

# 磁場對氫擴散及氫脆化之效應 ( I ) ( II )

## Effects of Magnetic Field on Hydrogen Diffusion and Hydrogen Embrittlement in Metals

計畫編號：NSC 81-0405-E-007-12

NSC 82-0405-E-007-052

執行期限：80/8/01-82/7/31

主持人：彭宗平 清華大學材料所 教授

### 一、中文摘要

( 關鍵詞：磁場，氫脆化，降伏點，抗拉強度 )

本研究利用ASTM A387合金鋼，在充氫及未充氫狀況下，施予不同強度之磁場（最大0.16 Tesla），量測其機械性質之變化。研究發現充氫試片的上降伏點(UYP)及上下降伏強度差( $\Delta\sigma$ )受磁場影響而下降，且磁場愈大， $\Delta\sigma$ 變異則變小，未充氫的試片其UYP與 $\Delta\sigma$ 較不受磁場影響。磁場對鐵磁性合金機械性質的影響，可用磁場與差排之相互作用的理論解釋之。

### 英文摘要

(keywords: magnetic field, hydrogen embrittlement, yield point, tensile strength, yield drop)

The low alloy steel ASTM A387 was used for the test. Specimens, cathodically charged or uncharged, were tensile tested in the presence of a magnetic field at a range of 0-0.16 tesla. The mechanical properties were measured. It was found that the UYP (upper yield point) and  $\Delta\sigma$  (yield drop) for charged specimens were substantially reduced in the magnetic field, whereas

the variations of UYP and  $\Delta\sigma$  were relatively small for uncharged specimens. The scatter of  $\Delta\sigma$  for charged specimens decreased as the magnetic field increased.

### 二、計劃緣由與目的

自1950年以來，便有一些有關磁場對鐵磁性合金機械性質的影響的報導。由於金屬的塑性變形與其內部的差排運動有關，因此，這些研究的重點便集中在磁場與差排的相互作用。此外，金屬氫脆的理論中，氫與差排的結合與運動，亦一直是一個爭議性的論點，如果磁場會影響差排的移動，則磁場對充氫試片的作用應是一個極有趣的研究課題，了解其作用亦有助於澄清氫脆的一些基本現象。

本計畫即針對純鐵與鐵質合金，研究在磁場作用下氫擴散之特性以及其機械性質之變化。經過兩年來的研究，氫擴散的實驗一直未有較確定的結果，其原因在於擴散係數的變動受磁場影響極小，無法判定其是否確有影響，而純鐵的機械性質，特別是其降伏區變異幅度受熱處理影響至鉅，且試片彼此之間的降伏特性亦有相當之差異，至今為止尚未能完全掌握適當之實驗條件。

表 1 ASTM 387合金鋼之化學成分 (wt%)  
Table 1 Chemical composition (wt%) of ASTM A387 steel

C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo	Cr	Cu	V
0.07	0.06	0.57	0.008	0.003	0.03	0.92	2.20	<0.02	<0.02

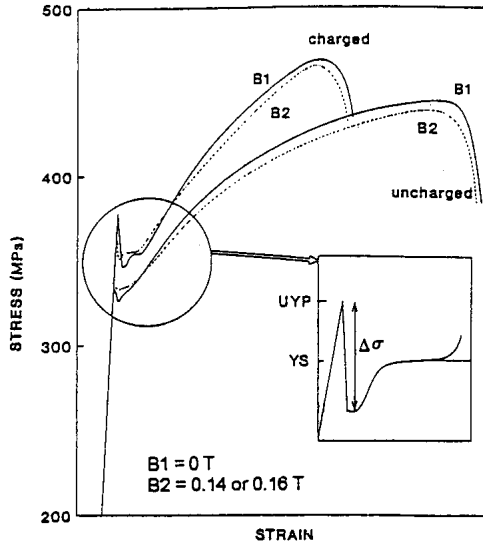


圖 1 試片在不同測試狀況下之應力與應變示意圖。  
Fig. 1 Schematic stress-strain curves for specimens tested in different conditions.

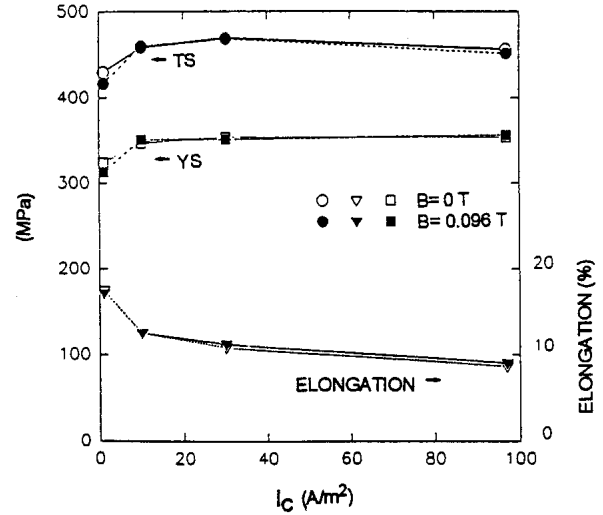


圖 2 試片在不同測試狀況下之機械性質。  
Fig. 2 Comparison of mechanical properties for different test conditions.

本文擬先報導ASTM A387合金（即2.25Cr-1Mo合金鋼）的實驗結果，其餘的實驗項目，俟獲確定而合理之結果再整理發表。

### 三、研究方法

#### 3.1 實驗方法

本實驗採用ASTM A387為測試材料，其成分見表一，該合金先經910°C / 23分鐘正常化退火，再以740°C / 41分鐘回火，合金最終為變韌鐵結構，晶粒大小約為50μm。

#### 3.2 實驗步驟

合金先車成圓形試棒（直徑5mm，縮小區長42mm），再分別在空氣及充氫（1M H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>/30 ppm As<sub>2</sub>O<sub>3</sub>溶液，充電電流1-100A/m<sup>2</sup>）狀況下，在MTS機器以5 × 10<sup>-5</sup>S<sup>-1</sup>慢應變速率下作拉

伸試驗，外加磁場強度為0-0.16tesla(T)，磁場是以強力磁鐵（鈹鐵硼磁鐵）串聯組成。

### 四、結論與討論

充氫與未充氫的試片受磁場或不受磁場作用下，其應力-應變典型的曲線見圖1。其中UYP為上升伏點，YS為降伏強度，Δσ為上下降伏點之差值，TS則為拉伸強度。試片整體的機械性質見圖2。

由圖1與圖2可見不論是否施予磁場，充氫會導致試片的TS與YS上昇，而其延伸率則降低。磁場對此合金整體的機械性質似無太大的影響，但是若對其降伏區域作仔細的觀察，則可發現充氫試片的UYP與Δσ在磁場作用下，明顯的降低，未充氫的試片則影響不大，如表二。此外，由於Δσ通常會受試驗的條件及試片內部的微結構影響而可能有所變化，本實驗發現充氫的

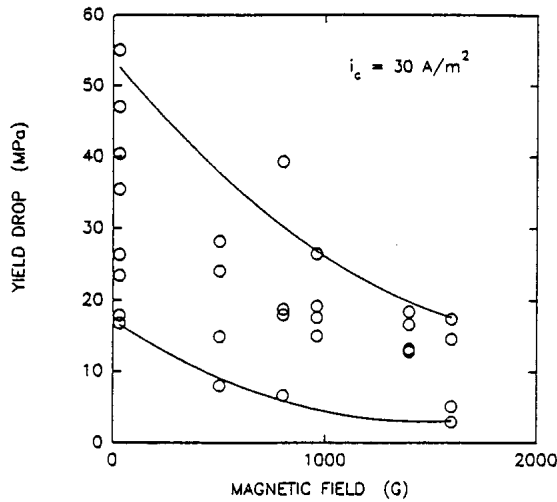


圖 3 充氫試片在磁場作用下，上下降伏點落差之變化。

Fig. 3 Variation of yield drop with the magnetic field for charged specimens.

試片在磁場作用下， $\Delta\sigma$ 的變化隨磁場增加而變小，見圖 3。

由表二可知，當充氫試片在磁場作用下作拉伸試驗時，其UYP降低了16MPa，而 $\Delta\sigma$ 則從31降為12MPa。按表二所列僅為各測試之平均值，若將每個單獨試驗的UYP及其 $\Delta\sigma$ 繪圖，（如圖 4）則明顯的可以看出，對充氫試片在無磁場作用下，其UYP可高達407MPa，而其 $\Delta\sigma$ 則高達55MPa，若施予0.14或0.16T磁場時，則其UYP之最高值僅為372MPa而 $\Delta\sigma$ 則降至18MPa。由於試片的YS不受磁場影響，我們可知試片的 $\Delta\sigma$ 實係隨UYP而變化，在磁場作用下，UYP的變異降低亦導致 $\Delta\sigma$ 的變小。至於未充氫的試片則磁場對其UYP與 $\Delta\sigma$ 的影響極為有限。

磁場對 $\Delta\sigma$ 之影響，可能是因磁區的消失降低了對差排移動的釘扎效應所致。假設 $\Delta\sigma$ 的效應可區分為碳氮( $\Delta\sigma$ )<sub>c+n</sub>及氫( $\Delta\sigma$ )<sub>H</sub>兩部分，且磁場效應因子為 $\eta_{DW}$ ，則 $\Delta\sigma$ 可表示如下

$$\Delta\sigma = [(\Delta\sigma)_{c+n} + (\Delta\sigma)_H] \times \eta_{DW}$$

由表二知 $(\Delta\sigma)_{c+n} = 5\text{MPa}$ ， $(\Delta\sigma)_H = 26\text{MPa}$ ，則

表 2 充氫及磁場對降伏區之改變

Table 2 The yield region responses due to hydrogen charging and magnetization

$i_c(\text{Am}^{-2})$	B(T)	UYP(MPa)	$\Delta\sigma(\text{MPa})$	YS(MPa)
0	0	327±3	5±3	331±6
	0.14-0.16	335±3	3±1	334±2
30	0	377±15	31±10	353±9
	0.14-0.16	361±8	12±7	355±6

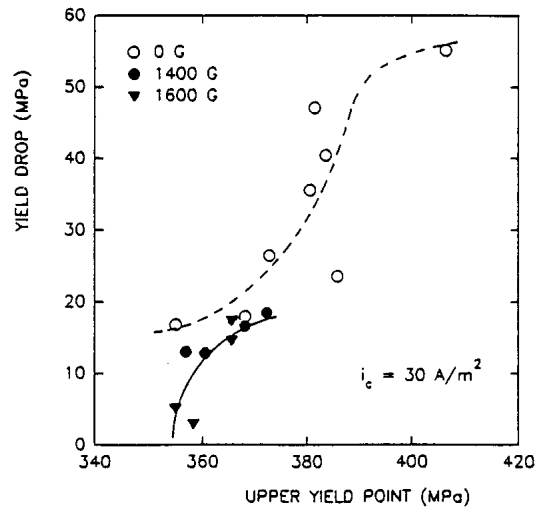


圖 4 充氫試片之上降伏點與其上下降伏點落差之關係圖。

Fig. 4 Upper yield point and the subsequent drop for charged specimens tested with or without magnetic field.

對充氫試片， $\eta_{DW} = 0.40 - 0.55$ ，而對未充氫試片， $\eta_{DW}$ 約為0.60。

### 參考資料

1. D.C. Jiles, Phys. Stat. Sol. (A) 108, 417 (1988).
2. R.S. Carmichael, Acta Metall. 17, 261 (1969).
3. B. Alessandro, C. Beatrice, g. Bertotti and A. Montrosi, J. Appl. Phys. 68, 2901 (1990).
4. D.E. Scherpereel, L.L. Kazmerski and C.W. Allen, Metall. Trans. 1, 517 (1969).
5. V.A. Franyuk, Dokl. Nauk BSSR 8, 228 (1964); short note about this work was made in the paper N.S. Akulov, Phil. Mag. 9, 767 (1964).
6. J. Cadek, M. Pahutova, K. Ciha and T.

- Hostinsky, *Acta Metall.* 17, 803 (1969).
7. C.W. Allen and J. Donovan, *J. Appl. Phys.* 38, 1329 (1967).
8. V.A. Pavlov, I.A. Pereturina and N.L. Pecherki-na, *Phys. Met. Metall.* 47, 141 (1980).
9. J. Mu, C.M. Hsiao and W.Y. Chu, *Scripta Metall.* 23, 1015 (1989).
10. A.H. Cottrell, *Dislocations and Plastic Flow in Crystals*, p.140, Clarendon Press, Oxford (1953).
11. A.M. Adair and R.E. Hook, *Acta Metall.* 10, 741 (1962).