СФЕРОГРАФИТЕН ЧУГУН С БЕЙНИТНА СТРУКТУРА

AUSTEMPERED DUCTILE IRON

Доц. д-р инж. Л. Хаджикръстев,
"Осъм" АД

Abstract: *In the suggested material except the analysis of the exceptional properties of the spheroidal graphite iron with bainite structure (ADI) and its practical application, it is exposed as well the experience of the foundry Ossam JSC in the town of Lovech at obtaining of more thick-walled castings (up to 40 mm) from unalloyed iron to structure "high bainite" through using intermediate cooling.*
***KEYWORDS**: PETROL-ETHANOL BLENDS, SPARK IGNITION ENGINES, OCTANE NUMBER, HEATING VALUE*

Сферографитният чугун с бейнитна структура (ADI) е изключителен материал с голямо бъдеще. Неговите високи физико-механични свойства го правят ефективен заместител на въглеродните и нисколегирани ляти и ковани стомани. Той предлага най-добра комбинация от ниска цена, гъвкавост при дизайна, добра машинна обработка, високо отношение на издръжливост към теглото, добра якост, устойчивост на износване и на умора. Тази превъзходна комбинация от свойства се допълва и от възможността да бъде отлят, като всеки друг представител на семейството на сферографитните чугуни, като по този начин предлага всички производствени предимства при леенето на стандартния сферографитен чугун.

Приложените стандарти на ADI (EN1564 и ASTMA897M-06) и на сферографитния чугун (EN 1563) показват, че при ADI се постига два пъти по-голяма якост за дадено ниво на удължаване.

Механични свойства

ADI представлява група от материали, чиито механични свойства могат да бъдат променени в широк диапазон, чрез съответния подходящ избор на термична обработка.

1) От приложените стандарти се вижда, че чугуните от групата на ADI започват с якост, равна на най-високата марка сферографитен чугун, при удължение равно на това на най-пластичните марки от същия.

2) Еластичността на ADI е много по-голяма от тази на конвенционалния сферографитен чугун (ВЧ) и еквивалентна или по-висока от тази на конкуриращите го ляти и ковани стомани.

3) Устойчивостта на абразивното износване на ADI е по-добра от тази на материалите от един широк диапазон на якост. Като цяло той има по-добра устойчивост на износване от конкурентните материали за всяко ниво на якост, в т.ч. и от манганова (Хатфилдова) стомана "Г13". Например един компонент от ADI с твърдост 30-40 Rc в абразивно-износваща среда ще се износи в не по-малка степен от отвърнатата и закалена стомана с твърдост 60 Rc.

4) В сравнение с конкурентните материали при ADI има намаление на разходите за машинна обработка. Причините за тази изненадваща комбинация от високи механични свойства и добра обработваемост са две:

а) машинната обработка на по-меките марки ADI е равна или по-добра от стоманите с еквивалентна якост и

б) разширението на ADI по време на термичната обработка позволява в много случаи той да бъде обработен в сурово състояние (след отливане), а след закаляването да се проведат само финишни операции (напр. шлайфане)

5) Чрез повърхностна обработка на детайли от ADI (валцоване, дробоструйна обработка и др. операции, които могат да доведат до повърхностна деформация на закалените изделия) може да се увеличи до значителна степен (60 % и повече) границата на умора.

Високите си механични и експлоатационни свойства ADI получава чрез термична обработка на отливки от сферографитен чугун. Тя се извършва на два етапа:

а) нагряване на отливките в неутрална среда (вакуум, неутрална газова среда, солна вана) до температура 820 до 920 °С и задържането им при нея от 60 до 120 мин.

б) изотермична запалка чрез бързо охлаждане в солна вана (нитрат/нитрит), горещо масло или стопено олово до

температура от 240 до 400 °С и задържане при нея от 30 до 150 минути.

Термичната обработка е операцията, която води до по-високата цена на ADI в сравнение с тази на отливките от обикнования сферографитен чугун. Пак тя до известна степен ограничава по-широкото разпространение на този материал, тъй като изисква изграждането на допълнителни (към леярските) мощности със специфично оборудване.

Първите по-големи количества отливки от ADI са произведени в средата на 70-те години. Информациите от САЩ ("Дженерал Мотърз"), Китай и Финландия сочат, че това са зъбни колела за леки и товарни автомобили. През 1985 г. се появиха първите данни за количествата произведени отливки от ADI – общо около 7000 т (от които в САЩ – 3000 т, Европа – 3000 т, Япония – 1000 т). През 1998 г. световното производство доближава 100 000 т. По-съвременни данни не са публикувани.

Приложения:

Развитието и комерсиализацията на ADI предоставиха на конструкторите нова група от ляти чугунени материали, които предлагат изключителна комбинация от механични свойства, равни на тези на лятите и ковани стомани, и производствени разходи, сходни с тези на традиционния сферографитен чугун. Като допълнение към това забележително съотношение между високи характеристики и раход, ADI предоставя на потребителите широка гама от свойства, всички от които се постигат, чрез промяна режима на термичната обработка на едни и същи отливки, която варира в диапазона от 12-20% удължение с якост на опън 750-800 MPa до 1750 MPa с 1-3% удължение. С тези си свойства ADI успя да се наложи, като алтернатива при много приложения, които преди това бяха изключително монопол на стоманените отливки, изковки, заварени конструкции, синтеровани метални изделия, и алуминиеви изковки и отливки.

Пазарът на ADI покрива всички ниши на производството. Конкретните области на приложения са дадени по-долу.

Компоненти на тежкотоварни камиони и автобуси.

Приложенията при тежкотоварните камиони включват окачващи компоненти, като скоби за ресорни конзоли, амотисьорни скоби, U-образни болтови плочи, колесни главини, спирачни дебеломери и звезди, връзки против напречна деформация, шарнирани куки и зъбни механизми за трансмисионни механизми за шаси на ремаркета. Свързаните с електрическите влакове компоненти от ADI за тежкотоварни камиони и автобуси включват моторни спирачки и рами, разпределителни зъбни колелета, ексцентрици, зъбни венци и картери, пръстени за съединители, второстепенни скоби и скрипци (б.пр.макари).

Компоненти за леки автомобили и камиони.

Приложенията на ADI при леките превозни средства включват окачващи компоненти, панти, вретена, главини, тегличи, захващащи компоненти, диференциални зъбни колелета и картери, моторни и допълнителни скоби, разпределителни

валове, моторни рами, колянови валове и лостове за управление. От 1978 GM произвежда от ADI шарнирни връзки с постоянна скорост за своите 4х4 превозни средства, а в момента това производство тече при оборот от 5000 бр. на ден.

Компоненти за строителството и миньорството.

Този сегмент включва всички видове муфи, пръстевидни носачи, износващи плочки, зъбци на зъбни колела, кожуси, рамена, панти, валове, водещи компоненти, държачи, държачи за инструменти, багерни зъби, резачки, фрезоващи чукове, ексцентрици, връзки против напречна деформация, ръкави, тела и глави за къртачи, съединителни скоби и конвейерни компоненти.

Разни индустриални приложения.

Други индустриални приложения включват скоби, лостови рамена, панти, ексцентрици, връзки против напречна деформация, ръкави, съединителни скоби, конвейрни компоненти, компоненти за крикове, втулки, валяци, компоненти за формовъчна линия, арматури, зъбчати механизми, зъбци за зъбни колелета, настилащи плочи и всякакви видове структурни компоненти и компоненти за предаване на енергия.

Приложения в железопътната индустрия.

Железопътната индустрия използва ADI за окачващи рами, решетъчни качулки и фрикционни клинове, настилни плочи, релсови плочи, резервни колелета, захващащи куки и вагонни колелета.

Приложения в земеделието.

Фермерските и земеделски приложения на ADI включват остриета за рала и плугове, кастрещи машини, семенни резервоари, амонячни ножове, зъбни колелета, зъбци на зъбни колелета, навръзвачни зъбни колелета, разрохвачни остриета, главини за тракторни колелета, пили, дискови части, манивели за обръщане на движението с 90ºС, повдигащи рамена и голямо разнообразие от компоненти за сеялки, плугове, пръдкачки и жътварски машини.

Приложения във военната индустрия.

Военната индустрия относително бавно се ориентира към ADI, но въпреки това някои от приложенията в сектора включват свръзки за релси, брони, артилерийско, техническо и друго хардуерно оборудване за камиони и бронирани превозни средства.

Специални продукти.

Зъбни колелета.

Зъбните колелета представляват едно от най-добре познатите, най-висок потенциал приложения на ADI. В началото на 70-те на миналия век финландската компания Kymi Kymmene Metall започна да заменя кованата стомана с ADI при една широка гама от зъбни колелета, което доведе до много задоволителни резултати.

В Северна Америка, ADI направи важен пробив през 1977, когато General Motors за своите леки коли Понтияк и автомобили тип комби (и двата вида със задно предаване) трансформира производството на зъбни колелета с вътрешни зъби и пиньоните, като замени кованата и повърхностно уякчена стомана с ADI.

През 1983 г. Gummins Engine Co. Започнаха да използват колела, произведени според Клас 8 стандартите на AGMA, за своите дизелови двигатели от серия В и С.

Като допълнение към спестяванията на енергия и намаляването на цялостните производствени разходи, зъбните колела от ADI предлагат следните предимства:

- повишена производителност при машинна обработка
- намаляване на теглото до 10 %
- намаляване на шума при зъбчатия механизъм
- бързо разработване на нови зъбни колела
- повишена устойчивост на задиране

Колянови валове

Коляновите валове са също едно приложение на ADI с висок потенциал.

Двигателите, които се разработват от автомобилната индустрия, изискват намаляването на теглото на компонентите, от които в същото време се изисква да се сравнят с повишената мощност. Автомобилните конструктори са оценили ADI като кандидат, които да измести кованата стомана при производството на колянови валове и сферографитния чугун при подобрението на съществуващите вече колянови валове от СЧ.

При едно документирано изследване върху коляновите валове, проведено в Научния център за Материалите на Манчестър (Англия), авторите демонстрират характеристиките на коляновите валове от ADI при произвеждани на пазара автомобилни двигатели с един и с четири цилиндри. Те отбелязват 10 % намаляване на теглото и изчисляват 30 % спестявания и разходи.

Опитът на “Осъм” АД в производството на ADI води началото си от 1986/87 г. Тогава в изпълнение на спечеления национален конкурс за “Производство на зъбни колела от сферографитен чугун с бейнитна структура” бяха отлети цилиндрични зъбни колела с вътрешни зъби. След термична обработка в условията на МЗ “Искър” – Мездра, същите бяха подложени на изпитание в лабораторията на “Института за електро и мотокари” – София. Образците издържаха необходимия ресурс на умора (10^7 цикли) като от зъбната двойка най-напред започна износването на стоманения образец.

Конструкторите обаче не поеха отговорност за промяна на материала, но на основа на добития опит от тогава до днес (вече 23 години) “Осъм” АД отлива от сферографитен чугун всички лопатки и бързоизносващи се части от дробометните апарати на чистачните камери. Термичната обработка до долен бейнит се извършва в кооперирано предприятие като отпаднаха всички проблеми, свързани с високата цена и качеството на доставянето им до тогава от легирана стомана.

Дробометни лопатки бяха отляни и за “Видима идеал” Севлиево и до сега работят успешно.

През 2006 г. по поръчка на френската фирма “Sulaire” беше приета поръчка за 3 бр. отливки от бейнитен чугун марка “1050 – 750 – 07” по ASTMA897 / A897 – 06. Ежегодните поръчки продължават и понастоящем.

От няколко фирми се получават искания за оферти за производство на по-дебелостенни и тежки отливки от ADI. Това обаче поставя проблеми при термичната обработка, тъй като нелегирания чугун при пряко закаляване при температури над 360 º С не може да се осигури бейнитна структура по цялото сечение и се получава перлит при дебелини над 16 мм [1]. Това ограничава възможността за производство на такива отливки без използването на скъпи легиращи елементи като Cr, Ni и Mo.

Ограничението засяга предимно пластичните марки ADI (750 – 500 – 11; 900 – 650 – 9 и 1050 – 750 – 7), при които бейнитната трансформация изисква по-висока температура. За да се изясни въпроса с възможността за получаване на бейнитната структура в по-дебелостенни отливки от нелегиран чугун, в “Осъм” АД бяха проведени следните експерименти: Цилиндрични пробни тела с диаметър 30 мм бяха подложени на термообработка при следния режим:

1) аустенитизация – 60 мин при 900 º С. Определихме, че това е оптималното време при изходна ферито-перлитна структура (75 : 25) и 125 / 150 бр. Графитни центри на мм2.
2) Изотермично закаляване в солна вана, както следва
- 60 мин. при 320 º С
- 30 мин. при 360 º С
- 30 мин при 400 º С

При 320 º С и при 360 º С се получи изцяло бейнитна структура, тъй като скоростта на охлаждане е по-висока. При образците, закалени на 400 º С на приблизително 5 мм от повърхността започна да се образува перлит като малки участъци, свързани с графитните сфери, за да стигне до 100 % в централната зона с диаметър 15 мм. Следващите отливки бяха подложени на термична обработка в съответствие с технологията на фирмата “Георг Фишер” [2], която осигурява бързо охлаждане без да се пресича перлитния връх на TTT диаграмата за нелегирани чугуни (550 – 600 º С) и се състои в следното:

3) – аустенитизация 60 мин при 900 º С

- охлаждане в солна вана при 245 º С и задържане 3 минути
- бейнитно превръщане при 400 º С – 30 минути

Закалените образци с диаметър 30 мм показаха структура горен бейнит по цялото сечение с твърдост 27 – 30 HRc, което отговаря на изискванията за марка “750 – 500 – 11” от ADI. Извършената проверка показва отсъствие на мартензит, за наличието на който имаше съмнение, тъй като температурата на закаляване (245 º С) беше близо до мартензитната точка (232 º С). Резултатът показва 2 пъти по-дълбоко прокалена зона от посочения по- горе [1] резултат.

При закаляване при горните условия на образци с диаметър 50 мм, бейнитната зона се получи само на дълбочина 6-7 мм. Това показва, че за такива дебелини (модул 1,25 см) чугунът трябва да се легира.

Или изводът от направените експерименти показва, че методът с междинно охлаждане може да се използва за разширяване на възможностите за изотермично закаляване на отливки от нелегиран сферографитен чугун. Разбира се икономическият анализ ще покаже, кой метод е по-рентабилен – да се работи с 3 пещи или да се използва легирането с Cu, Ni и Mo.

Литература:

1. P.A. Blackmore & R.A. Harding “The effects of metallurgical process variables on the properties of austempered ductile irons”

2. C. Luiten. “Furnances and Atmosphere for ADI Treatment”. 2-nd International Conf. on Austempered Ductile Iron, Productivity and Cost, P 291 – 296, Ann Arbor MI Mar 17-19, 1986