

離子氮化技術應用於發電設備之耐磨、耐蝕與抗疲勞構件

邱善得*

Applying Ion Nitriding on Components of Power Industry to Improve Resistances of Wear Corrosion and Fatigue

San-Der Chyou*

摘 要

根據運轉經驗，許多發電設備常因其主要構件表面損壞而導致設備失去功能。常見的例子如各種發電廠所用循環水泵翼片之凹渦磨蝕(cavitation-erosion)、水力發電廠所用水輪機組件之衝蝕，以及各式閥桿之斷裂等。因為氮化可用於增加材料表面硬度，從而增進其耐磨、耐蝕、耐氧化與抗疲勞等性能，所以氮化是改善上述問題的一種有效方法。離子氮化與傳統氮化法比較，具有許多優點，因此該技術已逐漸應用於工業界。但離子氮化技術在電力工業方面的報導仍缺乏，因此本文乃針對「如何將離子氮化技術應用於電力設備元件，從而延長該設備的壽命？」撰文作一簡單介紹。

關鍵詞彙：離子氮化，磨耗，凹渦磨蝕，疲勞

ABSTRACT

According to operation experience, many facilities of power generation lose their function due to surface damage occurring on some critical components. Followings are three typical examples of such failures, such as the cavitation erosion of sea water pump for all types of power plants, the needle valve for hydraulic power stations, and the valve stem for different types of power stations. Increasing surface hardness is an effective and economic method to solve these problems. Nitriding is a good option to increase the surface hardness, in turn, enhance the resistances of wear, corrosion, oxidation, and fatigue. Ionic nitriding owns many advantages over conventional nitriding techniques. Therefore, today it has been widely used in industry. However, the report about applying this technique in power industry is still lack. Hence, this article is aimed at introducing the utilization of ionic nitriding in power industry.

Key words: ion nitriding, wear, cavitation-erosion, fatigue

一、離子氮化之發展歷史與原理

鋼品經由氮化增加表面硬度，在近50年來成為一重要商業處理方法^(1~4)。它的重要性在於鋼

*台灣電力公司電力綜合研究所

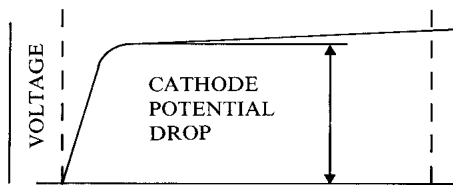


圖 1 輝光放電兩極間的電壓分佈

Fig. 1 Cathodic potential drop during ion nitriding.

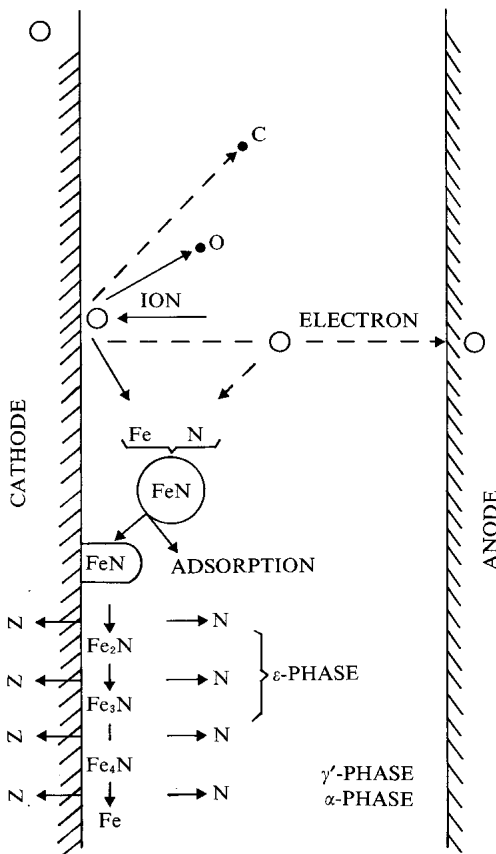


圖 2 離子氮化原理說明圖

Fig. 2 Reaction between plasma and surface of work piece.

品經過氮化後，可以得到高硬度表層而不影響基材性質。雖然氣體氮化及鹽浴軟滲氮是傳統使用氮化法，但離子氮化和傳統氮化法比較，具有快速、無公害、節省能源等項優點。最近的研究發現，對同一鋼品而言，離子氮化之心部 (core) 性質及表面硬度皆優於傳統氮化法^(5,6)。離子氮化最引人注意的是能夠處理不銹鋼。因為對大多數應

用於防蝕目的構件，表面皆具有一緻密氧化層，它在表面形成時將阻礙氮的擴散，而離子氮化卻能克服此項困難。

因為離子氮化是利用高電壓，低真空下所產生之輝光放電 (glow discharge) 促使氮及氫氣游離為正離子或帶正電的氮氫離子，然後這些離子受到強大的電場作用而撞向陰極，由於所有的電壓分佈如圖 1⁽⁷⁾ 所示，其電場在陰極附近達到最大，所以整個過程可視作和試片與爐壁陽極間的距離無關，而輝光層 (glow layer) 只發生在試片表面約 15~25mm⁽¹⁾。在此陰極降 (cathodic fall) 區域可能發生之反應有以下四種：(參見圖 2)

- (1) 因高壓放電，使氮氣離子化而形成 N^+ 離子。
- (2) N^+ 離子撞擊至陰極表面，不僅加熱陰極，亦將表面氧化物撞出以達到清除陰極表面目的，同時也撞擊出鐵原子。被撞出鐵原子與由離子放電而生成的氮原子結合形成 FeN 。
- (3) FeN 吸附於陰極表面，因被處理物之溫度上升及離子不斷衝擊遂逐漸分解成含氮量較低之氮化鐵及氮原子。氮原子則滲入試片內部和合金元素如 Al , Cr , Ti , V 等形成 AlN , CrN , TiN , VN 等氮化物。亦即⁽⁸⁾發生下面各反應：

$$\text{氮氫混合氣體電漿} \rightleftharpoons \varepsilon - Fe_2N_{1-x} \text{ (高氮)}$$

$$\varepsilon - Fe_2N_{1-x} \text{ (低氮)} \rightleftharpoons \gamma' - Fe_4N \text{ (高氮)}$$

$$\gamma' - Fe_4N \text{ (低氮)} \rightleftharpoons CrN \text{ or } Cr_2N$$

$$CrN \text{ or } Cr_2N \rightleftharpoons \gamma \text{ or } \alpha' \text{ (高氮)}$$
- (4) 分解之氮原子有部分回到電漿中與鐵原子結合而反覆進行上述之反應。

二、離子氮化設備與操作步驟

一般用以離子氮化之設備如圖 3 所示，圖中所示離子氮化之設備係由放電處理爐、直流電產生器、真空泵、供氣設備、陽極爐體之冷卻水系統、紅外線溫度計等所構成。其操作步驟如下：(1) 將欲處理工件徹底洗乾淨，以免發出電弧。一般工業上用三氯乙烷或三氯乙烯 (稍具毒

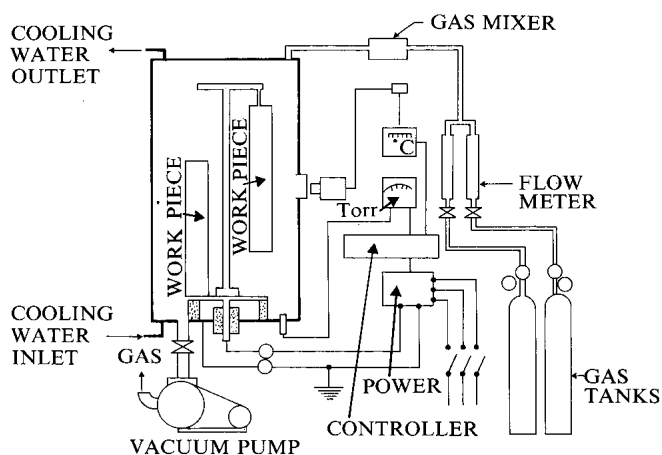


圖 3 離子氮化設備示意圖

Fig. 3 Schematic diagram of the ion nitriding set-up.

性) 將工件洗淨, 或將工作泡在丙酮內以超音波振盪洗淨。(2) 將爐蓋打開, 把工作架(陰極)吊起, 再依適當距離將工件擺在工作架上。此時應確保工件及整個爐內之乾淨, 故工作人員應戴塑膠手套, 以免手沾污工件。(3) 將工作架放回原位, 密封爐蓋, 開始抽真空。(4) 直到爐內真空度達 $10^{-3} \sim 10^{-4}$ torr 後, 再導入氮氣與氫氣之混合氣體, 調好所需之氮、氫比例。真空泵一直繼續運轉, 此時爐內氣壓調在 2 torr。(5) 起動冷水泵。(6) 開始導通直流電, 電壓應慢慢上升, 不可急驟上升, 以免發生電弧, 同時將紅外線溫度計調整對準爐內之工件, 接著將爐內氣壓慢慢升至所需壓力。(7) 將溫度設定好, 溫度利用電壓來控制。(8) 等溫度穩定後開始計時。設定處理時間, 達到所需處理時間後, 將直流電關掉。若為自動控制者會自動切掉。(9) 等工件冷卻後, 關掉冷卻水, 關掉氣體, 將爐蓋打開, 取出處理好的元件。

三、離子氮化後之材料組織與性質

3.1 離子氮化後材料之組織

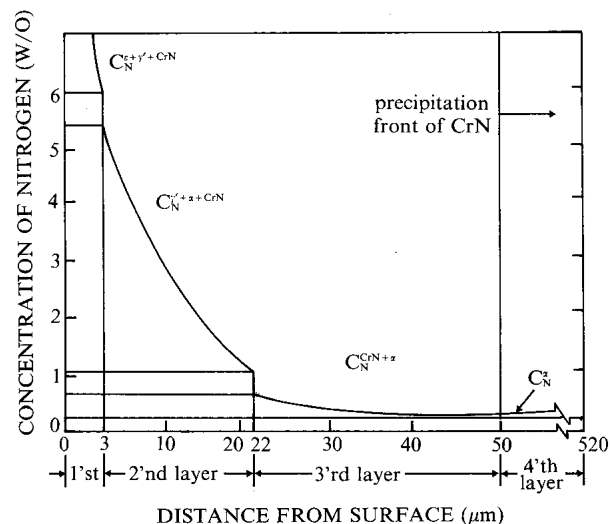


圖 4 SAE 4140 經離子氮化 (560°C, 50 小時) 後之氮濃度、深度分佈圖

Fig. 4 Schematic representation of the concentration depth profiles of nitrogen for SAE 4140 nitrided layers.

SAE 4140 低合金鋼在 560°C 下進行離子氮化 50 小時後, 氮原子逐漸擴散進入材料內部, 圖 4 顯示一典型的組成—深度分佈圖⁽⁹⁾。依所生成化合物之種類, 由外而內, 其組織可分成四層。最外層(第一層)最薄, 僅 2-3 μm, 它是由 $\gamma'-(\text{Fe,Cr})_4\text{N}$ 和 $\epsilon-(\text{Fe,Cr})_{2-3}\text{N}$ 及 CrN 三種化合物所構成。第二層厚約 19-22 μm, 它是由 γ' , CrN 以及 α 相基材所構成。第三層約 50 μm, 它是由 CrN 及含固溶氮原子之 α 相基材所組成。第四層約 450 μm, 此層不含任何化合物相, 僅由含固溶氮原子的 α 相基材所組成。

3.2 離子氮化對材料耐蝕性之影響

SAE 4140 經離子氮化處理後, 置於空氣中, 氧會慢慢擴散進入 $\epsilon-(\text{Fe,Cr})_{2-3}\text{N}$ 及 $\gamma'-(\text{Fe,Cr})_4\text{N}$ 等氮化物孔隙中, 形成一厚約 9000 Å 的緻密氧化氮化物層 (Oxy-nitride layer)⁽¹⁰⁾ (圖 5)。此一表層可以阻絕材料基地與環境間之接觸, 從而降低其腐蝕速率。普通鋼材在濃硝酸中會自發

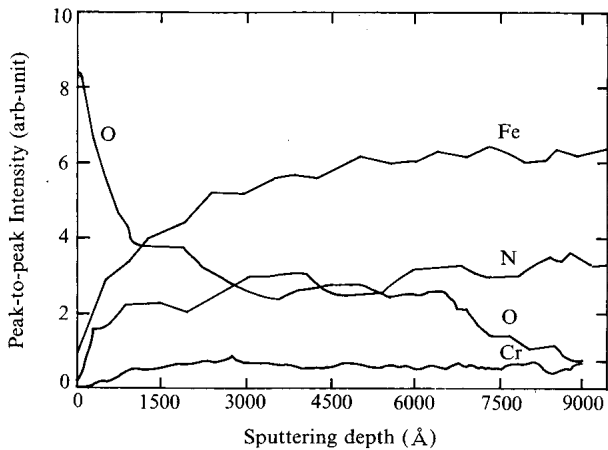


圖 5 離子氮化過後之SAE 4140低合金鋼 (560°C, 氮化50小時), 置於空氣中一段時間後之Auger組成深度分佈圖

Fig. 5 Auger depth-concentration profiles of SAE 4140 ion nitrided layers.

性地產生鈍態, 其臨界濃度約16M。作者曾以電化學腐蝕試驗方法評估經離子氮化之SAE 4140⁽¹¹⁾, 結果發現經氮化處理, 上述臨界濃度降至8M。換言之, 經離子氮化處理, 可以促進SAE 4140低合金鋼自然產生鈍態之能力, 亦即改善其抗蝕能力。經離子氮化處理之SAE 4140浸於8M HNO₃中24小時後, 以X-光光電光譜分析, 其結果證實氮化SAE 4140在8M HNO₃中, Fe會優先溶解, 造成材料表面之N和Cr濃度增加, 從而形成一多層銹氧化物(Cr₂O₃、Cr(OH)₃·H₂O)、鐵氧化物(γ -FeOOH、Fe₂O₃)及氮化物((Fe,Cr)₄N、(Fe,Cr)₂₋₃N·CrN)之鈍態結構⁽¹¹⁾。離子氮化可以改善SAE 4140低合金鋼之抗蝕性, 此一結論可以對氮化及未氮化兩種材料之電位—pH作一比較, 而獲得更清楚的概念。圖6即是未經氮化處理之SAE 4140, 置於0.5% NaCl中, 所測得之電位—pH關係圖; 而圖7則是經氮化處理之同樣材料在同樣溶液中之電位—pH關係圖。比較此二圖即可明顯看出, SAE 4140經離子氮化處理, 其電位—pH圖中所示均勻腐蝕區大幅縮小, 而鈍態區相對擴

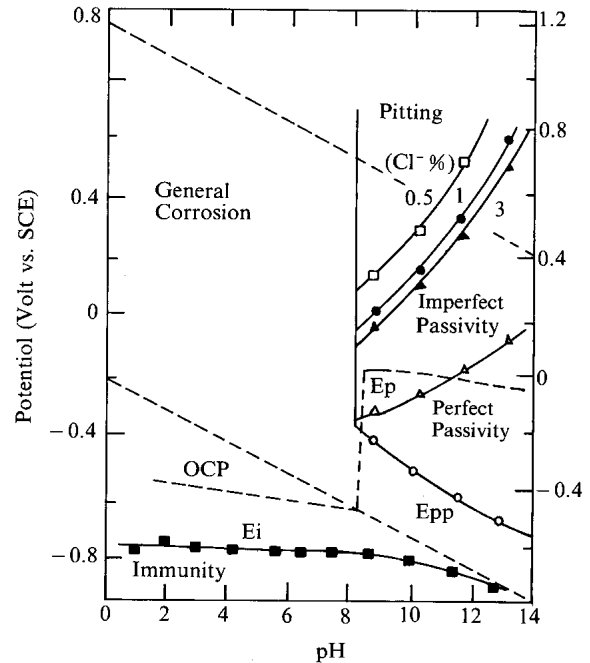


圖 6 未經氮化處理之SAE 4140在0.5% NaCl溶液中之電位pH圖

Fig. 6 Potential-pH diagram of un-nitrided SAE 4140 steel in 0.5% NaCl solution.

大⁽¹¹⁾, 顯示離子氮化有助於增進低合金鋼之抗蝕性。

3.3 離子氮化對材料硬度的影響

SAE 4140經離子氮化處理後, 依3.1節敘述, 其組織為一四層結構(圖4)。其中第一層和第二層主要由 γ' -(Fe,Cr)₄N和 ϵ -(Fe,Cr)₂₋₃N形成一化合物層, 其厚度僅有20 μ m左右, 這是既硬且脆的表面層。至於第三層以上, 主要是氮原子擴散進入 α 鐵基地, 形成固溶體。由於氮原子處於差排附近寬鬆部位, 填補其缺陷, 具有鎖定差排之功能, 從而增進材料之剛性(stiffness), 亦即增加材料之硬度。另或是氮原子塞入鐵之正常格子位置, 體積膨脹而產生一應變場, 從而獲致高剛性與硬度。

圖8即顯示一經離子氮化處理過之SAE 4140的硬度—深度分佈圖。SAE 4140在

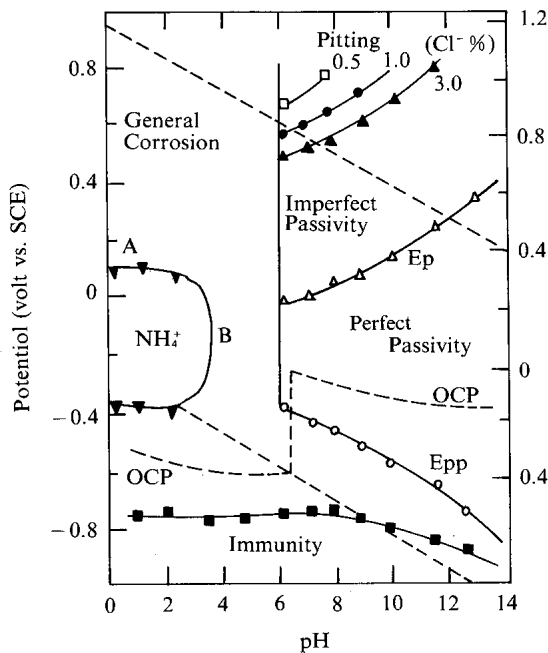


圖 7 經離子氮化處理之SAE 4140在0.5%NaCl溶液中
之電位pH圖

Fig. 7 Potential-pH diagram of nitrided SAE 4140 steel in 0.5% NaCl solution.

560°C下，經過50小時離子氮化處理後，硬化層達520 μm ，表面最大硬度達780Hv。圖9則是AISI 410和AISI 304經過同樣條件之離子氮化處理後之硬度—深度分佈圖。由圖可看出兩種不銹鋼經處理後，表面硬度可由200~400Hv提升至1300Hv以上。而硬化深度也可達數百 μm ⁽¹²⁾。

3.4 離子氮化對材料耐磨之影響

將經過離子氮化與未氮化處理之材料製成磨耗試驗試體，以SRV磨耗試驗機進行往復式對磨試驗。(FRETING TEST)試驗以控制負荷、衝程、頻率等變數之方式進行。

圖10是SAE 4140材料，在頻率100Hz，衝程0.5mm，改變負荷下之試驗結果。此結果顯示，經過離子氮化處理後，SAE 4140之耐磨性獲得明顯的提升。

圖11則是AISI 304和AISI 410不銹鋼，在負

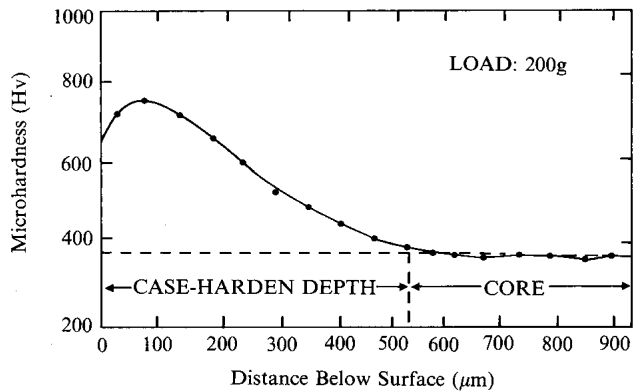


圖 8 離子氮化處理SAE 4140之典型的硬度—深度分佈圖（氮化溫度560°C，處理時間50小時，硬度測量荷重200gf）

Fig. 8 Typical microhardness-depth profile of ion nitrided SAE 4140 steel (560°C, 50hr, load: 50g).

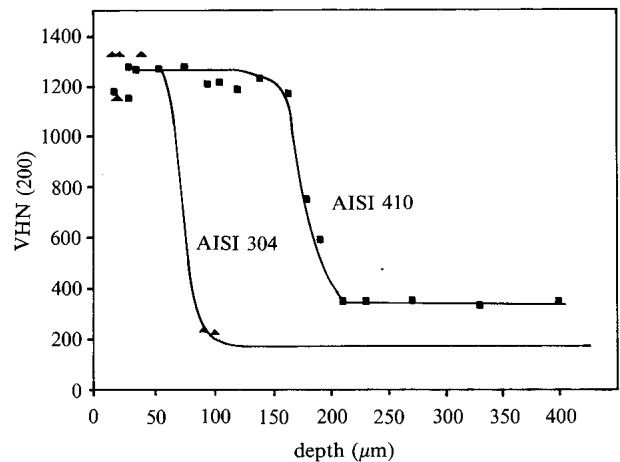


圖 9 不銹鋼氮化之微硬度曲線

Fig. 9 Microhardness-depth profiles for AISI 304 and AISI 410.

荷500Nt，頻率50Hz，衝程1mm下所測得之往復對磨試驗結果。圖中顯示經過離子氮化處理後，兩種不銹鋼的耐磨性能獲致明顯的提升。

3.5 離子氮化對材料疲勞強度之影響

氮原子擴散進入材料表面後，對材料表面產生一壓縮應變場，從而可以改變材料的抗疲勞性能。圖12即顯示氮化對鋼材抗疲勞性之影響⁽¹³⁾，經氮化處理後，鋼材之疲勞限有明顯的提升。

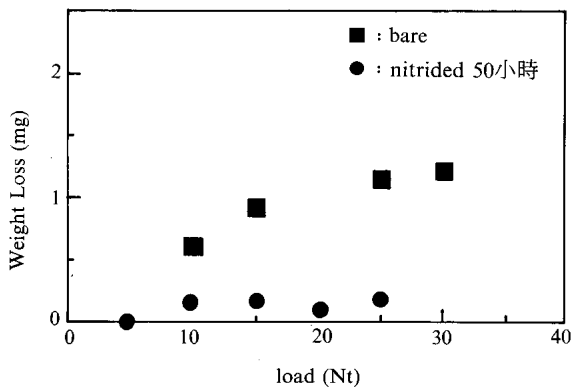


圖10 在頻率100Hz，移距0.5mm，時間30min，改變負荷之SAE 4140滲氮與未滲氮不同型試片，往復對磨後結果

Fig. 10 Wear loss for nitrided and unnitrided SAE 4140.

(Frequency: 100Hz, Stroke: 0.5mm, time: 30min.)

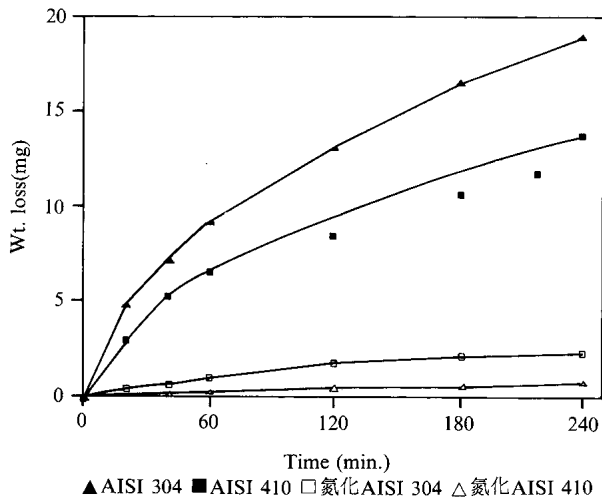


圖11 不同試片在負荷50Nt，頻率50Hz，衝程1mm下對磨時間與重量損失關係圖

Fig. 11 Wear loss for 4 different types of stainless steels.

(load: 50Nt, frequency: 50Hz, stroke: 1mm)

四、水力電廠針閥之離子氮化處理

4.1 水力電廠針閥之損壞情況

針閥是水力發電廠中一重要機件，其功能在於調節發電用水量之大小，其機造如圖13所

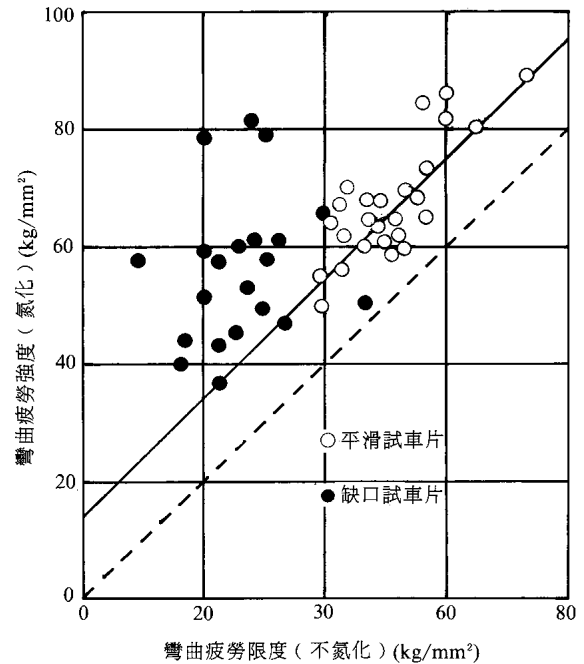


圖12 氮化對鋼材抗疲勞性之影響

Fig. 12 Effect of nitriding on the fatigue of carbon steel.

示。由於大量水流經針閥之喉口時，挾著高硬度(HRc64)細砂的高速水流，經常導致針尖及閥座磨蝕而不堪使用。一般電廠針閥的平均使用壽命僅數月，亦即運轉不到一年即必須停機檢修此一機件，是以本問題經年累月困擾著各水力電廠的運轉人員。表一是一水力電廠的針閥使用及改善記錄。表中顯示，原廠的設計材料為13Cr鋼，其閥座硬度為HRc31~35，平均使用壽命約8個月。在本研究之前已嘗試過表面硬鉚法來改善之問題，但尚未成功。表面硬鉚的鉚條材質，閥座使用13Cr-4Ni，針尖採用TH-50N-4；鉚後針尖硬度達HRc51，而閥座硬度達HRc23~29。硬鉚品經現場試用，6個月後損壞。是否是因為鉚接不良，造成性能未能發揮，必須進一步追蹤研究。

由損壞後的機件研件，其損壞原因絕非是單純的磨耗(Wear)現象。由於損壞均發生於喉口水流最急處，據此研判，針閥之損壞應屬凹渦磨蝕

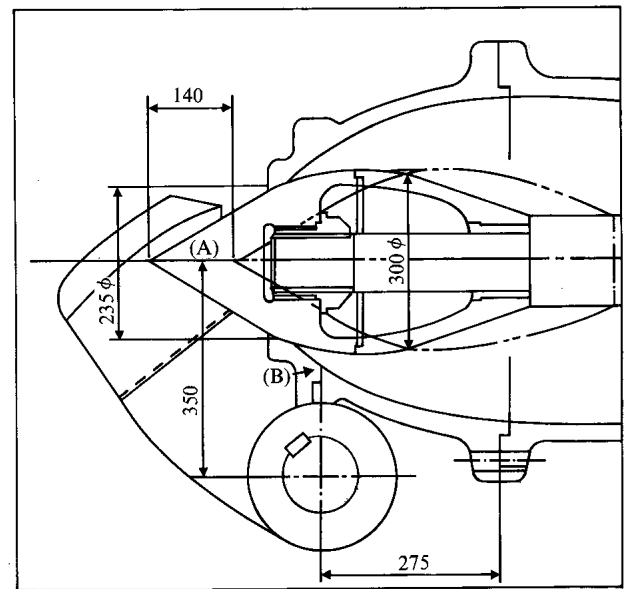
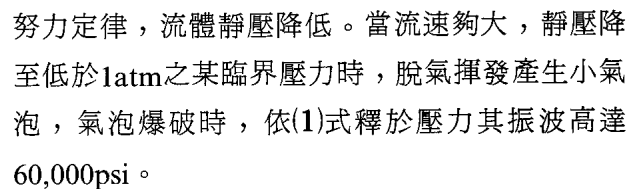


圖13-c 針閥構造圖——針尖與閥座配合使用情形

Fig. 13-c Diagram of needle valve-whole set.


$$\Delta \mathbf{P} = \frac{2\gamma}{r} \cdot \dots \cdot \quad (1)$$

其中 γ : 表張力

P : 壓力

氣泡形成與爆破，摧毀表面保護膜並造成加速腐蝕的機構如圖14-1及圖14-2所示。

(1)氣泡在保護膜上形成。

(2)氣泡爆破並摧毀保護膜。

(3)無保護膜的表面腐蝕，保護膜再生。

(4)新氣泡再形成。

4.2 凹渦—磨蝕 (Cavitation-Erosion) 的原理⁽¹⁴⁻¹⁸⁾

– 187 –

表一 水力電廠針閥使用及改善記錄表

材質與處理		機械性質	硬度 (Hr.)	機械強度	伸長率	衝擊強度	使用時間
原廠家設計 (母材13Cr鋼)	針尖 閥座		46-50 31-35	150kg/mm ² 100kg/mm ²	4% 4%	— —	8個月
母材13Cr鋼表層鍍硬面約5mm深	針尖 (TH-50N-4) 鍍條 閥座 (13Cr-4Ni) 鍍條		51 23-29	— 90kg/mm ²	— 18%	— 54J/cm ²	6個月
委託台機製作13Cr-4Ni材質 (980°C ~1010°C淬火300°C~400°C回火)	針尖 閥座		31以上 31以上	110kg/mm ² 110kg/mm ²	9% 9%	70J/cm ² 70J/cm ²	
電漿氮化硬面處理(溫度約550°C) 母材使用410 (13Cr鋼)	針尖 閥座		65 60	— —	— —	— —	本研究
水力電廠砂質硬度			64				

表二 ASTM-A193 Gr.B7之規格組成及破損件組成

ASTM-A193 Gr.B7規格組成 (wt%)	C	Mn	P	S	Si	Cr	Mo
	0.37	0.65	<0.035	<0.040	0.15	0.75	0.15
	0.49	1.10			0.35	0.20	0.25
破損件組成	0.44	0.7	<0.02	<0.01	0.24	0.15	0.002

(5)氣泡再摧毀保護膜。

(6)無保護膜的金屬面再度腐蝕，膜再度生成。

以上程度反覆進行，導致深坑狀的表面。

若將受到破壞材料切下作金相觀察，將發現表面晶粒異於材料內部晶粒，表面晶粒有明顯的因受振波壓力壓扁而呈現扁長狀。這種損害是機械與化學兩種因素混合的結果。機械影響可由晶粒受到壓扁、扭曲獲得證實。一些報告也顯示化學因素的影響，例如腐蝕速率在污染海水中大於清淨海水，兩者又大於清淨的河水。上述所示機構，金屬並非一定要有保護膜才會發生凹渦腐蝕，氣泡爆破的巨大壓力足以將金屬顆粒自表面撕離。一旦金屬表面有一點粗糙面產生，則該點便成為孕育氣泡的有利位置，因此凹渦腐蝕是一種自我催化，加速腐蝕。

綜合上述，改善凹渦腐蝕的方法可歸納如下：

- (1)減少液體流速不穩，造成的淨壓差。
- (2)將葉片表面磨平，減少氣包成核位置。
- (3)採用耐蝕、耐磨材料。
- (4)金屬元件表面塗以富於彈性的塗裝，例如橡膠或塑膠，但需考慮塗裝與金屬間接合性。
- (5)陰極保護。
- (6)金屬元件之表面硬化處理。

4.3 水力電廠針閥離子氮化處理

由於離子氮化可用來處理410不銹鋼，氮化後尺寸變化甚微，氮化後表硬化層與母材結合性良好，表面硬度可以達HRC65以上，且硬化層厚度可隨處理時間之延長而加深，因此本法對針閥

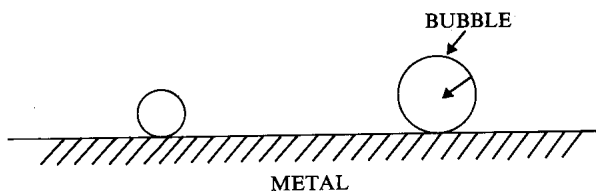


圖14-1 氣泡在金屬表面形成

Fig. 14-1 Forming bubbles on metal surface.

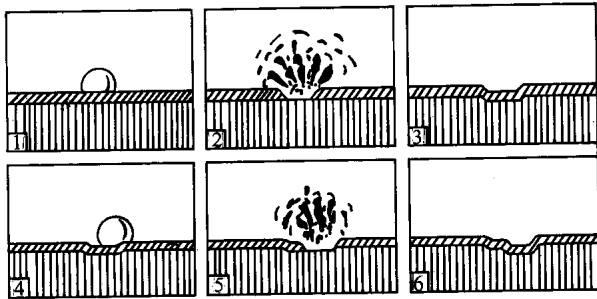


圖14-2 凹窩磨蝕(cavitation-erosion)示意圖

Fig. 14-2 Schematic diagram of cavitation-erosion

之損壞問題之解決亟具潛力，值得嘗試。因此乃就研究結果，擬定離子氮化處理步驟如下。

待處理針閥二組（每一組含針尖及閥座各一個），此二組材料中一組是母材為401不銹鋼之鑄造新品，另一組為送修舊品，經用410焊條焊修過。離子氮化處理前先測得硬度，俾處理後比較。處理後再作硬度測量，金相觀察，X-光繞射分析以確定處理是否正常。兩組針閥經過半年試用後作比較發現，離子氮化處理過者之抗凹渦抗磨蝕性能優於未處理者。

五、氮化技術與運轉案例

5.1 火力電廠汽機右側節流閥閥桿斷裂

一火力電廠之汽機右側節流閥閥桿(Throttle Valve Stem)，其原廠家設計使用年限30年，但民國65年開始運轉，於民國78年發生斷裂，使用僅13年，另同一電廠另一機組及另一電廠也有類似斷裂記錄。據查此閥桿之工作溫度為538°C，

其工作壓力為168kg/cm²。其材質與AISI 422相近，屬於含Ni、Cr、Mo、V和W之鋼材。

根據研究，本案例可歸納出以下幾項結論：

- (1)由破損外觀及金相觀察研判，當在紋槽內氮化層發生脆裂之後（破斷面有明顯斷層落差），由於槽內應力集中現象，故裂縫將慢慢進行擴展，且在高溫環境下，裂縫尖端處氧原子極易往「晶界」處擴散並進行氧化，在承受衝擊性負荷或較大負荷下，裂縫將沿受氧化「晶界」進行擴展，最後造成過負荷而形成破壞，此乃破損之主要原因。
- (2)破損原因為紋槽內裂縫延展，導致最後過負荷形成破壞，故可建議原廠家在氮化過程中，可以將紋槽部份隔絕，使其不受氮化，不致容易產生裂縫而導致破壞。

5.2 核能電廠Throttle Trip Valve閥桿斷裂案例

有一核能電廠Throttle Trip Valve閥桿，材料為Nitalloy 135M。此閥用於保護汽機開關，正常狀況下閥靠馬達開啓；而開關則是靠蓄壓之彈簧及本身重力將閥關閉，衝擊力較大。操作環境是在測試閥時才有水蒸汽存在。此閥桿曾經斷裂，其破損分析的重要結論如下：

- (1)由破斷面觀察有擬劈裂(quasi-cleavage)現象，具有類似疲勞破裂外觀之特徵。閥桿上與破斷面同都發現有Al、Si、Ca等元素存在，推斷確有反覆摩擦現象發生。
- (2)由金相觀察，送檢之閥桿樣品表面，有一部份（約4/5）受過氮化處理，而其餘並未受氮化。受氮化部份之最外一層 ϵ 相組織並未磨除，於材料使用觀點上考慮， ϵ 相組織應予以磨除。而閥桿在此部材料是否應經氮化處理值得進一步查詢、瞭解。
- (3)綜合觀察後之推論：(a)若材料須經氮化處理，則氮化後最外層之 ϵ 相，應該磨除，若未磨除

由於其硬度稍高而脆，造成了許多裂痕產生，而未受氮化部份硬度低，都將成為破壞可能起始位置，而經長時裂痕成長，造成了破壞。

(b)若材料不須經氮化，則已確定受到氮化部份則為錯誤行為，而未氮化表面硬度Hv250左右，是否合於設計規範要求，應加以確定。

5.3 核能廠Flow Valve螺栓斷裂案例

本案例雖非氮化技術，但其使用碳化技術與氮化技術有密切相似性，故仍予整理，供作參考。一核能電廠之AE系統主飼水泵微流量閥上之螺栓，於運轉4年多後，陸續在多次發生斷裂情形。該螺栓使用材料規格為ASTM-A193 Gr. B7。分析證實其材質符合規範要求，其分析結果如下表二所示：

本案例分析之結論如下：

- (1)螺栓引起疲勞破斷的主要原因，除了是受到反覆應力作用外，材質本身並未處理成具最佳機械性能的金相組織亦是因素之一。雖然破損件之抗拉強度與延伸率合乎規格要求，但是以此種金相組織無法獲致較佳的抗疲勞性，一般而言在鋼鐵材料中，均勻的回火麻田散鐵組織有最佳的抗疲勞性。
- (2)經分析發現，送檢破損螺栓之化學成分未合乎ASTM-A193 Gr. B7規格要求，其金相組織不佳，且表層有脫碳軟化層生成，因而導致疲勞強度下降。此外，螺栓頭部與身部R角太小以及加工不良亦都可能是促進疲勞破裂的原因。
- (3)反覆應力的來源無法由委託者提供的參考資料及藍圖得知，但可能的情形是螺栓在使用一段時間後發生鬆動，由於管路間的機械振動在Valve上產生側向反覆應力，最後造成疲勞破壞。

5.4 核能電廠控制閥閥桿損壞案例

有一核能電廠AE系統FV-478，488控制閥

閥桿，在民國78年也有使用失效記錄。依原廠規範，閥桿材質為ASTM-A276 TP316。運轉溫度230°C，運轉壓力83Kg/cm²。閥桿長26.5"，其前段17.4"部份需施予氮化硬化處理，以避免安裝或開關過程中磨耗或疲勞斷裂。本案未作詳細追蹤，但推測應與表面氮化處理之品質有關。

5.5 運轉經驗之啟示

由5.1~5.4節所舉運轉經驗案例發現，一些發電設備元件之破損，其磨耗或疲勞常歸因於表面硬化技術應用不當或硬化品質欠佳。氮化技術日新月異，近年來國內開始尋找離子氮化技術，在本研究計畫中已經詳予研究。對於發電設備中各種材料組件，若遭遇此種運轉問題，可以善加運用離子氮化技術以協助材料之改善工作。

六、結語

離子氮化可以改善材料的耐磨耗、耐腐蝕與抗疲勞破裂等性質。其處理溫度低，不會改變材料內部結構而影響母材之機械性質，也不會改變處理品之尺寸。處理方法快速、無公害問題，並可節省能源。一般之碳鋼、低合金鋼、工具鋼、乃至不銹鋼均可用此方法處理。處理之尺寸可以大至4公尺（依現有國內已商業化之處理爐考慮）。本技術之引進，相信可以解決一些水力電廠耐磨耗、耐沖蝕、耐疲勞、耐腐蝕等問題，一般火力與核能電廠中常見之閥桿斷裂問題，也應由此技術下手，尋求其解決對策。敬請各維護先進們善加利用，必要時請洽電研所作者本人，俾共同來推廣應用此一技術。

參考文獻

1. Metals Handbook, Vol.4, Heat Treatment, 9th edn, ASM, Metals Park, Ohio, 1981, p.191.
2. B. Edenhofer, Metal. Mater. Technol., 8(1976)421.
3. K. Ozbaysal, J. Mater. Sci. 21(1986)4318-4326.

4. T. Spalvins, W.L. Kovacs. Ion Nitriding and Ion Carburizing, ASM International, Materials Park, Ohio 44073, Proceedings of ASM'S 2nd International Conf. on Ion Nitriding/Carburizing, Cincinnati, Ohio, 18-20 Sept. 1989.
5. P.C. Jindal, J. Vac, Sci, Tech., 15(1978)313.
6. V.C. Philips and A.U. Segbolt, TMS-AIME 242(1968)2415.
7. C. Dames and D.F. Tranter, Metal Technol., August 1978, p.278-285.
8. 邱善得, 「論電力工業用鐵基合金之腐蝕與表面技術」, 1990, 國立清華大學材料科學工程研究所博士論文。
9. S.D. Chyou (邱善得) and H.C. Shih (施漢章), Material Science and Engineering, A129(1990)109-117.
10. S.D. Chyou (邱善得) and H.C. Shih (施漢章), Corrosion, Vol.47, No.1, 191, p.31-34.
11. S.D. Chyou (邱善得) and H.C. Shih, Material Science and Engineering, A148(1991)241-251.
12. 楊銘鐔, 清華大學材料科學工程研究所碩士論文, 1988年。
13. 賴耿陽譯著, 「鋼鐵表面熱處」, 復漢出版社, 1981年。
14. Hicks, Pump Selection and Application.
15. Groft, Power Plant Series, Steam Power Plant Auxiliaries and Accessories.
16. Mars G. Fontana, Corrosion Engineering, McGraw-Hill, New York, 1978.
17. Corrosion and Corrosion Control, Herbert H. Uhlig, 3rd ed., Wiley, New York, 1985.
18. Herbert H. Uhlig, Corrosion Handbook.