$ (стрелками указан формируемый рельеф)

Рисунок 2 - Неметаллические включения (а) и напряжения от них (б - г)

При исследовании влияния неметаллических включений на возникновение напряжений оценивали роль последних в изменении уровня микротвердости (влияет и на твердость, оцененную по Бринелю) и коэрцитивной силы, которые можно прогнозировать при таких условиях кристаллизации.

Выявлены розово-голубые, серые, черные неметаллические включения относящиеся к нитридам, оксидам и карбонитридам титана. Согласно исследованиям Нарита [2], такие соединения образуют непрерывный ряд твердых растворов. Этим объясняется тот факт, что цвет карбонитридов титана в сером чугуна изменяется от темных до светлых тонов. И карбид, и нитрид титана кристаллизуются в кубической

форме. Их образование приводит к уменьшению доли графита за счёт перераспределения углерода.

Результаты испытаний на ударную вязкость образцов, приведенных в работе З. А. Боганова [3] на литых пробах показали, что добавки титана приводят к снижению ударной вязкости - в среднем на $0,5 \text{ мДж/м}^2$. Соответственно изменяется и вид излома. Так, если изломы образцов без титана преимущественно вязкие, то с титаном они имеют определенную долю хрупкой составляющей, причем площадки сколов (со следами деформации) по форме и ориентации соответствуют транскристаллитным сколам, характерным для литого металла.

В работе установлено, что величина деформации с ростом размера включения изменяется весьма незначительно. Это связано с тем, что при крупных включениях нарушается когерентная связь включение – матрица и появляется значительный зазор между ними. Микротвёрдость продуктов распада аустенита вокруг включений (область пластических деформаций) возрастает в 1,2-1,6 раза, а цементита на 7-10%. В области упругих деформаций микротвёрдость возрастает до 3%. Средний размер выявленных включений составил 1 мкм.

При появлении скоплений неметаллических включений увеличивается значение коэрцитивной силы. При скоплениях включений более 5 шт в поле зрения шлифа происходит рост коэрцитивной силы от 19 до 26 А/см. Максимальное значение коэрцитивной силы соответствует скоплению включений ≥ 15 шт. В связи с этим можно заключить, что коэрцитивная сила чувствительна к повышению напряжений внутри металла, возникающих в следствии увеличения количества неметаллических включений.

Для теоретической оценки уровня напряжений от включений использовали метод Ласло, основанный на положениях теории упругости. При расчетах использовали экспериментальные оценки уточненного размера включений по его сечению в эмиссионном микроскопе. Величину радиального напряжения на поверхности контакта включение-матрица рассчитывали по формуле:

$$\sigma = \frac{(\sigma_2 - \sigma_1) \Delta t}{\frac{1}{2} \frac{(1 + \nu_2) + (1 - 2\nu_2) d^3}{E_2 (1 - d^3)} + \frac{(1 + 2\nu_1)}{E_1}}, \quad (1)$$

где α - средний линейный коэффициент теплового расширения в данном температурном интервале, $1/^\circ\text{C}$;

E - модуль Юнга, МПа;

ν - число Пуассона;

Δt - изменение температуры, $^\circ\text{C}$.

$$d = R_1/R_2, \quad (2)$$

где R_1 - радиус включения, мкм;

R_2 - радиус деформационной области вокруг включения, мкм (по формуле Ласло R_2 - текущая координата);

подстрочные индексы: 1 - включение; 2 - матрица.

В результате выполненных расчётов подтверждено, что коэрцитивная сила находится в прямой зависимости от количества неметаллических включений. Так, при увеличении числа неметаллических включений свыше 5 шт. в поле зрения шлифа значение коэрцитивной силы превышает 19,9 А/см, а твёрдость находится выше уровня верхнего предела (269 НВ) согласно ТУ.

За счёт наложения напряжений от неметаллических включений повышается коэрцитивная сила. При рассмотрении втулок с высокими значениями коэрцитивной силы, можно сделать заключение, что неметаллические включения приводят к существенному разбросу значений прочности при растяжении. Это связано с тем, что

неметаллические включения являются локальными концентраторами напряжений и способствуют неоднородности свойств, в том числе и за счет изменения формы и доли кристаллизующегося графита в этих зонах.

При увеличении доли неметаллических включений от 3 до 15 шт. в поле зрения шлифа прочность изменяется в широких пределах от 260 до 385 МПа, что при неразрушающем контроле указывает на отклонение от требований ТУ. Результаты по оценке прочности, соответствующие требованиям ТУ > 294 Мпа, имеют стабильные показания коэрцитивной силы на уровне 15,9–19,0 А/см.

Установлены браковочные нормы для определения качества втулок цилиндров по соответствию требованиям ТУ. Так, втулки, имеющие уровень коэрцитивной силы в пределах 15,9-19,9 А/см, будут соответствовать требованиям ТУ по твёрдости (217-269НВ) на 94%, а по минимальному пределу прочности при растяжении (294МПа) - на 100%.

Отклонения в показаниях ниже 15,9 А/см соответствуют снижению твёрдости и прочности ниже допустимого предела и свидетельствуют о наличии повышенной пористости.

Увеличение уровня свыше 19,0 А/см свидетельствует об увеличении твёрдости более 269 НВ и появлении неметаллических включений и напряжений от них или повышенной доли цементита.

Отдельные (до 3,3%) значительные отклонения твёрдости и как следствие - уровня коэрцитивной силы от средних значений выявлены для отдельных втулок, что связано с ликвацией компонентов в чугунах отклонениями в химическом составе и неравномерным распределением углерода (появлением доли цементита $\geq 5\%$). Это возможно при нарушении технологии модифицирования расплавленного металла, плохом его перемешивании.

Таким образом, уровень коэрцитивной силы может служить и одним из перспективных методов неразрушающего контроля, по критериям которого можно производить оценки качества процесса изготовления втулок цилиндров. За счет внедрения неразрушающего контроля можно улучшить свойства металла, а следовательно и увеличить срок службы деталей – повышением чистоты сплава.

Список литературы

1. Скобло Т.С. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. / Т.С. Скобло. - М.: Металлургия, 1994. - 334 с.
2. Нарита К. Кристаллическая структура и свойства неметаллических включений в стали. / К. Нарита. Перев. с японского. – М.: Металлургия, 1969. - 192 с.
3. Боганов З.А. Неметаллические включения в низкоуглеродистой стали с титаном и церием. / З.А. Боганов, Л.А.Одинцова и др. // Металловедение и термическая обработка металлов.- №6.- 1983.- С.54-56.

Т. Скобло, М. Марченко

Вплив напруги від неметалічних включень на значення коерцитивної сили

У статті розглянутий вплив напруги від неметалевих включень у втулках циліндрів відлитих відцентровим методом з низьколегованого чавуну, на рівень коерцитивної сили.

T. Skoblo, M. Marchenko

Influence of tensions from nonmetallics on the testimonies of coercitivity

In the article, influencing of tensions is considered from the non-metal including in the hobs of cylinders of poured off cast-iron, by a centrifugal method, on values coercive force.

Одержано 16.09.09