

# S20C之結構用鋼鍍硬鉻後對疲勞限影響之研究

施志雄

陳景憲

國立屏東技術學院 機械工程技術系

## 摘要

本報告探討S20C結構用鋼鍍硬鉻後疲勞限之影響。係以S20C之結構用鋼為實驗材料，經過精確的車製及控制表面尺寸，並在材料表面鍍上不同厚度的硬鉻後，經迴轉彎曲疲勞試驗機測試其疲勞限，探討不同鍍鉻厚度對疲勞強度的影響，並求出不同鍍鉻厚度對疲勞限的影響係數K值大小，作為鍍鉻材料的疲勞設計參考。經過鍍鉻後，由於材料溶於含酸的鍍鉻液中，會有氫原子的滲入，而使得材料產生脆化。由於材料的脆化，故鍍鉻後會使疲勞限下降，其減少量大約10%至20%。鍍鉻0.02mm時，疲勞限下降最多，而鍍鉻0.06mm及0.10mm疲勞下降較鍍鉻0.02mm者為少。鍍鉻0.06mm和0.10mm疲勞限下降的程度約略相等。

## 一、前言

機件在動作時時常受反覆或變化之荷重，因此產生週期性變化之應力，此應力遠低於一次使材料斷裂所需之應力，經反覆應力作用而使材料突然斷裂，稱此破壞為疲勞破壞。

反覆變化之荷重稱為覆變荷重(repeated

loading)，其週期性變化之壓力稱為覆變壓力(repeated stress)。覆變壓力之種類及其分別如表一所示：

表一. 覆變應力分類[1]

In stating numerical values of stresses, the kind of stress should always be designated as tension, compression, or shear. The kind of loading should also be designated as axial, torsional, direct shear, or bending.

Description	Diagram	Range-ratio nomenclature		Mean-stress nomenclature	
		Maximum stress	Range ratio	Mean stress	Alternating stress
Steady stress, $\sigma_1$		$\sigma_1$	$\frac{\sigma_1}{\sigma_1} = 1.0$	$\sigma_1$	0
Pulsating stress, between $\sigma_1$ and $\sigma_2$		$\sigma_1$	$0 < \frac{\sigma_2}{\sigma_1} < 1$	$\sigma_m$	$\pm \sigma_a$
Pulsating stress, between $\sigma_1$ and 0		$\sigma_1$	$\frac{0}{\sigma_1} = 0$	$\sigma_m$	$\pm \sigma_a$
Partly reversed between $\sigma_1$ and $(-)\sigma_2$ , where $\sigma_1 < \sigma_2$ , and of opposite sign		$\sigma_1$	$-1 < \frac{-\sigma_2}{\sigma_1} < 0$	$\sigma_m$	$\pm \sigma_a$
Completely reversed stress, between $\sigma_1$ and $\sigma_2$ , where $\sigma_1 = -\sigma_2$		$\sigma_1$	$\frac{-\sigma_2}{\sigma_1} = -1.0$	0	$\pm \sigma_a = \sigma_1$

Note.  $\sigma_m = (\sigma_1 + \sigma_2)/2$  and  $\sigma_a = (\sigma_1 - \sigma_2)/2$ , with due regard to sign.  
 \* "Report of the ASTM Research Committee on Fatigue of Metals," Proc. ASTM, vol. 37, pt. I, 1937.

覆變荷重的方式有軸向荷重，扭轉荷重、直接剪斷荷重或彎曲荷重等[2]。在本實驗中採完全交變之荷重。大多數材料其壓力最大值在某限界下時雖經反覆次數至極大值而不破壞時，稱此限界應力為疲勞限(fatigue limit)。疲勞強度隨化學成份、晶粒構造、表面處理等而異。Marin[3]分列了一些因素以修正疲勞限，這些因素列於表二中。每一個因素都是為了解釋一個單一的影響，應用這個構想，我們可以將疲勞限寫成：

$$S_e = K_a K_b K_c K_d K_e K_f S_e' \dots\dots(1)$$

$S_e$  = 機械元件的疲勞限

$S_e'$  = 旋轉梁試樣的疲勞限

$K_a$  = 表面因素

$K_b$  = 尺寸因素

$K_c$  = 可靠性因素

$K_d$  = 溫度因素

$K_e$  = 應力集中修正因素

$K_f$  = 其它影響因素

表二. 影響耐久限的狀況[4]

材料: 化學成分、破壞的起源、可變性。
製造: 製造的方法、熱處理、移擦腐蝕、表面狀況、應力集中。
環境: 腐蝕、溫度、應力狀況、釋放時間。
設計: 尺寸、壽命、型式、應力狀況、應力集中、速度、移擦、擦傷。

本實驗中將研究電鍍後對疲勞限的影響，因為電鍍工程是表面處理重要的一環，而鍍硬鉻能使材料表面耐磨、耐高溫和耐腐蝕，這些特點是普通表面熱處理所難達到的。

然而在電鍍的流程中，酸洗(pickling)及材料浸於酸性電鍍液均會使氫滲入金屬內，對表面而言是產生硬脆而耐磨的表層，但對疲勞強度而言

卻產生脆性破斷，此現象稱為氫壓力脆裂(Hydrogen - stress cracking)。所以在本實驗中將探討不同鍍鉻厚度對疲勞限影響因素K值的大小，並且可把這因素列為公式(1)中的 $K_f$ 之中，做為鍍鉻件疲勞設計的參考。

## 二、實驗方法

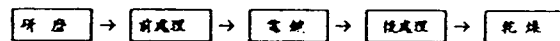
本實驗係以S20C之結構用鋼為實驗材料，其材料性質如表三所示。

表三. S20C結構用鋼之性質[5]

JIS	硬 鋼		C %	熱處理℃	靜力抗伸試驗 $K_g/mm$			疲勞限度 $K_g/mm$		
	種類	符號			退火	抗拉強度	降伏點	真破斷力	迴轉彎曲	相反扭轉
3102	鍍硬鉻用途用硬鋼	3 號	0.15	870   920	41   50	25   31	73   107	18   29	11   18	14   24
			0.25							

所示，本組以系上新購之NC工具機來精密車製試件，其常溫迴轉彎曲疲勞試驗的標準尺寸如附錄一所示，而附錄二則為NC工具機車製試件的程式。

工件經過車製後，並選擇直徑誤差小於0.005 mm的試件來鍍硬鉻一般電鍍的流程如：圖一所示

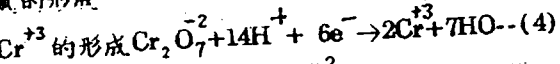
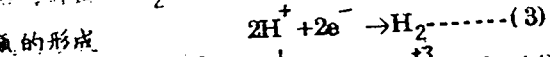
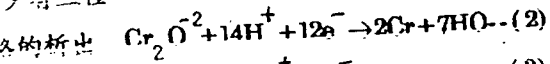


圖一 鍍鉻流程

對鍍鉻而言，皆由含無水鉻酸( $CrO_3$ )加上少量陰離子催化劑如硫酸根，氟離子的溶液鍍成。

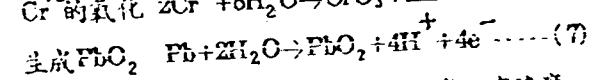
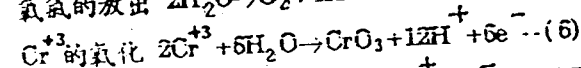
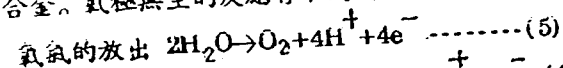
電極反應：於高濃和強酸鍍浴中，可假設大部份的鉻酸皆以 $Cr_2O_7^{-2}$ 存在，於陰極發生的反應

少有三種：



其中第一反應由於 $\text{Cr}_2\text{O}_7^{2-}$ 必須同時和14個H，  
2個電子反應，故不可能一次完成，而是一連串  
的反應步驟達成的。第二反應消耗約80~90%的  
電能，以產生氫氣，故有效用於Cr生成的只有10  
~20%。第三反應較少，生成的 $\text{Cr}^{3+}$ 可由陽極反應  
再行氧化

在氧極上通常使用純鉛或含有10%錫、錫的鉛  
合金。氧極無生的反應有下列幾種



鍍硬鉛由於鍍層較厚，故高效率、高速度、  
被覆力良好的鍍浴乃必要條件，然而鍍浴的組成  
均類似，差別只是在鍍浴的濃度、催化劑的量和  
性質。鍍硬鉛和裝飾電鍍的相異點如下表所示：

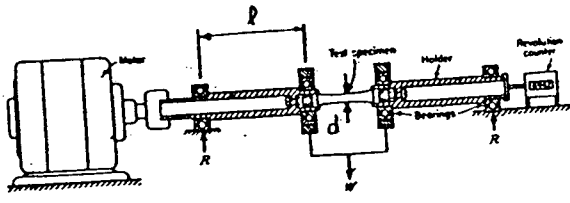
表四、裝飾性和工業用鍍浴的差異點[6]

	裝 飾 性	工 業 用
目 的	光沢的鍍層	耐摩耗性
厚 度	0.75 μ 以下	5 μ 至 0.1 mm
耐 用 性	四~五年性，光沢長期	硬質、電鍍效率
耐 腐 蝕 性	耐 腐	注意、耐腐蝕性
溫 度	30~60°C	45~55°C
電 流	一般為千安	使用補助陽極

本實驗將試件分成四組，一組無電鍍，另三  
組分別在試件直徑12mm處鍍上0.02mm、0.  
06mm、0.1mm 的硬鉛，試件鍍層的範圍如附錄  
三所示，而鍍層厚度的誤差不超過0.005mm 為  
限。本實驗以相當精確的材料處理，消除各項影  
響因素而來探討鍍硬鉛後對疲勞強度的影響。

### 2-2 實驗裝置

本實驗採用最常用的迴轉彎曲疲勞試驗機，  
其構造如圖二所示：



圖二、迴轉彎曲疲勞試驗機構造原理 [1]

將試棒迴轉同時加以彎曲荷重，試棒兩端各  
夾持器之外端為支點尺，內端懸上荷重W，試棒  
受恆定值之彎矩，而在中央斷面產生最大彎壓力，  
由圖可求出最大彎壓力大小為：

$$M = W/2 * L \quad (8)$$

$$\sigma = 32M/\pi d^3 = 16Wl/\pi d^3 \quad (9)$$

### 2-3 疲勞限求法

將相同處理條件的試樣數支，然後以荷重遞  
減法即可求出疲勞限，對碳鋼而言，疲勞限值約  
為抗拉強度的一半，S20C的抗拉強度為50Kg/mm<sup>2</sup>，  
故疲勞強度約為25 Kg/mm<sup>2</sup>，但本實驗限於時  
間限制，故規定10<sup>6</sup> 轉為疲勞限值的轉數。

我們將壓力值調整至略大於疲勞限值後，再  
增加或減前壓力，可求出S-N 曲線上的數個點，  
然後用統計學線性迴歸分析，可求出10<sup>6</sup> 轉的疲  
勞限，並定此點為材料的疲勞強度。

## 三、實驗結果

由疲勞試驗所得之壓力和轉數的座標值，經  
由線性迴歸後所得到圖三之S-N 曲線圖形，由圖  
上可看出經鍍鉛後疲勞限層明顯下降；而且鍍鉛0.  
02mm的疲勞限比鍍0.06mm及0.1mm 的疲勞限

為低；而鍍0.06mm及鍍0.1mm 兩者的疲勞限約相等，鍍層厚度和疲勞限下降的百分比如圖四所示。

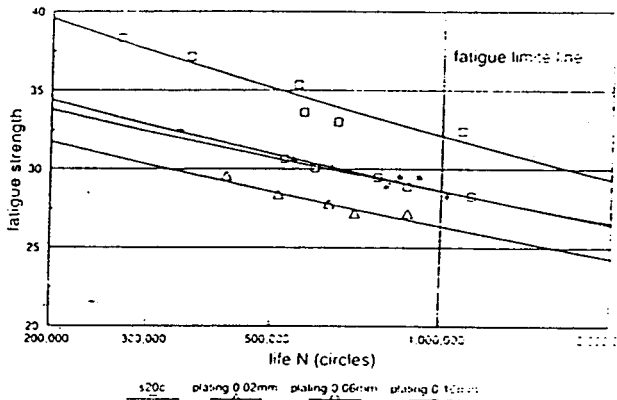
由圖四的結果，我們可以應用到公式(1)，把鍍層厚度對疲勞限的影響因素Kf 值找出，此Kf 值可列為公式(1) 中的Kf大小，如此我們能對鍍後疲勞限的下降值有參考數值。

由於只考慮電鍍，所以假設 $K_a=K_b=K_c=K_d=K_e=1$ 。

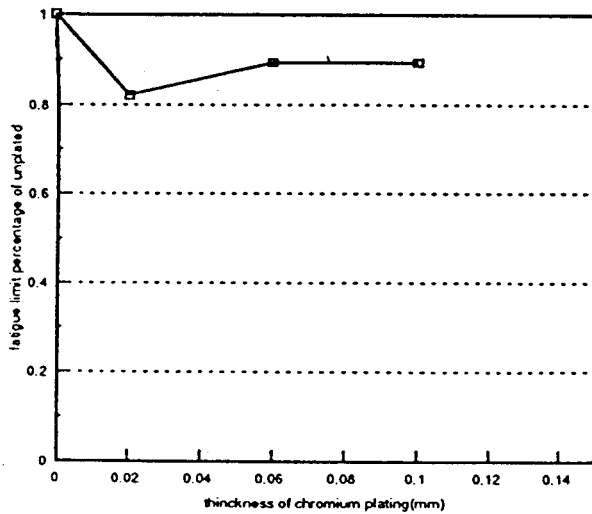
電鍍後所測得疲勞限

$$K_f = \frac{\text{電鍍後所測得疲勞限}}{\text{未電鍍前所測得疲勞限}}$$

未電鍍前所測得疲勞限



圖三. 鍍不同厚度鉻後疲勞限值



圖四. 鍍層厚度對疲勞限的影響因素Kf之大小

## 四. 實驗結果之探討

鍍硬鉻雖然會得到抗熱性、耐磨、抗蝕的表面，但卻會使疲勞限下降，其原因為氫原子進入鋼內產生氫應力脆裂。

鋼溶於酸時，一定會發生氫反壓，故在電鍍時一定會發生氫。氫原子為所有元素中最小的原子，在常溫也會傾入鐵及其它金屬的結晶格子中，貫穿結晶格子而移動。侵入金屬中的氫原子成為分子氫，使金屬脆化，集中金屬的氧化部，增高該處的壓力，終將金屬拉裂。

## 五. 結 論

本實驗係討論不同鍍層厚度對疲勞限的影響大小，並求出Kf值的大小，以做為鍍鉻件的疲勞設計參考，經由本實驗中可得到下列結論：

1. 經過鍍硬鉻處理後，會得到表面相當耐磨且耐蝕的表層，但鍍後後的表層肉眼可看出鍍層的微裂，且裂開形狀不規則，而且表層不會很光亮。
2. 鍍硬鉻後會使材料產生脆化，其原因是電鍍時由於酸性的鍍液浸入材料，而使極小的氫原子滲入材料表面，使得材料產生氫壓力而脆裂。
3. 由於鍍硬鉻使材料產生脆裂性，使得材料較不易耐疲勞，下降的比率為未電鍍處理前的20%。
4. 鍍硬鉻0.02mm時，疲勞限下降最多，而鍍硬鉻0.06mm和0.10mm疲勞限下降的程度約略相等下降比率均為未電鍍處理前的10%。

## 六. 參考文獻

1. 平正 著 機械工程實驗(金屬材料)，滄海書局，1985年，P. 129 - 145

2. 蘇癸陽 著，實用電鍍理論與實際，復文書局，1983年，p165

3. Joseph Marin, Mechanical Behavior of Material, prentice-hall, Englewood Cliffs, N. J., 1962, p. 224.

4. 吳嘉祥，嚴孝全譯 機械設計，曉園書局，1987年，P. 129-145.

5. 小栗富士雄 著，標準機械設計圖表便覽，台隆書局，1986年，P. 3-27

## 七. 心 得

這個專題使我們得到了許多平常所難得到的寶貴經驗，並且學習到同組分工合作彼此之間要有足夠的默契，也粗略了解到什麼叫研究，怎樣最有效的獲得資料，以下就是我們的心得：

1. 有關疲勞試驗的論文，在國內研究的並不很多，所以資料不容易找齊全，因而浪費了不少時間。
2. 本專題原本想研究應力腐蝕，但當一找到資料後，便覺不妥，在了解中山大學有應力腐蝕疲勞試驗機後，相形之下，系上與本實驗相關的設備是少之又少。
3. 由於鍍鉻比普通電鍍特殊，所以鍍硬鉻的廠商甚難找到，而且鍍硬鉻技術較高，以至資料也不易獲得。
4. 疲勞試驗非常耗時間，而且變數也不易控制，所以需具備足夠的耐心和細心，才能使疲勞試驗得到準確有效的數據。
5. 鍍硬鉻厚度的量測要有相當的技術，在電鍍工廠理曾經見識過。度鉻後的硬度量測也必需用壓痕甚小的維氏硬度計。但系上目前無此設備。

## 八. 建 議

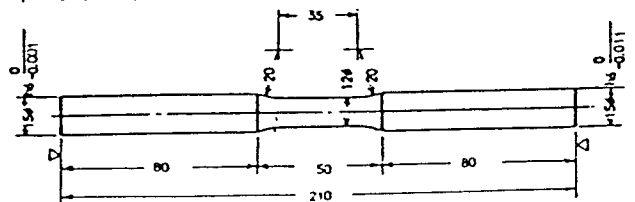
以下提出一些建議，以做為有興趣疲勞研究的同學做為參考，並提供給系上做為專題課程的參考。

1. 做專題前，應先了解所需要的設備，並且要和蒐集的資料相佐證，再研究其可行性。如本專題原本要做應力腐蝕，但進行到一半時才了解以系上現有的設備並不可能完成實驗。
2. 組員之間和指導老師應儘量溝通協調，並時常找老師研究，大家要分工合作，才不至於浪費太多時間。
3. 實驗前應先做好準備工作，該用的工具與資料都準備齊全之後，才能事半功倍。
4. 系上缺乏顯微鏡照相及硬度試驗的設備，希望系上這些必要的設備以後能慢慢添購。
5. 將預備要做的實驗項目先做一番整理，並建立實驗表格，逐次將實驗過程正確的記錄下來。
6. 建議將專題課程挪至一下及二上，因為在二下時有人想升學，有人忙著找工作，對專題課程都覺得有力不從心之感。
7. 專題的報告格式及有關報告寫法，應利用上課時間來講解討論。

## 九. 附 錄

附 錄 一：

迴轉彎曲疲勞試驗 (ASTM E466) 之常溫標準試片尺寸：



迴轉彎區疲勞試驗 (ASTM E466) 之常溫

標準試驗片之NC程式

程式一：

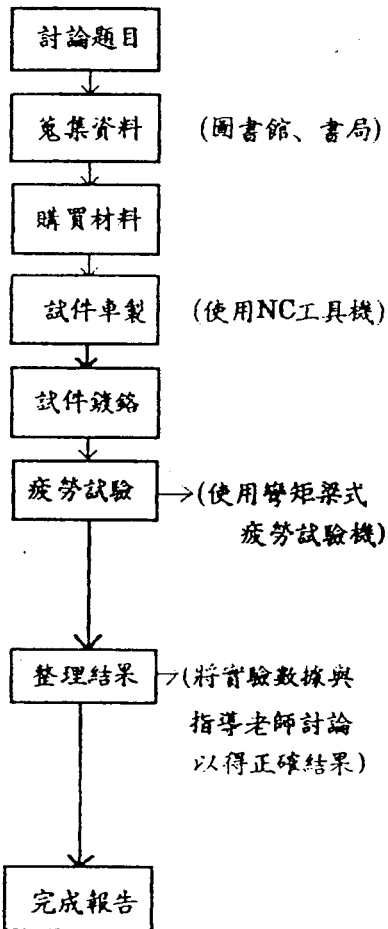
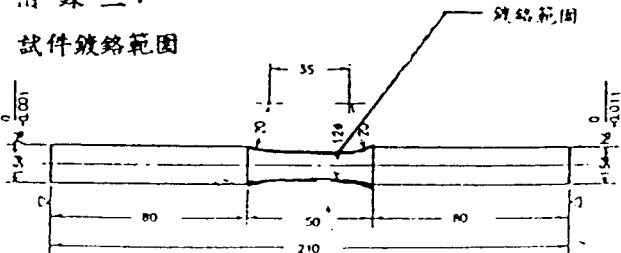
- G00 X80 Z5.0
- G97 M03 S3500 T100
- G00 X15.0 Z4.0 T1
- G01 Z-80 F0.15
- G01 X12.5 Z87.5
- G01 Z-122.5
- G01 X15 Z-130
- G01 Z-160
- G00 X15 Z-80
- G02 X12 Z87.5 R20
- G01 Z-122.5
- G02 X15 Z-130 R20
- G01 X15.5 Z130.5
- G00 X80 Z5 T0
- M05
- M30

程式二：

- G00 X80.0 Z5.0
- G97 M03 S3500 T200
- G00 X15.0 Z3.0 T2
- G01 Z80.0 Z5.0 T0
- G00 X80.0 Z5.0 T0
- M05
- M30

附錄三：

試件鍍鉻範圍



與指導老師研究控制變數及有關條件以提高實驗準確性

與指導老師研究控制變數及有關條件以提高實驗準確性

## Abstract

This paper discusses the influence of chromium plated structure steel on the fatigue limit. The S20C structure steel is chosen as the specimen material and machined by a NC lathe with carefully controlling its dimension. The specimen is plated with different thickness of chromium and then tested by the rotating-bending fatigue test rig, for obtaining the fatigue limit. In order to evaluate the influence of chromium thickness on the fatigue limit, the influence coefficient  $k$ , is determined for the future reference of fatigue design. During the process of chromium plating, the specimen must be kept in the acidity chromium plating liquid; therefore, the hydrogen atom can seep into the material such that the material will become brittle. Due to the brittleness of chromium-plated material, the fatigue strength can decrease about 10%-20%. The fatigue limit of 0.02mm chromium-plated steel decreases at the most, while those of 0.06mm and 0.10mm chromium plated steel decrease less. The fatigue limit of chromium plated steel with the thickness of 0.06mm and 0.1mm decrease nearly the same about 10%.