

СТРУКТУРА НА ЧУКОВЕ НА УДАРНО-ОТРАЖАТЕЛНА ТРОШАЧКА ОТ ВИСОКОХРОМОВ ЧУГУН

STRUCTURE OF IMPACT CRUSHER HAMMERS FROM HIGH-CHROMIUM CAST IRON

доц. д-р инж. Кръстев Д. М., доц. д-р инж. Йорданов Б. И., ас. инж. Клявков Кр. С., Чакъров П. Ст., Антонова, А. М.
Химикотехнологичен и металургичен университет, София, България
Email: krastev@uctm.edu biyordanov@uctm.edu

Abstract: High-chromium cast irons are iron-based alloys containing 10 – 30 % Cr, 1.8 – 3.6 % C additionally alloyed with Mo, Mn, Cu or Ni. They are modern generation wear resistant materials working under extreme conditions and having excellent performance under impact wear. A major influence on the properties of these alloys have the type of microstructure and presence in it a large amount of special eutectic and hypereutectic carbides. This study is a comparative structural analysis of defective and well worked hammer of impact crusher from high-chromium cast iron.

Keywords: HIGH-CHROMIUM CAST IRONS, IMPACT CRUSHER HAMMERS, MACRO- AND MICROSTRUCTURE

1. Въведение

Високохромовите чугуни са сплави на желязото, съдържащи 10 – 30 % хром, 1.8 – 3.6 % въглерод, допълнително легирани с молибден, манган, мед или никел. Те представляват съвременна генерация износоустойчиви материали за детайли, работещи при екстремни условия в петролната, минната, въгледобивната и циментната индустрии поради техните отлични експлоатационни качества в условия на абразивно износване, дължащи се основно на присъствието в микроструктурата на голямо количество специални карбиди от евтектичен и надевтектичен тип. Смята се, че основно влияние върху свойствата на този вид сплави има видът на тяхната микроструктура. През последните десет години са проведени редица изследвания за определяне влиянието на химичния състав и микроструктурата върху свойствата на високохромовите износоустойчиви чугуни, определящи условията на тяхната експлоатация, като твърдост, ударна жилавост и износоустойчивост. Тези изследвания могат да бъдат групирани в две категории:

- установяване на връзката състав - структура – свойства;
- оптимизиране на характеристиките на микроструктурата на базата на термично обработване за получаване на висока твърдост и износоустойчивост.

Първата категория от изследвания са насочени към определяне на влиянието на легиращите елементи върху структурата и фазовия състав на високохромовите износоустойчиви чугуни, дори са правени изследвания за легиране с „екзотични“ елементи, като например итрий. Установено е значителното подобряване на свойствата при легиране с волфрам, при което се повишава твърдостта и износоустойчивостта на матрицата. От друга страна е доказано благотворното влияние на легирането с титан на надевтектични високохромови чугуни върху издребняването на евтектиката и присъствието на финодисперсни титанови карбиди, водещи до забележимо повишаване на твърдостта и износоустойчивостта. Като основен елемент за легиране на високохромовите чугуни се е доказал молибденът, а изследванията върху неговото съотношение с хрома показва изключително голямото влияние на микроструктурата на матрицата върху износоустойчивостта на тези сплави.

При втората категория от изследвания фокусът е върху установяване изменението на фазовия състав и микроструктурата в резултат на влиянието на режимите на термично обработване. Изследванията показват, че стандартните режими на аустенизация водят до съществено

повишаване на твърдостта, съпроводено с забележимо намаляване на остатъчния аустенит в матрицата, при което значително се повишава абразивната устойчивост. Освен температурата на нагряване за закаляване влияние върху крайния резултат оказва и времето на изотермично задържане. При нарастването му се наблюдава разтваряне на вторичните карбиди, обогатяване на аустенита и като краен резултат от термичното обработване – повишаване на абразивната устойчивост. Интерес представляват и изследвания, при които се цели в резултат на термичното обработване в микроструктурата да остане повишено съдържание на остатъчен аустенит. Независимо от понижената твърдост след такова термично обработване, при експлоатацията в условията на абразивно износване, се наблюдава повишена износоустойчивост в резултат на допълнително мартензитно превръщане на остатъчния аустенит.

Работата на тези сплави като чукове на ударно-отражателна трошачка зависи както от съответните технологични параметри на агрегата (мощност, степен на трошене, производителност) така и от непо-малко важните характеристики на обработвания материал (твърдост, крехкост, едрина и т.н.). В много от случаите неспазването на съответните технологични параметри и предписанията на производителя на съответните елементи води до преждевременно излизане от строя на агрегатите при дефектиране основно на претоварените чукове.

2. Методика на изследването

Настоящото изследване има за цел да сравни структурните характеристики на добре работил с дефектирал чук от ударно-отражателна трошачка. За извършване на сравнителния анализ и изясняване на причините за преждевременно излизане от строя на работните инструменти са проведени:

- химичен анализ;
- фрактографски анализ;
- определяне на твърдост;
- макроструктурен металографски анализ;
- микроструктурен металографски анализ;
- определяне на микротвърдост;
- фазов рентгеноструктурен анализ.

На анализ са подложени два броя еднотипно откъртени фрагмента по време на тяхната работа. Единият е от преждевременно излязло от строя изделие (фиг. 1), в самото

начало на неговата експлоатация. Вторият фрагмент (фиг. 2) е от работил достатъчно продължително време инструмент, до почти пълно изчерпване на работния ресурс, и е настъпило откъртване на част от него, довело до бракуване.



Фиг. 1. Фрагмент от преждевременно излязъл от строя чук



Фиг. 2. Фрагмент от добре работил чук

Проведен е съпоставителен анализ за установяване на структурни различия, показващи вероятни причини за съкратен експлоатационен ресурс.

Първоначален оглед на пробите показва, че вероятни причини за разрушаване на изделията могат да бъдат допуснати нарушения, както в технологията на тяхното производство така и при тяхната експлоатация. Получената информация за условията на работа на изделията е за липса на конкретни данни за нарушения в регламентите за експлоатация.

От двата фрагмента са отрязани проби, на които са проведени химичен спектрален анализ, рентгеноструктурен анализ и макро- и микроструктурни анализи.

3. Резултати и дискусия

Направеният емисионен спектрален анализ показва, че и двата чука притежават почти един и същ химичен състав при несъществена разлика на повърхността и в сърцевината, показваща ниска степен на обемна ликвация – таблица 1. Този химичен състав предполага надевтектична структура на високолегирания с хром бял чугун, което беше потвърдено от следващия микроструктурен анализ.

Таблица 1. Спектрален анализ за определяне на химичния състав

Химичен състав, %									
Дефектирал чук (проба 1)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Повърхност	3.4	0.33	0.71	0.019	0.025	24.74	0.21	0.25	0.1
Сърцевина	3.6	0.31	0.72	0.019	0.025	25.45	0.21	0.26	0.1
Добре работил чук (проба 2)	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu
Повърхност	3.45	0.42	0.78	0.02	0.035	24.72	0.23	0.24	0.1
Сърцевина	3.6	0.41	0.74	0.018	0.047	25.04	0.23	0.24	0.1

Определената средна твърдост по Роквел (HRC) на проба 1 (дефектирал чук) е HRC 63 на повърхността на изделието, докато на 20 мм под повърхността е HRC 61.

За работилото добре изделие (проба 2) твърдостта на повърхността е HRC 61, докато на разстояние 20 мм под повърхността е HRC 60.

Направеният визуален оглед на фрагмента от дефектирания чук - проба 1 показва, сравнително добро състояние на лома, без наличие на видими с просто око побитости и замърсявания, с изключение на дребни гнезда от корозионно въздействие, които не пречат за фрактографски анализ (фиг. 3). Размерите на фрагмента и състоянието на повърхността му показват минимална експлоатация на изделието и протекло аварийно разрушаване.

Външния оглед на фрагмента от добре работил чук - проба 2 показва изключително висока загладеност на лома с фини дребни побитости, приблизително еднакви по вид и гладкост, с естествено износена повърхност на изделието (фиг. 4). Това показва продължително престояване на открития фрагмент от изделието в средата и условията на работно натоварване.

Раздробяването на материал при ударно-отражателните трошачки се дължи главно на ударното действие на въртящите се с голяма скорост чукове, а също и на ударите в отражателните плочи на отхвърления от чуковете материал. Изборът на материал и свойства на чуковете са в пряка зависимост от раздробявания материал и неговите свойства. За съжаление, промишлено произвежданите сплави не са в състояние да обезпечат едновременно висока твърдост (за абразивна износостойчивост) и висока ударна жилавост (за предотвратяване на крехкото разрушаване в условията на ударни натоварвания). Освен изборът на материал за чуковете и технологията за тяхното производство, от изключително важно значение са и условията за тяхната експлоатация.

Установените макрофрактографски белези за лома на проба 1 (дефектирал чук) показват:

- по степен на пластична деформация (по-малко от 1 %) – крехко разрушаване (еднократно ударно натоварване);
- по ориентация – кос лом (ъгъл около 45 °);
- по макрогеометрия – нееднороден дендритен (различни по релеф зони);
- по грапавост – едрокристалитен (каменовиден);
- по блясък и цвят – светло сиво-матов.



Фиг. 3. Ръб на дефектирал чук (проба 1), 20x



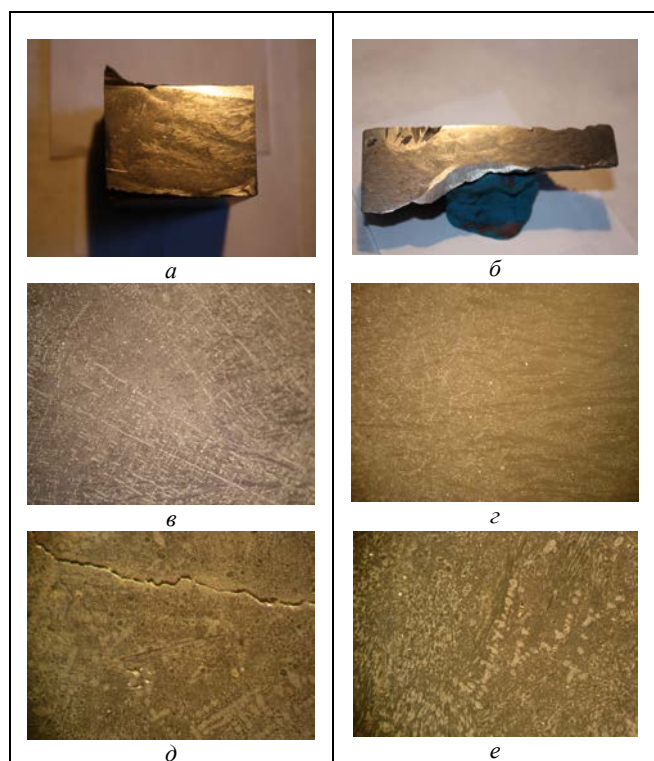
Фиг. 4. Ръб на добре работил чук (проба 2), 20x

Макроструктурния анализ паказа следните разлики:

- наличие на груби и дълги дендрити на кристализацията от повърхността към центъра на проба 1 (фиг. 5 а и в);
- липса на груби дендрити в повърхностните слоеве и появата на дребни дендрити в централните зони на проба 2 (фиг. 5 б и г).

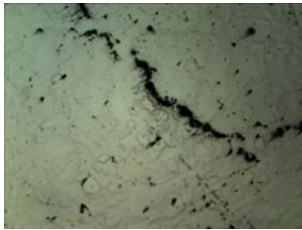

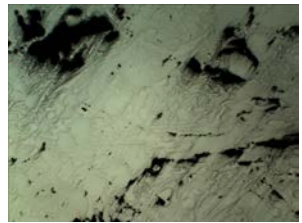
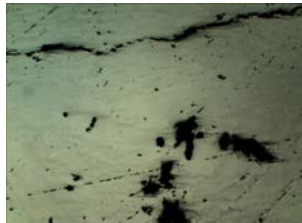
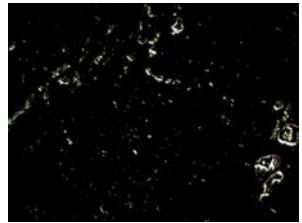
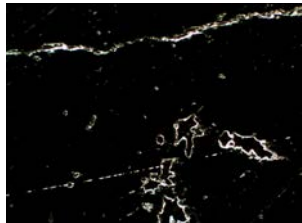
Подобни разлики са следствие от процеса на отливане в резултат на неравновесни условия на кристализация или високи температури на течния метал преди отливането.

Обследването на макрошлифа от проба 1 при по-високи увеличения разкрива наличието на пори и пукнатини, разположени успоредно на работната повърхност в дълбочина (фиг. 5 д), които при проба 2 не са забелязани (фиг. 5 е).



Фиг. 5. Макроструктура на проба 1 (а,в,д) и проба 2 (б,г,е)

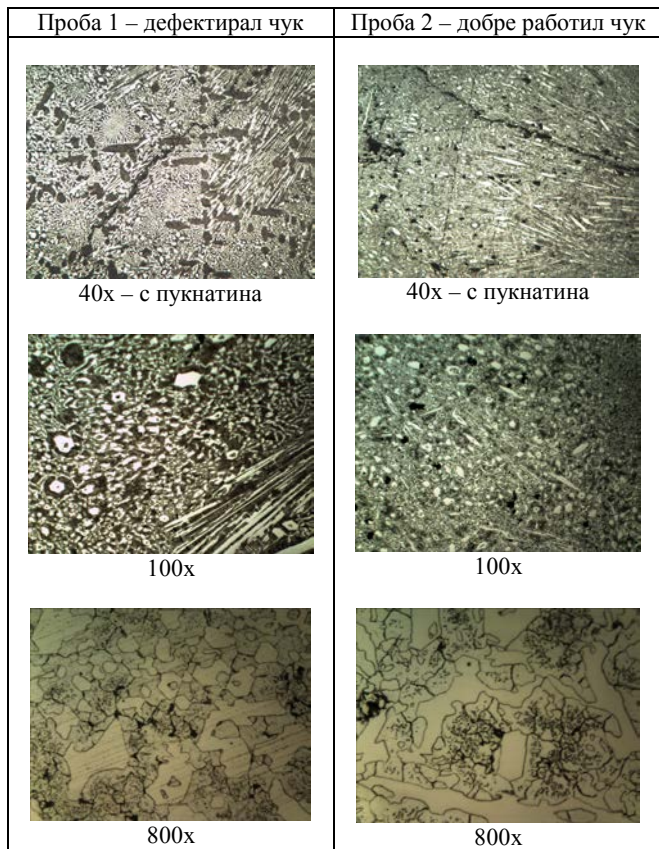
В резултат на изследване на микроструктурата в непроявено състояние се регистрираха приблизително еднакви характеристики – наличие на пори и неметални включения в близки пропорции – фиг. 6. Пукнатини бяха открити и в двете проби. Те основно са разположени успоредно на повърхността на лома.

дефектирал чук	добре работил чук
 40x - пукнатина	 40x - пукнатина
 100x – пукнатина и пори	 100x – пукнатина и пори
 100x – пукнатина и пори – тъмно поле	 100x – пукнатина и пори – тъмно поле

Фиг. 6. Микроструктура на двата чука в непроявено състояние

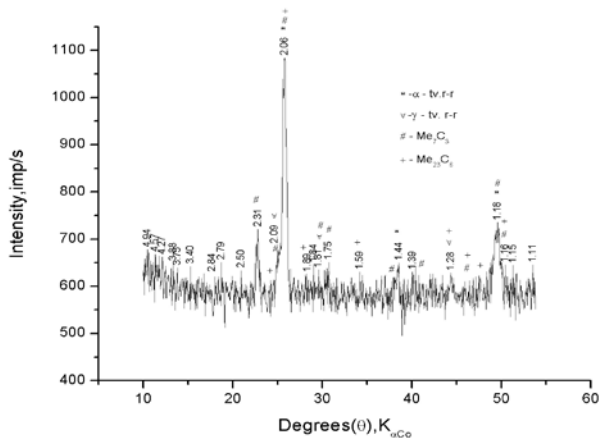
На фиг. 7 (лява колона) е показана микроструктурата на проба 1 при увеличения 40x, 100x и 800x, показваща първични и евтектични карбиди в количество около 40 %, разположени в метална основа, състояща се от мартензит, остатъчен аустенит и вторично отделени карбиди. В дясната колона на фиг. 7 е показана микроструктурата на проба 2 при същите увеличения, показваща първични и евтектични карбиди в количество около 30 %, разположени в метална основа от мартензит, остатъчен аустенит и вторично отделени карбиди. При проба 2 се наблюдава по дребнозърнеста структура както на карбидите така и на металната основа. Количеството на вторично отделените карбиди в проба 1 е по-голямо от това в проба 2, което предполага и по-голямо количество на остатъчен аустенит в проба 2.

Измерените микротвърдоти кореспондират с нормалните такива за съответните области в структурата на чугуна и не се различават съществено за двете проби. Микротвърдостта на двата карбиди на хрома е в границите 16000 – 18000 МПа, а за закалената структура на металната основа нормалните микротвърдоти са в диапазона 7000 – 9000 МПа. Флуктоациите от тези стойности са минимални.

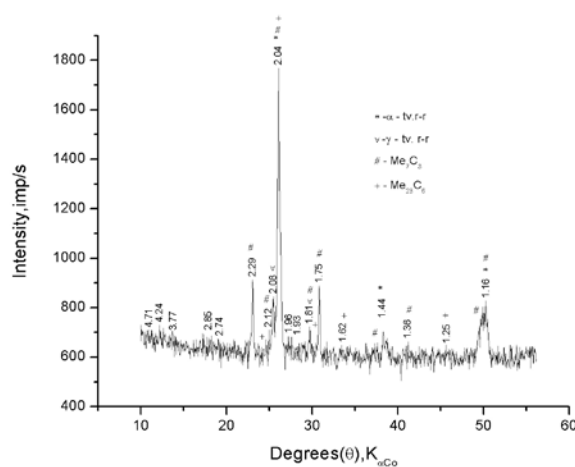


Фиг. 7. Микроструктура на двата чука в проявено състояние

Фазовият рентгеноструктурен анализ показва идентичен фазов състав за двете проби. Микроструктурата се състои от двата карбида Me_7C_3 и $Me_{23}C_6$, мартензит (α) и аустенит (γ). По-интензивният фон на проба 1 е показател за по-грубозърнестата структура на дефектирания чук. Основната линия на аустенита на проба 2 е по-отчетлива, което е показател за по-голямо количество остатъчен аустенит в добре работил чук.



Фиг. 8. Рентгенова дифрактограма, показваща фазовия състав на проба 1 – дефектирал чук



Фиг. 9. Рентгенова дифрактограма, показваща фазовия състав на проба 2 – добре работил чук

4. Заключение

Анализът на получените резултати от проведеното металографско изследване и предоставените данни по експлоатацията на чуковите трошачки показват приблизително еднакви химичен състав, структурни характеристики, твърдост, вид и характер на разрушаването и за двата изследвани фрагмента (проба 1 и проба 2).

Въпреки установените различия от гледна точка технологията на производство на чуковете, състоящи се в по-едрозърнестата структура на проба 1 и малко по-високата твърдост на тази проба, това не е основна причина за аварийното разрушаване. Структурите и структурните несъвършенства са близки по характер и параметри, което означава, че технологичната схема на производство и на двата чука е аналогична, и не би трябвало да се очаква съществена разлика в експлоатационните характеристики на същите.

При разрушаване от такъв тип може да се предполага, че освен от повишена крехкост на структурата (но задължително характерна и за двата чука), то може да е настъпило вследствие на удар от инцидентно попаднал на това място неразрушаващ се при такива условия на дробене материал с достатъчно големи размери.

5. Литература

1. Tabrett C.P., I.R. Sare and M.R. Ghomashchi, Microstructure-Property Relationships in High Chromium White Iron Alloys, *Int. Mater. Rev.*, 1996, 41(2), p 52–89.
2. Tabrett C.P and I.R. Sare, The Effect of Heat Treatment on the Abrasion Resistance of Alloy White Irons, *Wear*, 1997, 203–204, p 206–219.
3. Dogan O.N., J.A. Hawk and G. Laird II, Solidification Structure and Abrasion Resistance of High Chromium White Irons, *Metall. Mater. Trans.*, 1997, 28A, p 1315–1328.
4. Asensio J., J.A. Pero-Sanz, and J.I. Verdeja, Microstructure Selection Criteria for Cast Irons with More Than 10 wt% Chromium for Wear Applications, *Mater. Character.*, 2003, 49, p 83–93.
5. Carpenter S.D., D. Carpenter and J.T.H. Pearce, XRD and Electron Microscope Study of a Heat Treated 26.6% Chromium White Iron Microstructure, *Mater. Chem. Phys.*, 2007, 101, p 49–55.