

技術資料 No. 189

鋼鐵內應力之研究和應用

劉嵩俊 編著



中華民國鑄造學會 編印

1997年4月

技術資料 No. 189

TG142.1
28

鋼鐵內應力之研究和應用

劉嵩俊 編著



中華民國鑄造學會 編印

1997年4月

技術資料 No. 189

鋼鐵內應之研究和應用

編 著：劉 嵩 俊

發 行：中 華 民 國 鑄 造 學 會

高雄市楠梓區高楠公路 1001 號

電話：(07)3534791・3534792

FAX：(07)3 5 2 4 9 8 9

編 輯：中華民國鑄造學會出版委員會

印 刷：佳興印刷局企業有限公司

高雄市前鎮區一心一路 172 號

電話：(07)7718363 (代表)

FAX：(07)7712516

中 華 民 國 八 十 六 年 四 月 出 版

序

劉嵩俊先生是台灣鑄造界的前輩，早年曾在台灣工礦公司和裕隆汽車公司擔任工程師，負責翻砂、電弧爐及化鐵爐熔煉等工作。後來赴美留學，畢業後進入美國鑄鋼公司擔任研究員，協助開發強力耐磨新鋼種，並研究鋼鐵的破壞與性質改善，曾提出上千篇以上的報告與論文，經驗非常豐富。

劉先生現在已經退休，有一次回國時曾造訪本學會，表示願意將其一生研究所獲得的成果，寫成中文，由本學會發表，現在書即將出版，特此表示祝賀之意。

這一本『鋼鐵內應力之研究和應用』是他由本會出版的第二本專書，探討合金鑄鋼內應力之成因，量測與消除。我們都知道，內應力在鑄件中幾乎無所不在，而且常使材料強度下降，甚至因破壞而造成意外的災難。因此內應力的測試與消除，成為鑄造技術中重要的一環。本書內容包括內應力之生成原理與量測，影響內應力的製程因素如熔解、冒口設計、凝固過程等，與熱處理對消除應力之效果，並舉實例說明之，其中有不少現場第一手資料，彌足珍貴，對我國鑄造技術發展應有助益；內應力對材料強度除了有負面效果外，事實上適當的壓應力對材料的耐疲勞特性反而有好處，本書中也對利用鋼球噴射方法以獲得耐疲勞性之效果提出詳細的解說，頗具參考價值。

總之，劉先生再次將其畢生努力所獲得的學識經驗貢獻給本會會員及國內鑄造界人士，本人謹代表學會表示崇高的敬意與謝意，並推薦本書給大家參考。

洪敏雄

86年4月26日

作者簡介



本書是作者劉嵩俊先生的第二本冶金書籍著作，第一本書是“耐磨鋼鐵鑄造”。在他赴美留學之前，曾在台灣工礦公司和裕隆汽車公司擔任工程師，負責翻砂，電弧爐和化鐵爐等工作，有豐富的鋼鐵鑄造，電弧爐煉鋼和米漢納冶煉技術之經驗。在美國得到碩士學位并繼續進修一年後，進入美國鑄鋼公司研究室擔任冶金研究員，十年後升為高級研究員。在最初十年工作中，作者負責解決強力鋼生產上發生之問題，和研究比強力鋼更耐磨的新鋼種。內應力影響疲勞破裂，冷水急冷破裂，遲緩性破裂，焊補修磨對內應力之影響，研究如何預測鑄件疲勞壽命等等問題。同時致力於解決彈簧生產上發生的問題，以及鐵路鑄件破裂原因之分析。作者是美國鑄鋼公司唯一具有鑄鐵經驗的研究員。當市場上有些鑄鐵產品和美國鑄鋼公司的鑄鋼產品競爭時，作者常需研究那些特殊鑄鐵件，例如ADI和針狀耐磨鑄鐵等。

在美國鑄鋼公司工作中的三十年，作者寫了上千篇研究報告，并發明SL超級耐磨鋼，1%Si新“C”鋼和超級工作鋼等三種新鋼。超級工作鋼是作者退休之前所發明，可以熱處理獲得不同的強度，用來代替美國鐵路鑄鋼規格（AAR）GRADE“B”到GRADE“E”。超級工作鋼的專利權則為美國鑄鋼公司所有。

鋼鐵內應力之研究和應用

目 錄

序

緒論	1
第一章 量取內應力的方法	3
1.1 如何測得X光折射线轉位 (DLS)	4
1.2 如何測得力因子	7
1.3 對力因子之研究	12
第二章 研究影響內應力的因素	15
2.1 設計	15
2.2 鋼料	17
2.3 量測內應力的位置和方向	18
2.4 熱處理	18
2.5 鋼的成分	21
2.6 鋼之熔煉	22
第三章 對鐵路貨車橫樑內應力之研究	24
3.1 割切鐵路貨車橫樑的窗戶對內應力的影響	24
3.2 窗戶邊緣面下內應力的分布	26
3.3 割切試樣到何程度，內應力才發生變化	27
3.4 橫樑上下面，內應力的分布	28
第四章 重複淬火熱處理對內應力之影響	30
4.1 合金鋼和硼鋼重複淬火對內應力的影響	30
4.2 晶體大小對重複淬火內應力變化的因素	32
4.3 碳化物對重複淬火內應力之影響	33
第五章 研究鑄件回火後快速水中冷卻產生之內應力	35
5.1 鑄件的溫度	35
5.2 水的溫度	36
5.3 壓縮內應力的深度	38
5.4 QFT對低溫度夏氏韌度之影響	40
第六章 研究SAE 5160和5150彈簧，從油中取出的溫度，對金相顯微組織硬度 與內應力之影響	41
6.1 金相顯微組織	43
6.2 硬度	50

6.3	內應力	50
第七章	研究強力耐磨鋼留駐溫度和時間對內應力，金相顯微組織和硬度之影響	53
7.1	三個不同化學成分的強力耐磨鋼	53
7.2	不同化學成分強力耐磨鋼的留駐溫度及時間對內應力的影響	53
	(1)在一定留駐溫度下，留駐時間對內應力的影響	55
	(2)在一定留駐時間下，留駐溫度對內應力的影響	55
7.3	不同化學成分強力鋼的TTT圖和內應力分布	59
第八章	強力耐磨鋼遲緩性破裂之研究	63
8.1	研究遲緩性破裂之強力鋼鑄件	63
8.2	研究遲緩破裂之原因	66
8.3	比較生產齒和試驗齒的內應力	67
8.4	時效處理降低內應力之作用是否屬於第一次調和反應	69
第九章	強力耐磨鋼之電爐熔煉作業對內應力和機械性能之影響	72
9.1	電爐熔煉作業優劣之不同點	72
9.2	電爐熔煉作業對強力耐磨鋼機械性能之影響	73
9.3	電爐熔煉作業良否對強力耐磨鋼內應力之影響	74
9.4	內應力之分析	75
第十章	研究鑄模和冒口對內應力之影響	77
10.1	鑄模對內應力之影響	77
10.2	冒口的形狀與位置對內應力之影響	79
第十一章	研究電焊條之選擇對內應力之關係	84
11.1	坡口焊	84
11.2	填角焊	86
第十二章	研究鋼珠噴射時間對內應力大小和分布之影響	88
12.1	鋼珠噴射之試驗	88
12.2	鋼珠噴射對鑄件之效果	90
第十三章	研究內應力對“C”鋼疲勞行為之影響	91
13.1	疲勞試驗	92
13.2	三組S-N曲線	93
13.3	對內應力和S-N曲線的一些研究	94
13.4	在疲勞試驗中，內應力之變化	95
13.5	R-N曲線	96
13.6	內應力變遷直線斜坡（R/LOGN）和應用力之關係	97
13.7	預測鑄件的疲勞壽命	99
	(1)對“C”鋼（N+T+BLAST）鑄件之疲勞壽命的預測	100
	(2)對“C”鋼（N+T）鑄件之疲勞壽命的預測	101

第十四章	研究從1100°F投入水中冷卻之“B”鋼件單程彎曲疲勞特性和內應力之關係	103
14.1	不同投入水中“B”鋼之溫度，對內應力之影響	103
14.2	從1100°F投入水中的“B”鋼的疲勞試驗	104
14.3	1100°F水中冷卻和鋼珠噴射之“B”鋼鑄件疲勞性能之比較	106
第十五章	研究鋼珠噴射時間對“E”鋼疲勞特性之影響	109
15.1	“E”鋼之疲勞試驗	110
15.2	噴射時間對內應力和亞門“C”數目之關係	112
15.3	不同噴射時間對“E”鋼疲勞壽命之影響	113
15.4	鋼珠噴射時間為什麼能改善“E”鋼疲勞壽命	115
結語		115
參考資料		117
索引		119

緒 論

(INTRODUCTION)

在日常生活中，會看到杯盤置放碗櫃內，自然而然地破裂分開。或者有些人，在工廠工作的時候，聽到巨大破裂的聲音。這原來是機器上一件零件破裂發出的聲音。有時存在倉庫裡的鑄件，在交貨時發現破成兩半。這種種自然的破裂現象，必定有它的原因，內部有一種力量促成破裂發生，這股力量存在物體內，或大或小，如果力量大過於物體抗拉強度，破裂立刻產生。如果物體內存在的力量，小於物體拉力強度，在沒有外力作用之下，物體不致破裂。但是在外力作用之下，合併之力量超過物體抗拉強度，也將引起破裂發生。雖是外力很低，但物體內存在的力量却很高，破裂同樣會發生。這種存在物體內的力量，稱它為內應力或內潛力 (RESIDUAL STRESS)，內應力包括有下列幾種：

1. 熱應力 (THERMAL STRESS)：也稱冷却力，因為物體內溫度高低不一，有溫差存在體內，在冷却時，快慢冷却率也不一樣，於是產生熱力等差 (THERMAL GRADIENT)。例如鋼件淬火 (QUENCH)，當高溫鋼件在水中快速冷却，厚薄部份冷却速度不一，在尖銳角度上，產生極大內應力，而至鋼件在水中冷却時破裂，這稱為淬火破裂 (QUENCH CRACKING)，這是在熱處理鋼件時常看到的現象；要避免淬火破裂，就要研究如何降低在水中產生的熱應力和熱力等差問題。

2. 組織變換力 (PHASE TRANSFORMATION STRESS)：鋼鐵金相組織，是根據熱處理冷却速率而變化的，最明顯是當鋼件加熱到Ac3溫度時，原來金相組織中的肥粒體 (FERRITE) 和碳化物 (CARBIDE)，均溶入奧氏體 (AUSTENITE) 內，如果奧氏體在水中快速冷却，當鋼件冷到Ms時，於是奧氏體開始變換為針形馬氏體 (MARTENSITE)，這時鋼件體積增大，溫度降低愈多，轉換針形馬氏體也愈多，體積大增，在Mf時，這時鋼件有很高的金相組織變換力。所以在水中冷却的鋼件，含有兩種內應力；一是熱應力，二是組織變換力，兩者相加一起，將造成很高內應力，就有促進鋼件淬火破裂之可能性。

3. 氫力 (HYDROGEN STRESS)：當鋼熔化時，鋼水吸收空氣中水分，水分解為氫和氧，於是氫進入鋼水中，這時在鋼水中的氫是原子氫，當鋼水凝固之後，原子氫存在鋼組織的缺陷中，形成鑄鋼件針孔，氣孔等。原子氫在這些缺陷中，聚合成為分子氫。如果分子氫愈集愈多，這時氫氣壓力就變成很高，有時超過幾個，幾十個大氣壓；氫力可以造成細小裂紋，裂紋慢慢長大，使鋼件破裂，所以氫力是造成內應力根源之一。在煉鋼時，利用碳沸滾 (CARBON boiling)，氫吹或氧吹 (ARGON or OXYGEN LANCE)，就是將鋼水中吸收的氫能帶出鋼水，使鋼水中吸收的氫減少，鋼件中存在的氫力也因之減少。

4. 成分偏析力 (SEGREGATION STRESS)：鋼件內的成分，特別是碳化物 (CARBIDES) 和氮化物 (NITRIDES)，堆聚在晶界上 (GRAIN BOUNDORIS)，這些堆聚碳化物和氮化物，變成錯位 (DISLOCATION) 移動的障礙，造成力的集中點 (STRESS

CONCENTRATION)。如果鑄鋼件，在奧氏化時（AUSTENITIZATION），碳化物沒有完全溶解入奧氏體內，這些沒有溶解之碳化物，在淬火時，變成熱應力和組織變換力集中之點，能使鋼鑄件淬火破裂發生。

5. 機械感應力（MECHANICAL INDUCED STRESS）：最普通的就是鋼珠噴射（SHOT PEENING），當鋼珠噴射打擊鋼面上，鋼面因打擊而變形（DEFORMATION），凹入的表面，產生一種內應力，這種內應力，是有目的的使之感應產生，因為這層表面內應力，可以增加鋼件疲勞壽命，增強抵抗腐蝕（STRESS CORROSION）之能力，它是對鋼件有益的。

以上五種產生的內應力，均能使鋼件組織的格子空間（LATTICE SPACING）變形，因此可以利用X光折射（X-RAY DIFFRACTION）（XRD）方法，量出格子的空間之變化，計算出內應力之大小，或者利用應變敏感針（STRAIN GAGE），量出力的變化。因此量出之內應力，有正副的分別；(+)號稱為拉內應力（RESIDUAL TENSION STRESS），(-)號稱為壓縮內應力（RESIDUAL COMPRESSION STRESS）。前者對鋼件是有害的，如果拉內應力超過鋼件抗拉強度，破裂就要發生，所以熱處理者要使鋼件拉內應力降低，愈低愈好；後者是對鋼件有益的，如前述鋼珠噴射產生壓縮內應力，可以增加鋼件疲勞壽命。

劉嵩俊

1995年8月1日

第一章 量取內應力的方法

EQUIPMENTS USED FOR RESIDUAL STRESS MEASUREMENTS

X 光折射 (X-RAY DIFFRACTION)，有兩個方式來量取內應力，一是用 X 光底片 (FILM) 法，記錄 X 光折射之位置；另一種是 X 光的折射儀 (DIFFRACTOMETER)。吾等採用 X 光底片法，因為設備可以搬動的 (PORTABLE)，既可以用在試驗室，也可以搬到現場去取量重大的鋼鑄件；例如火車上的橫樑 (BOLSTER)。

我們量取內應力 X 光底片的設備是 SIEMEN KRISTALLOFLEX 2H 如圖 1-1 所示，X 光管⁽⁷⁾，需要水的冷卻，最低能量是 1.05 gal/min，水壓是 45 lbs/in²，如果水壓不到 45 lbs/in² 時，就不能發動放射 X 光機構，或者 X 光放射設備自動關了起來，所以冷卻系統上，裝有水壓調整器 (REGULATOR)，保持一定的水壓。X 光管是鉻輻射能 (CR RADIATION)，是比鉬 (MO) 或鎢 (W) 輻射能較低的一種。然後打開總開關⁽¹⁾，和 X 光開關⁽²⁾，於是 X 光從細長管⁽¹¹⁾導射到要量取內應力的位置，為防止輻射能，鉛片，或鉛橡皮 (Pb-RUBBER) 蔽蓋細長導管之四周。

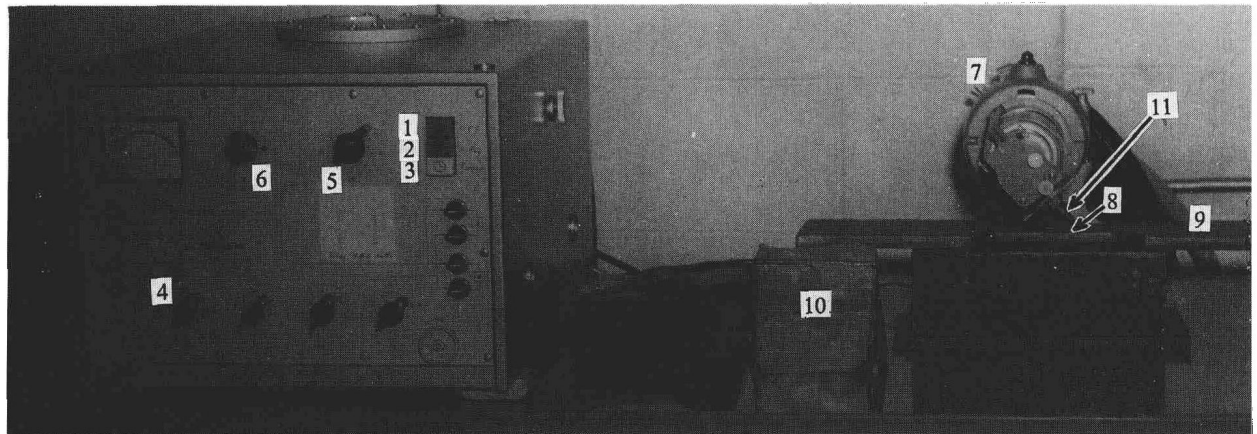


圖 1-1 SIEMEN 公司製造的 KRISTALLOFLEX 2H X 光量取內應力的設備

- | | |
|----------|-----------|
| 1=總開關 | 6=MA 開關 |
| 2=X 光開關 | 7=X 光管 |
| 3=時間控制開關 | 8=銀粉塗在試樣點 |
| 4=計時鐘 | 9=試樣 |
| 5=KV 開關 | 10=鉛匣 |
| | 11=X 光導管 |

X 光底片記錄折射線轉移 (DIFFRACTION LINE SHIFT) 的位置，簡稱 DLS. X 光量測得的表面內應力 (SURFACE RESIDUAL STRESS) 和 DLS 的關係，可以用下列公式

來表示；

$$\sigma = E / (1 + r) (1 / \sin 2n) (dl - do) / do \cdots \cdots \cdots (1)$$

σ = 內應力 (RESIDUAL STRESS)

E = 楊氏彈性模數 (YOUNG'S MODULUS OF ELASTICITY)

r = 有害比例 (POISSON'S RATIO)

do = 未受力時空間格子常數

(THE LATTICE CONSTANT FOR THE UNSTRESSED MATERIAL)

dl = 受力時空間格子常數

(THE LATTICE CONSTANT FOR THE STRESSED MATERIAL)

n = X 光入射線和折射线之間一半之角度

(HALF THE ANGLE BETWEEN THE DIFFRACTED AND INCIDENT X-RAY BEAM)

n 是 X 光管的傾斜度，當它是 45 度時， $2n$ 是 90 度， $\sin 2n = \sin 90 = 1$ 。所以對鋼、鐵，或是某些金屬而言， $E / (1 + r) = K$ 。K 對某一金屬言是一常數。

公式(1)可以簡化為：

$$\sigma = K (dl - do) / do \cdots \cdots \cdots (2)$$

為使公式(2)更為實用，容易操作起見。

$$(dl - do) / do = DLS(mm)$$

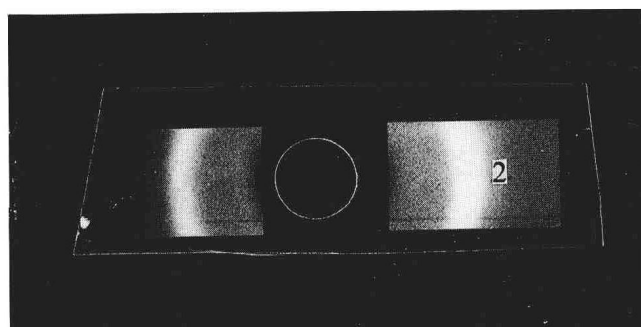
$$K = S. F. \text{ KSI/mm (力因子) (STRESS FACTOR)}$$

$$\sigma = S.F. (KSI/mm) \times DLS(mm) \cdots \cdots \cdots (3)$$

S.F. 是力因子，也就是使 DLS 變動 1mm 時，需要有的力(KSI)(THOUSAND PONDS PER in²)，從公式(3)，量取鋼件表面內應力時，只要知道鋼的力因子 (S.F.) 和 X 光底片讀到的 DLS，(3)是簡單實用的公式。下面敘述 DLS 和 S.F. 求得的方法。

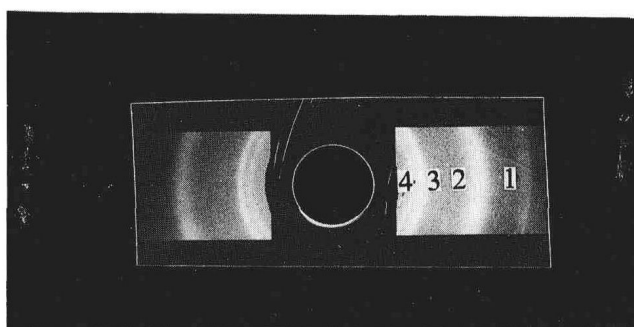
1.1 如何得到 DLS(HOW TO MEASURE DLS ON X-RAY FILM)

為得到正確的 DLS，一條顯明參考線在底片上是非常要緊的 (SHARP REFERENCE LINE)，這是沒有力存在的線 (ZERO STRESS LINE)，曾試用銀粉漆 (Ag PAINT)，SnO₂ 和銀沉澱出來的粉末 (Ag PRECIPITATED POWDER)，銀粉末是和一種油漆 (5 分 ISOAMYL ACETATE + 1 分 COLLODIUM 混合液) 混在一起。塗在鋼面上要量內應力的地方，大約 15mm × 15mm 大小，不能太薄，也不能太厚，太薄 DLS 即太弱，而太厚 X 光亦不能穿過，經驗是重要的。圖 1-2 是說明三種塗料之折射线，以銀粉為最佳，以后工作均用銀粉作為參考線。



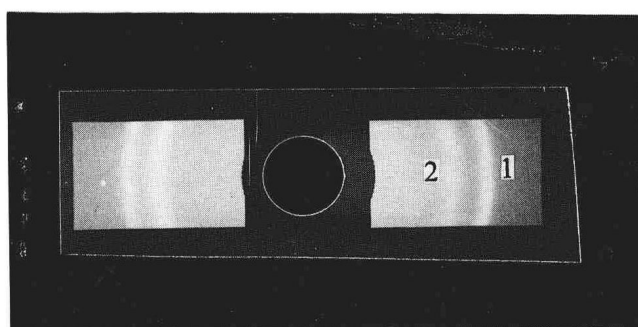
A. OHMEX 銀粉油漆

1. 無銀折射線
2. 鋼折射線



B. SnO_2

1. 3, 4, SnO_2 折射線
2. 鋼折射線



C. 沉澱銀粉末

1. 銀折射線
2. 鋼折射線

圖 1-2 OHMEX 銀粉油漆， SnO_2 和沉澱銀粉末的 X 光折射線

如圖 1-1 所示，鑄鋼片疲勞試樣（FLEX BAR）放置在水平位置，X 光管轉動對試樣成 45 度，長方形相匣（CASSETTE）裝有（24mm×69mm）X 光底片，底片用黑紙包好，相匣安裝如圖所示，細長“C”形光圈導管（“C” DIAPHRAGM）插在 X 光管孔上⁽¹¹⁾，相匣和試樣間的距離是 45mm。最好工作結果是 40KV, 12 MA，和底片在 X 光下暴露時間 30 min。爲了減少黑邊底片（DRAK SIDE OF THE FILM）的鐵螢光輻射（FLUDRESC-ENT RADIATION OF IRON），輕薄鋁箔（Al THIN FOLL）加到釩過濾片上（VANA-DIUM FILTER）之後面，底片經過顯彰，定影乾燥之後，底片上的銀折射線（Ag DIF-FRACTION LINE）和試樣鋼折射線（STEEL DIFFRATION LINE）。如圖 2-2C 所示，內應力越高，黑邊底片鋼折射線也越黑。B&L 顯像密度計（DENSITOMETER），用來量取折射線的密度，利用最高放大 40X 能力，儀器有足夠能力，決定折射線中央最小面積的密度。電位計（POTENTIOMETER）是記錄送到符號的設備，如圖 1-3 所示。電位計畫出的拋物線，底片每邊有兩個，一個是鋼折射線拋物線，一個是銀粉拋物線（PARABOLA

CURVE)，顯象密度計，讀 X 光底片時，是從灰邊 A 讀到黑邊 B 的順序。黑邊底片拋物線比灰邊底片拋物線高些，下面的公式是用來決定拋物線頂點（PEAK POSITION），這公式是由 KOISTINEN 和 MARBURGER 先生發表的⁽¹⁾

$$H = X_1 + C/2(3A + B)/(A + B) \dots\dots\dots (4)$$

在公式(4)中 A, B, C 與 X_1 代表的位置，如圖 1-4 所示。

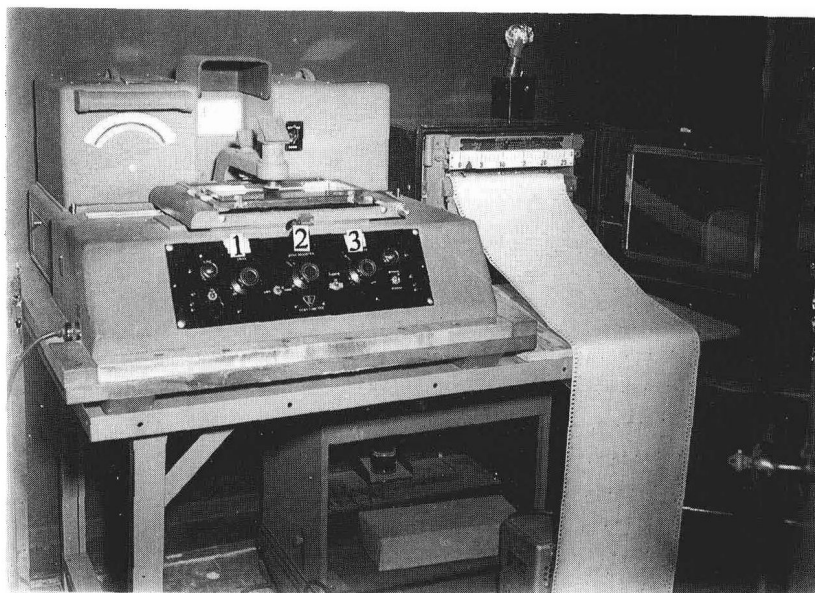


圖 1-3 B&L 顯像密度計(DENSITOMETER)和電位計(POTENTIOMETER)

1. 放大開關最高 40X
2. 零度調節開關
3. 敏感調節開關

圖 1-5 是計算 DLS 的例子。

X 光折射線轉位(DLS)計算的公式如下：

$$DLS = (\text{灰邊 A} - \text{黑邊 B}) \times 8.5\text{mm}/40 \dots\dots\dots (5)$$

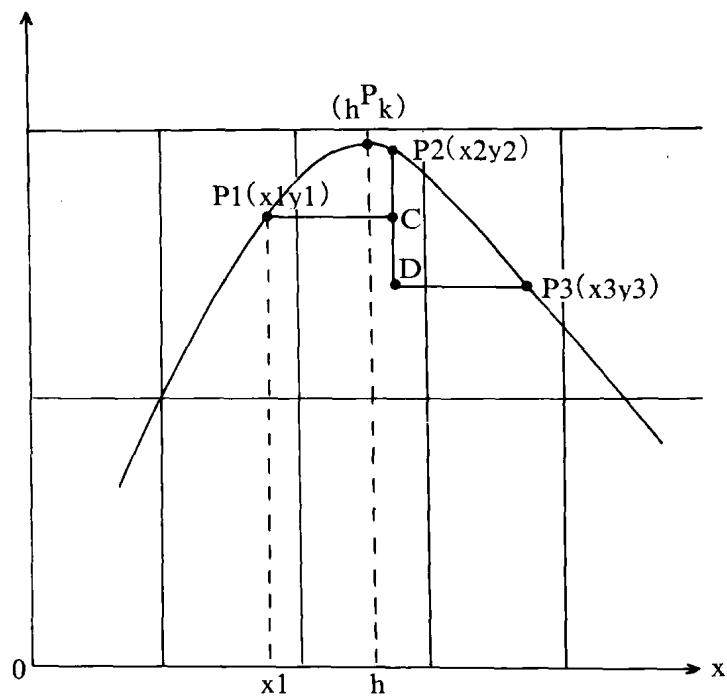
A, B = 鋼拋物線頂點到銀拋物線頂點的距離。

8.5mm = 表格紙的一格。

40 = B&L 顯像密度計最高放大能力。

如果(A-B)是(+), 顯示鋼件表面有拉內應力(RESIDUAL TENSION STRESS)；

如果(A-B)是(-), 即鋼件表面存有壓縮內應力(RESIDUAL COMPRESSSION STRESS)。



$$h = x_1 + C/2(3a + b)/(a + b)$$

$$C = P_1C = DP_3$$

$$= (x_2 - x_1) = (x_3 - x_2)$$

$$a = P_2C = y_2 - y_1$$

$$b = P_2D = y_2 - y_3$$

圖 1-4 說明拋物線頂點計算公式中各個常數之位置

從圖 1-5 上灰邊和黑邊的 A 和 B 得數為：

$$A = 16.0628 \quad B = 12.4111$$

$$DLS = (16.0628 - 12.4111) \times 8.5\text{mm}/40$$

$$= +0.7761\text{mm}$$

因為 DLS 是(+)號，說明疲勞試樣的表面上，存有一層拉內應力 (RESIDUAL TENSION STRESS)。

1.2 如何得到力因子(S.F.)(HOW TO OBTAIN A STRESS FACTOR)

圖 1-5 疲勞試樣是淬火，回火高張力鋼 (QUENCHED AND TEMPERED HIGH TENSILE STEEL)，試樣化學成分如下：

C	Mn	Si	P	S	Al
.26	1.56	.35	.021	.019	.06

與試樣同時澆鑄的有 1.0"×12"×12.25" 鑄件一塊，施以下列熱處理：

1650°F×1.0hr. ...W.Q. (水淬)

(899°C)

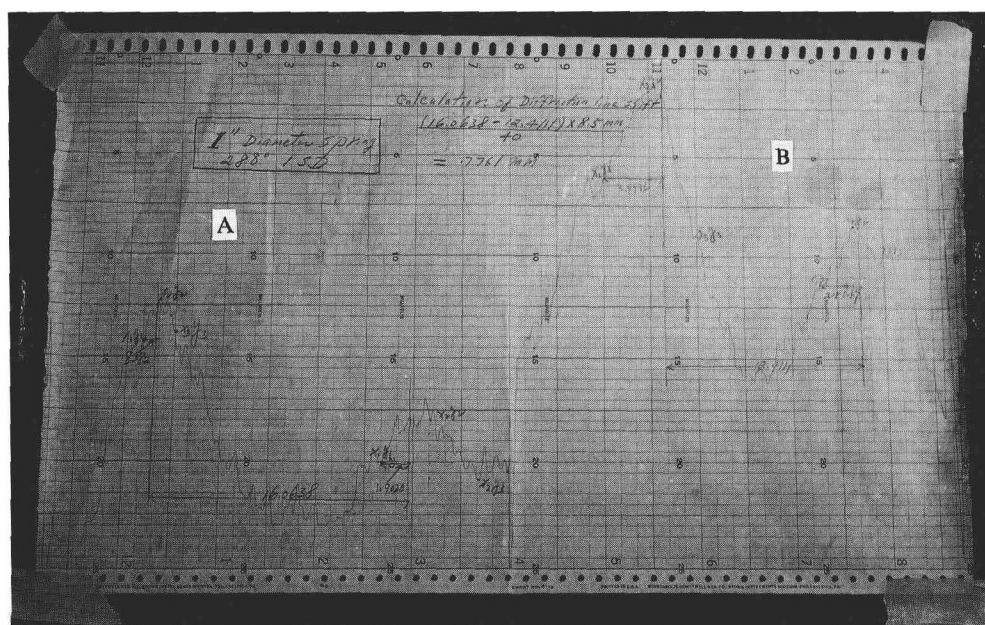


圖 1-5 從 X 光底片上顯像密度計讀到的鋼和銀粉之拋物線

疲勞試樣 (FLEX BAR) 正確的回火溫度，不得而知。淬火後 1.0"×12"×12.5" 鑄件，鋸分三塊，施以兩小時回火，回火溫度如下：

回 火 溫 度	350°F (177°C)	700°F (371°C)	1050°F (566°C)
硬 度	430 BHN	387 BHN	255 BHN

每塊回火後，鑄件再鋸分三個試樣，每個經磨床加工成 1/4"×1"×12" 校正試樣 (CALIBRATION BAR)。試樣上下面，磨去相同的厚度，以達到最后需要的 1/4"。校正試樣是用以得到力和 DLS 關係之校正曲線 (CALIBRATION CURVE)。

TYPE 4878 MAGNAFLEX 公司製造彎曲裝置 (A BENDING FIXTURE) 從事校正工作，彎曲裝置附有應變刻度設備 (STRAIN SCALE)，所以在每個校正試樣上 .0005 in/in, .0010 in/in, 和 .0015 in/in 三個位置，代表應用力 15KSI, 30KSI, 和 45KSI 劃上符號，X 光針對這三個位置量取 DLS，結果如下：

表 1-1 校正高張力鋼之結果

硬 度 (BHN)	力 (KSI)	DLS (mm)
430	15	.224
	30	.406
	45	.584
387	15	.264
	30	.458
	45	.658
255	15	.325
	30	.531
	45	.707

利用 X, Y 直線關係方程式：

$Y = A + BX$ 得到它們直線關係如下：

表 1-2 高張力鋼 A 與 B 直線係數

硬 度	A	B	R	Sy(PSI)
Q+T 430 BHN	.045	.012	.99	300
Q+T 387 BHN	.066	.013	.99	300
Q+T 255 BHN	.139	.014	.99	600

(B)非常接近，可以說相互平行，相關係數 (CORRELATION COEFFICIENT) 非常的高， $R = .99$ 。統計錯誤 (2 SIGMA) 不過 (+或-) 1200 PSI。所以把二組數目混在一起，通過 0 點校正直線，如圖 1-6，這直線斜坡的倒數，就是淬火、回火之高張力鋼的力因子 (STRESS FACTOR)。

$DLS = .0128\sigma$ ，所以 $DLS/\sigma = .0128\text{mm/KSI}$

$S.F. = \sigma/DLS = 1/.0128 \text{ KSI/mm}$

$S.F. = 78 \text{ KSI/mm}$

回火溫度之高低，對淬火、回火之高張力鋼 (QUENCHED AND TEMPERED HIGH STRENGTH STEEL) 的力因子無關，雖未知試樣回火溫度，利用公式(3)，可計算淬火、回火高張力鋼疲勞試樣表面的內應力。