



# 離子氮化表面硬化處理重型機械及卡車柴油引擎用球墨鑄鐵活塞之磨耗行為研究

學生：李泰達、黃煜文、郭亮均、張震宇

指導老師：林宏茂 副教授

本研究是利用沃斯回火熱處理(ADI)對FCD600-10固溶強化肥粒鐵基(SSF)球墨鑄鐵添加不同比例V(鈦)，分別添加1%V、2%V及3%V。鈦是碳化物之促進元素，可形成碳化鈦提高硬度、耐磨耗性並增加鑄鐵的淬透性，且將部分試片進行沃斯回火球化處理(ADI)，來提高強度、韌性及消除沃斯田體的程度，再將部分做完ADI製程後試片進行離子氮化處理，可以讓ADI後的組織 $Fe_3C$ 變成氮化鐵進而獲得更高的硬度以及較好的耐磨性質而且同時兼耐磨性與耐腐蝕性。將上述材料進行機械性質測試。由實驗結果得知添加不同比例V的表面硬度隨著V的添加量的提升硬度值有些許的上升，進行ADI製程，由金相微觀組織觀察發現除了含有碳化鈦之外還含有上板狀沃斯肥粒體，經測量發現添加不同比例V後ADI的表面硬度值相較只添加V的試片硬度有明顯的提升。最後進行離子氮化後測量表面硬度值又有所提升。X光繞射結果顯示 FCD600 球墨鑄鐵經ADI製程後所呈現的主要成分為 $Fe_3C$ 、 $Fe_5C_2$ 相，離子氮化後所呈現的主要組成相為  $FeN$ 、 $Fe_3N$ 相。極化曲線結果顯示FCD600 球墨鑄鐵添加不同比例V進行ADI製程且離子氮化後的耐腐蝕效果優於添加不同比例 V 後進行ADI製程與只添加不同比例 V 的FCD600試片，且在添加不同比例 V 的試片之間做比較能得出添加較多 V 可以擁有較好的抗腐蝕效果。藉由磨耗試驗求得磨耗損失，發現隨著鈦元素的添加量增加，相同荷重中磨耗損失較少，可知提高鈦的添加量可以提升球墨鑄鐵之硬度及耐磨耗性。

表1 添加不同鈦含量之化學成分(wt%)

sample	C	Si	Ni	Mo	Mn	P	S	Mg	Fe
1%V	2.81	4.26	0.297	0.060	0.260	0.017	0.001	0.022	Bal.
2%V	2.95	4.40	0.313	0.062	0.252	0.018	0.002	0.062	Bal.
3%V	2.88	4.13	0.283	0.061	0.252	0.021	0.005	0.035	Bal.

表2 沃斯回火處理條件

	FCD600-V
Austenizing	900°C/2hrs
Austenitizing	300°C/2hrs

表3 離子氮化處理條件

	條件
溫度	480°C/2小時
後氧化處理	2.5小時
氮氣:氧氣	1:3

表4 循環式磨耗參數

參數	條件
荷重	5 N, 6 N, 7 N
轉速	300 rpm
行走直徑	5 mm
滑動距離	100 m
對耗材	$Al_2O_3$

表5 線性磨耗參數

參數	條件
荷重	2N, 3N, 4N
行走距離	500m
全振幅	15mm
頻率	5Hz
對耗材	$Al_2O_3$

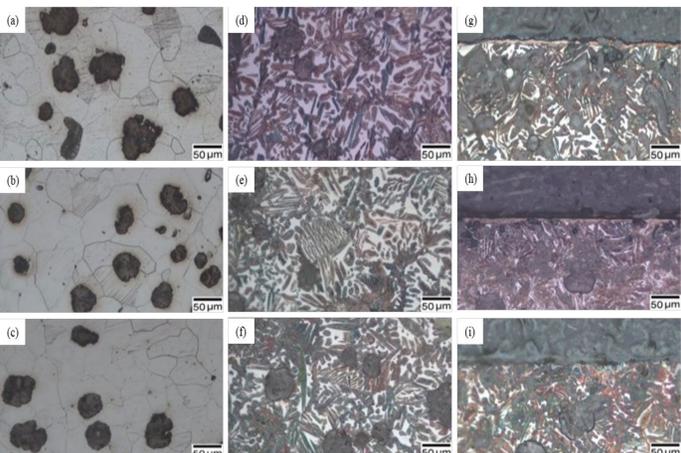


圖1 鈦添加量對鑄態及ADI後與經ADI後離子氮化之球墨鑄鐵金相組織(a)1%V (b)2%V (c)3%V (d)1%V(ADI) (e)2%V(ADI) (f)3%V(ADI) (g)1%V(ADI)+N (h)2%V(ADI)+N (i)3%V(ADI)+N

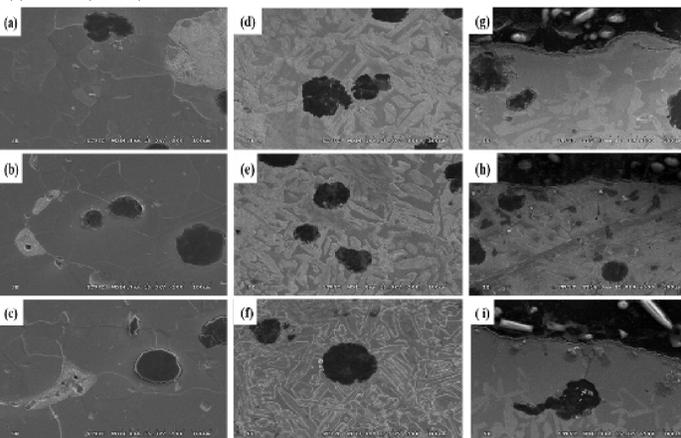


圖2 鈦添加量對鑄態及ADI後與經ADI後離子氮化之球墨鑄鐵SEM組織(a)1%V (b)2%V (c)3%V (d)1%V(ADI) (e)2%V(ADI) (f)3%V(ADI) (g)1%V(ADI)+N (h)2%V(ADI)+N (i)3%V(ADI)+N

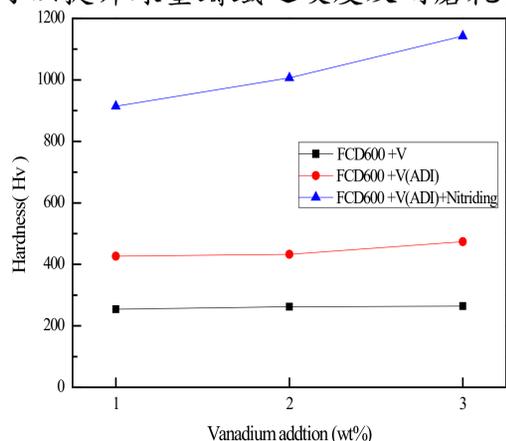


圖3 鈦添加量對鑄態及ADI後球墨鑄鐵之表面硬度比較圖

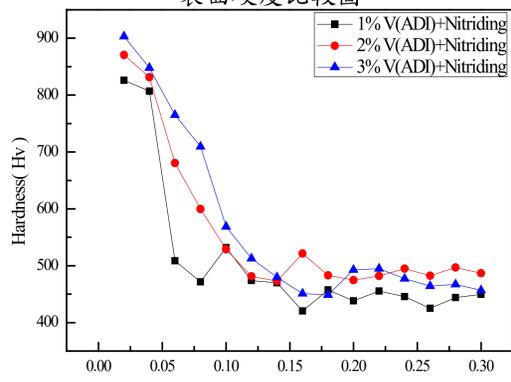


圖4 離子氮化球墨鑄鐵橫截面硬度比較圖

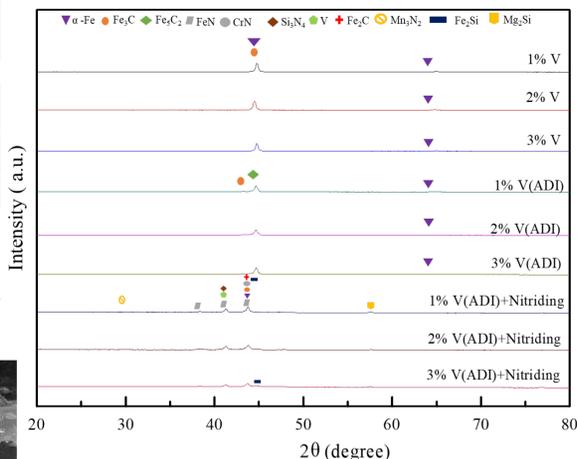
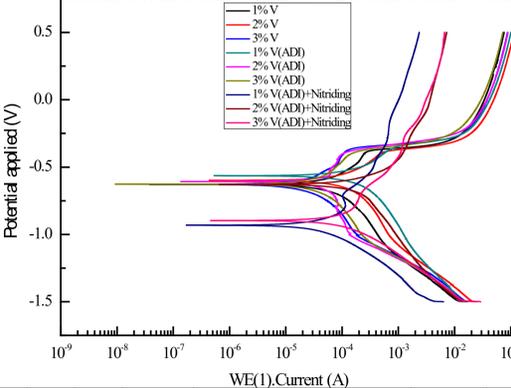


圖5 添加不同鈦含量球墨鑄鐵的鑄態及ADI後與離子氮化後之X-光繞射圖



	1%V	2%V	3%V	1%V(ADI)	2%V(ADI)	3%V(ADI)	1%V(ADI)+Nitriding	2%V(ADI)+Nitriding	3%V(ADI)+Nitriding
$i_{corr}(A/cm^2)^{-6}$	6.578	5.832	2.594	9.066	6.292	3.243	5.638	14.93	21.47
$E_{corr}(V_{Ag/AgCl})$	-0.6288	-0.5992	-0.6278	-0.674	-0.565	-0.6268	-0.93227	-0.62956	-0.8982

圖5 添加不同鈦含量球墨鑄鐵的鑄態及ADI後與離子氮化後極化曲線比較圖

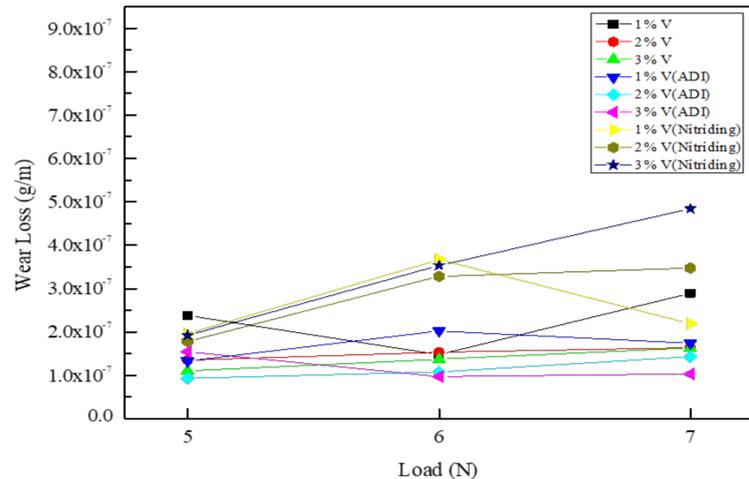


圖6 鑄態及ADI後與經離子氮化後球墨鑄鐵之循環式磨耗損失比較圖

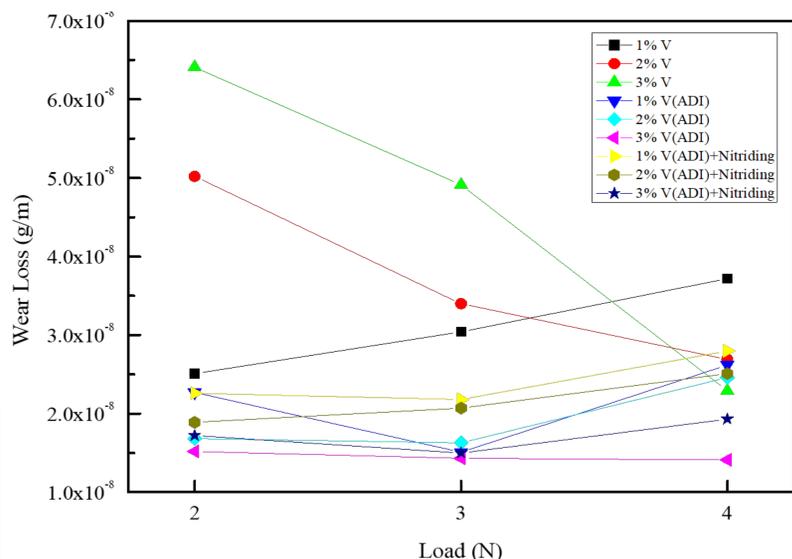


圖7 鑄態及ADI後與經離子氮化後球墨鑄鐵之往復式磨耗損失比較圖

## 結論

- 由金相圖可以得知經過ADI後之球墨鑄鐵會形成較硬較有韌性的上板狀沃斯肥粒體，而經ADI後離子氮化之球墨鑄鐵會形成後氧化層提高耐磨耗性及疲勞性。
- 經ADI後離子氮化之球墨鑄鐵的硬度較硬，但由於氮化層為非單一相因此硬度值由最外層往基材內部遞減。
- 由XRD圖可得知其主要組成相為 $\alpha$ -Fe、 $Fe_3C$ 、 $FeN$ 、 $Fe_2N$ 、 $Fe_3N$ 、 $Si_3N_4$ 相。
- 經由極化圖可以得知經ADI後離子氮化之球墨鑄鐵 $i_{corr}$ 值較大，代表耐腐蝕能力較好，而ADI後之球墨鑄鐵 $E_{corr}$ 值較趨近於0，代表腐蝕時間較長。
- 由循環式磨耗損失比較圖發現，隨著鈦元素的添加量增加，相同荷重中磨耗損失率較少，可知提高鈦的添加量可以提升球墨鑄鐵之硬度及耐磨耗性。另一方面，經沃斯回火熱處理後球墨鑄鐵之磨耗損失較好的。
- 由線性磨耗損失圖發現ADI後硬度磨耗會越好，損失會下降，另外荷重越重，表面上的氮化層會有剝落、裂紋產生，發現荷重2N會比較適合，鑄鐵基底本身也夠軟，氮化後硬度會再提升，而發現離子氮化後添加2%V是較好的。

