

ОЦЕНКА СКОПЛЕНИЙ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ ВКЛЮЧЕНИЙ В НИЗКОЛЕГИРОВАННОМ ЧУГУНЕ ПО КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ

Скобло Т.С., д. т. н., проф., Марченко М.В., аспирант.

(Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства)

В работе рассмотрена взаимосвязь неметаллические включения – напряжения – разрушающий контроль, которая является важным фактором оценки свойств сплава, его однородности и качества выпускаемых изделий

Нарушение технологического процесса разливки при проведении ее с использованием экзотермических смесей или синтетического шлака может приводить к образованию в металле дефектов типа рванин, причиной которых являются неметаллические включения.

Изучение закономерности формирования неметаллических включений в процессе раскисления, выпуска металла и его кристаллизации связано с необходимостью изыскания путей снижения их отрицательного влияния. Важным фактором оценки свойств сплава, его однородности и прогнозирования этих показателей в изделии является установление связи неметаллические включения – напряжения – разрушающий контроль качества, что и явилось целью данных исследований.

Нередки случаи образования несплошностей, связанных со скоплениями неметаллических включений образующихся в основном при недостаточной теплоизоляции отливки. На рис. 1 приведено неметаллическое включение в металле.

Совершенно очевидно, что при эксплуатации детали с такими включениями в местах их расположения образуются надрывы и несплошности (рис. 2). Скопления включений опасны не только тем, что в процессе эксплуатации деталей они трансформируются в тонкие пленочные или строчечные включения большой протяженности, но и являются концентраторами напряжений. Существенным является то обстоятельство, что в процессе многократных циклических воздействий или деформации металла (на различных стадиях технологического процесса) происходит интенсивная диффузия элементов по границам кристаллитов и границам зерен с образованием большого количества мелких выделений простых и сложных оксидов. Этот процесс вызывает вторичное или внутреннее окисление, с образованием сателлитных включений, выявляющихся на расстояния, в несколько раз превышающие области первичных скоплений.

При оценке качества гильз цилиндров изготовленных, методом центробежного литья, из легированного и модифицированного комплексным модификатором чугуна, были выявлены участки с уровнем твердости, превышающим требования ТУ, и высокими значениями коэрцитивной силы.

Для выяснения причин появления зон с высокими значениями твердости и коэрцитивной силы, было принято решение провести более подробный, стру-

турный, анализ. Для этого были изготовлены темплеты и проведён детальный металлографический анализ микроструктуры.



Рис. 1 Неметаллическое включение в металле; x 1000



Рис. 2 Трещина от неметаллических включений в чугуине с компактным графитом; x 100

В зонах с повышенной твёрдостью выявлены отдельные, скопления и плёночные неметаллические включения (рис.3). При изготовлении шлифов ряд включений разрушается и они оставляют след в виде царапин. Поскольку царапины глубокие вывести их длительной полировкой не представляется возможным. В ряде случаев в них попадает грязь (графит) и создается впечатление плохой подготовки шлифа.

Выявленные розово-голубые неметаллические включения относящиеся к нитридам и карбонитридам титана. Это обогащенные титаном включения, представляют собой твердые растворы карбида титана с нитридом титана. Согласно литературным данным, эти соединения образуют непрерывный ряд твердых растворов. Этим объясняется тот факт, что цвет карбонитридов титана в сером чугуне изменяется от темно- до светлых тонов. И карбид, и нитрид титана кристаллизуется в кубической форме (рис.4) [1]. Их образование приводит к уменьшению доля графита за счёт перераспределения углерода. Исследованиями установлено, что в таких участках по форме графит не соответствует общепринятой шкале.

Добавки титана в чугун оказывают заметное влияние на его механические свойства вследствие измельчения зерна и выделения частиц карбонитридов. В то же время известно, что введение титана может привести к ухудшению характеристик пластичности [2].

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.

Появление неметаллических включений в литье привело к повышению твёрдости и коэрцитивной силы, изменению форм графита, а следовательно

возросла возможность появления микротрещин.

Вопросу зарождения усталостных трещин у неметаллических включений посвящен ряд исследований [4-6]. Единого мнения по этому вопросу нет, в связи с чем сложились две принципиально различные точки зрения. Сторонники одной из них [7-9] утверждают, что какая-либо зависимость между неметаллическими включениями и циклической прочностью материала отсутствует. Авторы большинства исследований [10,11] придерживаются другой точки зрения, которая подтверждается развитием специальных рафинирующих переплавов, обеспечивающих уменьшение неметаллических включений и повышение эксплуатационной надежности. В работе [12] указывается, что влияние неметаллических включений на циклическую прочность более существенно, чем термообработка и изменения химического состава в пределах марочного.



Рис. 3 Скопление неметаллических включений (карбид титана); x 100

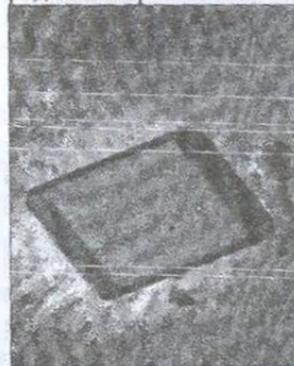


Рис. 4 Карбонитрид титана; x 7000

Известные публикации относятся главным образом к изучению влияния неметаллических включений на механическую усталость в низко- и среднеуглеродистых сталях и содержат мало данных об их роли в высокоуглеродистых сталях и сплавах работающих в условиях циклического изменения температур и нагрузок.

В работе [1], используя методики вакуумного травления и оценки типа, формы, размера и состава включений, установлено следующее: напряжения от сложных включений минимальны или практически отсутствуют; область пластических деформаций прилегает непосредственно к включению и в несколько раз меньше зоны упругих деформаций.

Влияние размера титанистых включений на области пластических деформаций, оцененные металлографически, характеризуется данными табл. 1 (среднее из 35-50 определений). Установлено, что величина деформации с ростом включения (более 10 мкм) изменяется весьма незначительно. Это связано с тем, что при крупных включениях нарушается когерентная связь включение - матрица и появляется значительный зазор между ними.

Микротвердость продуктов распада аустенита вокруг включений (область пластических деформаций) возрастает в 1,2-1,6 раза, а цементита или спецкар-

бидов на 7-10%. В области упругих деформаций микротвердость возрастает не более чем на 3 %.

Табл. 1 Изменение деформационных областей в зависимости от размера включений

Используемый чугун	Средняя величина рельефа при размере включений, мкм				
	1	6	10	16	Ср. кол-во скоплений
Серый	8	20	27	30	-
Перлитный	7	-	-	-	15
Высокохромистый	5	18	25	30	-

Напряжения от включений рассчитывали по методу Ласло, основанному на положениях теории упругости (для случая сферических включений). При расчетах использовали экспериментальные оценки уточненного размера включений, определяемого по термоэлектронной эмиссии, и области деформационного рельефа, выявляемые по структуре. Для скоплений рассчитывали вначале напряжение от одного включения и умножали на среднее их количество в данной зоне. Величину радиального напряжения на поверхности контакта включения-матрица рассчитывали по формуле:

$$P = \frac{(\alpha_2 - \alpha_1) \Delta t}{\frac{1}{2} \frac{(1 + \nu_2) + (1 - 2\nu_2) d^3}{E_2(1 - d^3)} + \frac{(1 + 2\nu_1)}{E_1}} \quad (1)$$

где α - средний линейный коэффициент теплового расширения в данном температурном интервале, $1/^\circ\text{C}$; E - модуль Юнга, МПа; ν - число Пуассона; $d = R_1/R_2$; Δt - изменение температуры, $^\circ\text{C}$; R_1 - радиус включения, мкм; R_2 - радиус деформированной области вокруг включения, мкм (по формуле Ласло R_2 - текущая координата); (подстрочные индексы: 1 - к включению; 2 - к матрице). Значения α , ν , E для включений и матрицы [13, 14] приведены в табл. 2.

Табл. 2 Физические константы включения и чугунов

Материал	α , $10^{-6}/^\circ\text{C}$	E , МПа	ν
П(Н, С)	9,4	213400	0,192
Серый чугун	11,0	130000	0,40
Перлитный	12,1	160000	0,38
Высокохромистый чугун	14,2	333200	0,30

В зависимости от размера включений радиальное напряжение на поверхности контакта включение - матрица для серого чугуна изменяется в пределах от 217,8 до 255 МПа, для высокохромистого - от 363 до 608 МПа, для скоплений, с учетом среднего размера и количества включений от 303 до 1515 МПа

Сопоставив результаты вычислений с экспериментальными показаниями коэрцитивной силой, получили зависимости представленные на рис. 5.



Рис. 5 Зависимости напряжений от количества неметаллических включений (а) и коэрзивной силы от скопленной неметаллических включений (б).
 область значений коэрзивной силы соответствующая твёрдости по ГУ

Проанализировав полученные результаты можно сделать заключение, что коэрцитивная сила находится в прямой зависимости с напряжениями от неметаллических включений. Если количество неметаллических включений на превышает 5 см^2 то коэрцитивная сила находится в пределах соответствующих требованиям твёрдости по ТУ. Такое количество неметаллических включений не оказывает влияния на изменение свойств.

Напряжения, возникающие от неметаллических включений, в ряде случаев достигают или несколько превосходят значения прочностных характеристик материала и могут вызывать разрушение даже в чугунах с компактным графитом (см. рис. 2).

Результаты подобных расчетов, выполненные для других материалов [15], указывают, что уровень напряжений от неметаллических включений еще более существенно могут превышать значения прочностных характеристик материала, чем полученные в данном исследовании. Такое несоответствие подробно анализируется в работе [16].

Разрушение чаще всего характерно для условия когда включение находится в зоне локальных деформаций, возникающих в период эксплуатации. В зависимости от типа, формы и расположения включений трещины зарождаются в нем или от его концов (см. рис. 2). Первое в большей мере свойственно крупным (более 10 мкм) и сложным включениям. Зарождение трещин от острых концов включений отмечается при наличии нитридов и карбонитридов с правильной огранкой. Разрушение возможно и от пленочных, ограненных сульфидных включений, которые при циклическом воздействии создают вокруг себя поле напряжений и тем самым на границе с матрицей обеспечивают условия для интенсивной диффузии и графитизации. При небольших деформациях сульфидные включения играют роль термокомпенсаторов, т.е. частично релаксируют термические и фазовые напряжения. При расчете напряжений по формуле (1) величина d определяется как отношение R_1/R_2 . Поэтому при ошибке их измерения, главным образом в сторону уменьшения по сравнению с истинным значением, отмечается завышение расчетных напряжений (рис. 6).

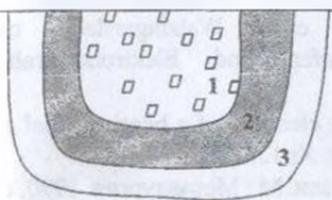


Рис. 6 Схема напряжений от неметаллических включений: 1 - неметаллические включения; 2 - зона пластических деформаций; 3 - зона упругих деформаций.

Выводы: 1. Образование неметаллических включений связано с нарушением технологического процесса ввода модификатора, что определяет ликвационные процессы.

2. Неметаллические включения могут привести к образованию микротрещин, что ухудшает качество гильз цилиндров, и может привести к её разрушению при эксплуатации.

3. Появление карбидов и нитридов титана изменяет форму выделения графита и уменьшает его долю за счёт перераспределения углерода. Согласно Ту на производство гильз цилиндров, выделение цементита и карбидосодержащих фаз не допускается.

4. В зависимости от размера включений радиальное напряжение на поверхности контакта включение – матрица для скоплений, с учётом количества включений, изменяется в пределах от 303 до 1515 МПа.

5. При появлении неметаллических включений увеличивается и значение коэрцитивной силы. При скоплениях включений более 5 шт/см² происходит рост коэрцитивной силы от 19 до 26 А/см. Максимальное значение H_c соответствует скоплению включений из 15 шт/см².

Используемая литература

1. Скобло Т. С. Прокатные валки из высокоуглеродистых сплавов. М.: Металлургия, 1994, с. 334.
2. Калинин Е. С. Хладостойкая низколегированная сталь. М.: Металлургия, 1976, с. 37.
3. Боганов З. А., Одинцова Л. А. И др. Неметаллические включения в низкоуглеродистой конструкционной стали с титаном и церием. "Металловедение и термическая обработка металлов", №6, 1983, с. 54-56.
4. Tagart W.J. The effect of second phases on the mechanical properties of metals and alloys. // J. Austral. Inst. 1970. № 15. № 1.
5. Kiessling R. The influence of the inclusions on the properties of steel. 1. The concept of micro — and macro inclusions 2- The physical properties of inclusion phase in situ // Jernkontorets annaler. 1969. 153. № 2. P. 79. № 7. P. 295.
6. Beevers C.J., Honeycomb R.W.K. The ductile fracture of metals. A survey of mechanisms // Fracture Met. bourne. Fac. Eng Univ. Melbourne 1965 - 28 p.
7. Ueno M., Hakazima H. A. ball - bearing steel — melted in a'vakuum — induction furnace // Y. J. S. J. Japan. 1958. 44. № 2. P. 163, 1959. 45. № 5. P. 506.
8. Maschler H. Reinheitsgrad eines Walzstahls nach dem Umschmelzen im vakuum—Zicht—bogenofen und Elektronenstrahl. Mehr-Kammerofen // Technik. 1963. 18. № 1. S. 11.
9. Enomoto N., Murajama S. The cleanness of a bearing steel and his fatigue // J. Railway Eng. Res. (Japan). 1962. 19. № 1. P. 39.
10. Шульте ЮА. Хладостойкие стали. М.: Металлургия. 1970, с. 224
11. Thornton P.A. The influence of nonmetallic inclusions on the mechanical of steel: a review // J. Mater. Sci. 1971. 6. № 4. P. 347.
12. Epreman E; Mehh R.F. A statistical interpretation of the effect of understressing on fatigue strength // ASTM Spec. Techn. Publ. 1953. №137. P. 58-69.
13. Brooksbank D., Awfrefwe K.W. Tasslated stessus associated with some inklusionsjns in steel. // Journal of the Iron and Steel Inst. 1969. V. 207. P. 474.

14. Пивоварский Е. Высококачественный чугуя. - М.: Metallurgy (т. 1 и 2). 1965, с. 1184.
15. Брайнин И.Е. й др. Природа неметаллических включений чугуна, модифицированного титаном.// Известие вузов. Чёрная металлургия. 1970. № 5. с. 141-143.
16. Куслицкий А.Б. Неметаллические включения и усталость стали. — Киев: Техніка. 1976, с. 126.

Анотація

Оцінка якості неметалевих включень у низьколігированому чавуні по коефіцієнту сили

У роботі розглянутий взаємозв'язок неметалевих включень — напружень — неруйнуючий контроль, який є важливим фактором оцінки якості випускаючої продукції

Abstract

Estimation of congestions of nonmetallic inclusions in low-alloy pig-iron on coactivity to force

In work the interrelation nonmetallic inclusions - pressure - not destroying control which is the important factor of an estimation of properties of an alloy, his uniformity and quality of let out products is considered