

几年以前，金屬陶瓷就很有希望地在渦輪噴气發动机方面找到了用途。当时碳化鈦基金屬陶瓷达到高溫合金所接近的界限（極少的情況是超过了）中最好的。其結果的設計問題为須避免材料脆性。现在的問題是：在宇宙时代，陶瓷和金屬陶瓷有无作用？

这些材料用作高溫結構部件 尚 存在着問題。例如，若干陶瓷相当耐热震而在高溫却傾向氧化。而那些不氧化的材料其抵抗热的震動性能却又不佳。关于陶瓷类的材料用作火箭發动机，火箭噴嘴，前緣以及头部錐体等已有龐大的計劃。另外的用途就是用作如紅外線透

射窗及整流罩等导航系統的部件。

， 韌性的陶瓷 近代的研究曾經談到某些陶瓷类的材料原来就是不脆的。氧化鎂，气化鈉以及氟化鋰都可能是很韌的。从單晶体剛敲下的鋅片具有高的韌性。但这些鋅片長久暴露于空气中，則破坏其韌性。保持这种韌性的塗層，化学浸層，鍍層或其它方法的發展是有可能性的。須解决的另一問題就是如何从韌性的單晶体作成功韌性的多晶体的材料。（下期待續）

吳世澤譯自“金屬进展”

1958年10月号

用于導彈的鈎焊合金

許多类型的鈎焊合金都可以应用，但欲選擇一种合于某一工作的合金，則須根据下列因素決定，即所焊材料的类型、焊件將担負的工作以及所采用的焊接方法。标准鈎焊材料的改进应提高其結合强度和其他特殊性能。

彈道導彈的結構要求多样的鈎焊合金。某些部件的工作溫度很高，而另外一些則需在从極低的溫度到几乎赤热的溫度範圍內使用。在这种特殊情況下的腐蝕很成問題，而最困难的还是氧化。

即將討論的鈎焊材料分为三类：（a）在溫度相当低时所用的材料（包括銅与銀的合金），

（b）在100° F（或者还要高一些）下用的合金，（c）一些具有特殊性能的現代發展的合金。

低溫用的鈎焊合金：

对于从室溫到800° F以下的工作条件來說，銅是最好的。它的鈎焊溫度不太高——2050° F。如果所焊材料不致为空气所氧化，則无須使用焊剂即可有效地进行鈎焊。

不銹鋼在一种散熱式气体中用焊剂进行鈎焊时，其表面發生黑色也无妨碍。良好的焊接搭接縫的强度可达到被焊金屬的75~80%。

其它低溫用的鈎焊合金見表1。純銀（Fine Silver）和銀鋰（Ag-Li）合金用来連結不十分重要的小弧焊件。这种合金一俟达到熔点便随即流动；因而要形成小弧就須特別严密地控制溫度。焊接良好的搭接縫的强度可超过所焊合金的80%。大多数的銀合金都能达到这样要求。

表1 低溫用的鈎焊合金

合 金 成 分	固相点, °F	液相点, °F	鈎焊溫度, °F
100.0Cu	融 点	1980	2050
85.0Ag, 15.0Mn	1760	1780	1830~1880
84.8Ag, 15.0Mn, 0.2Li	1700	1755	1805~1855
94.5Ag, 5.0Cu, 0.2Li	1530	1670	1720~1770
92.8Ag, 7.0Cu, 0.2Li	1420	1620	1675~1725
71.8Ag, 28.0Cu, 0.2Li	1420	1435	1675~1725
純銀, 0.2Li	融点	1760	1800~1825

銀錳 (Ag-Mn) 和銀錳鋰 (Ag-Mn-Li) 合金适用于蜂窩結構, 但發現有所謂間隙腐蝕, 所以大都用含鋰的銀幣 (Sterling) 合金來代替。這種合金易于形成小弧, 因而認為在製造工作中易于使用。

一種具有優良粘濕性 (Wetting characteristics) 的合金, 含有 72% 的銀, 28% 的銅 (并有 0.2% 的鋰)。但是此種合金的成份接近于共晶點, 所以在固相點與液相點之間的溫度

範圍甚小, 而难于形成小弧。

含鋰的銀幣合金 (Sterling With Lithium) 一種重要的合金是含有 0.2% 鋰的銀幣合金。此合金在 1675° F 以下進行釐焊, 可以不用焊劑, 焊接強度良好, 且一般銀焊合金几乎均不透入基體金屬 (而銀銅共晶合金微透入基體)。下表所示採用銀合金釐焊 17-7PH 的標準抗剪強度:

用含鋰的銀幣合金釐焊可硬化的 400 組不

合 金 成 分	近似抗剪強度, 磅/吋 ²	合 金 成 分	近似抗剪強度, 磅/吋 ²
92.8Ag, 7Cu, 0.2Li (即 Sterling+鋰)	21500	94.8Ag, 5Cu, 0.2Li	14500
71.8Ag, 28Cu, 0.2Li	20000	純銀+0.2Li	12000
84.8Ag, 15Mn, 0.2Li	17500		

銲鋼, 有可能得到 26,000 磅/吋² 的抗剪強度, 構成釐焊接頭的金屬, 當其未完全溶入所焊合金中時, 對於接合強度的影響很大, 此類釐焊合金的物理性質是互不關聯的。

釐焊合金如何起作用:

這個問題难于回答。圖 1 表示接頭的厚度與其強度的關係。從圖中可以看出, 當一種極限強度為 160,000 磅/吋² 的不銲鋼件用一種銀合金釐焊于同一成分的零件上時, 得到了 130,000 磅/吋² 的結合強度。所用釐焊合金的強度屬於 70,000 磅/吋² 等級。可是, 無論如何間隙的厚度必須保持 0.0015 吋。

焊接結合的式樣很多。當用三個零件焊成 H 形的結構時, 却出現了問題。在此情況下, 必須形成幾個小弧以承擔能將三個零件撕開的拉力。小弧部分的材料強度確實是很重要的。從釐焊蜂窩結構的試驗證明, 不少的 (但不全是) 不銲鋼在焊接時所用的合金愈硬, 則用較軟的或較韌的材料所得的強度愈高。疲勞壽命并不因使用硬的合金而降低, 這也是有意義的。然後, 必須強調, 試驗是在整個結構上進行, 而不是在每個部件上進行。釐焊合金抗剪強度的測定, 應該斷裂在釐焊接頭部分發生, 其結果是硬質的溶解型合金的抗剪強度大于那些軟的合金。

許多試驗方法用來測定釐焊合金的性質。用一倒 T 試樣可以看到接合處合金的流動情況, 這樣就可以決定其是否能形成一個良好的小弧。將垂直的筋彎至水平部位, 可以測出強度、附着力和韌性等性質。但是, 若將此結果推廣用到形狀不同的結構上則不太恰當。

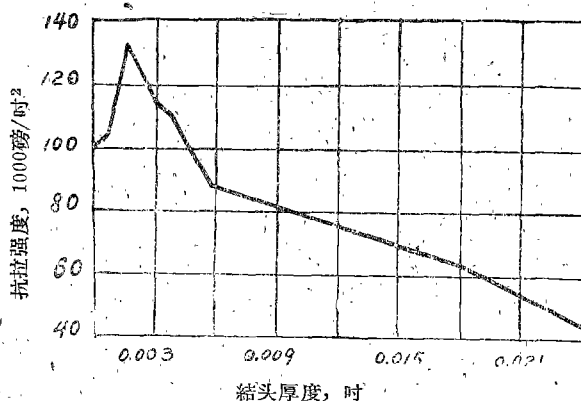


圖 1 結頭厚度對抗拉強度的影響。用銀合金 (70,000 磅/吋²) 釐焊的不銲鋼 (σ_B 160,000 磅/吋²) 若能將間隙厚度拉制在 0.0015 吋² 時, 則可得到 130,000 磅/吋² 的結合強度

高溫用的釐焊合金:

表 2 所列的一組合金, 就其成份而言是硬質合金。一般都是含硼的鎳基合金, 但也有不含硼的, 如 Ni-Cr-Si 型或其他型的合金。

前四種合金均含有硼, 故其性質亦相似,

表2 高温用的钎焊合金

代 号	化 学 成 分 %					熔点, °F	流点°F	A. M. S. 規 格
	Ni	Si	B	Cr	其 他			
NiB ₁₅ Cr	72.50*	5.00	3.50	15.00	Fe, Mn	1820~1830	1840	4775
NiB ₇ Cr	82.00	4.50	2.90	7.00	3Fe, Mn	1790~1800	1825	4777
NiB	91.25	4.50	2.90		Fe, Mn	1790~1800	1820	4778
Ni低B	93.25	3.50	1.90		Fe, Mn	1900~1910	1930	4778
NiCrSi	62**	19		10.00	Fe, Mn	2150	2150/2200	
	62.5***	4.50		4.5	8.5Mo, 18Mn, 余Fe.	2100	2150	

* 熔点的高低与制造的方法有关, 公布的数字系已知的比较高的温度。

** 如果这种合金是真空熔炼的, 其熔点可能较表中数值降低100°F之多。

*** 加入钼是为了抵销硅的脆化作用。

能溶入基体金属和渗透到不锈钢及一些高温合金中。如果没有溶入基体的性质时, 那么就某些方面说来, 这类合金的用途极少。如果焊件的断面相当的厚, 则从金相组织看来渗透到不锈钢中应无害处。焊接部分的成份随所焊的材料不同而变化甚大。例如, 当焊接302不锈钢、Hastelloy X或L605合金时, 其焊接部分的成份是很不相同的。而焊接良好的接头, 其强度却随焊件的强度而变化。

硼曾经因选择性地溶入不锈钢中后能引起脆性而受到指责但又很清楚合金是整体地在扩散。图2所示系一钎焊切面的金相图片。图片的上部系钎焊合金NiB₇Cr。而基体金属则系热处理到硬化变化的17-7PH钢。其水平面的长菱形金刚石压痕系Knoop硬度压痕。可以看出由压痕所引起的滑移面的痕迹是直线的, 故其结构是奥氏体。Knoop的压痕也逐步进入基体而所引起的滑移面不再是直线形的, 而是不规则形, 这就说明了铁素体的存在。有效渗透程度可用Knoop压痕来决定, 当其靠近焊接金属一边时, 则显示直线的滑移面, 而在较远的另一边则出现不规则的滑移面。奥氏体的形成不仅是由于硼的关系, 焊接合金本身渗进基体金属也发生这个影响。钎焊接合部分经

化学分析后, 说明镍和硼都存在。

硼的性能 硼合金具有溶解和扩散入钢中的特点。这个现象既有好处也有弱点——焊接大的切面时比较合乎理想, 而在焊接薄件时, 稍不留心便会发生事故。如在钎焊蜂窝结构时, 可将箔材滴穿。若将这类合金用在薄的切面时, 则必需准确地控制钎焊合金的用量、钎焊温度和时间。最后一个因素是最难控制的, 因为部件的质量(mass)可能是决定性的因素。虽然如此, 仍然在使用NiB₁₅Cr, NiB₇Cr和NiB合金生产物理性能优良的蜂窝结构。

某一家制造导弹的公司已经解决了如何使

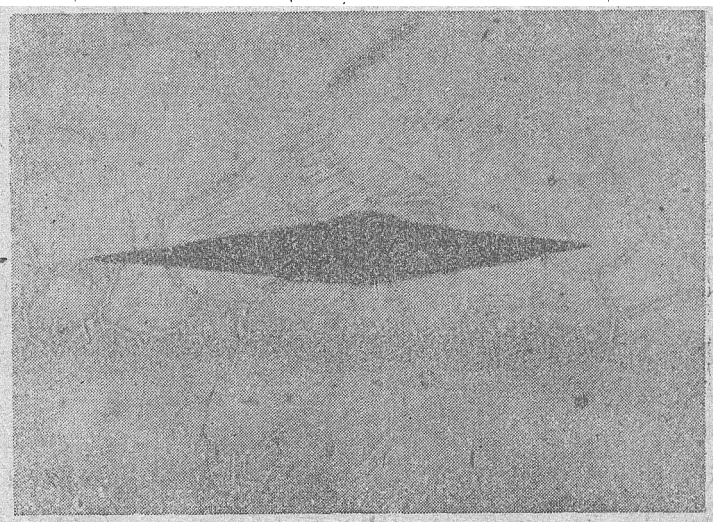


图2 用NiB₇Cr合金钎焊且经过热处理后的17-7PH钢的切面。

由压痕所引起的滑移面痕迹是直线形的, 这说明了奥氏体结构。这个技术可用来决定有效渗透层。

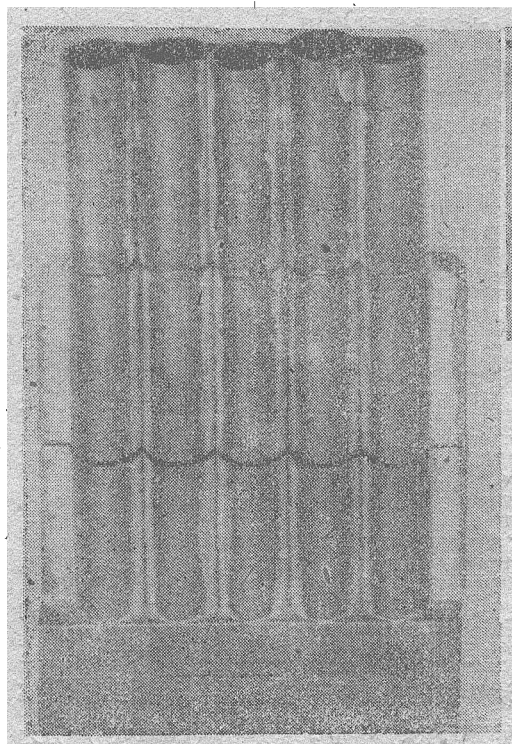


圖3 在1900°F溫度下將347不銹鋼管釐焊于Timken17-22AS合金及4130鋼底座上的熱交換器的切面。在釐焊後將此零件熱處理到 $R_c37\sim39$ ，將試樣切開檢查焊接部分的橫切面均未發現裂紋

用 NiB_7Cr 合金問題。圖3、4及5表示將各種不同的結構放在一起來安排的釐焊工藝過程及所用的各種合金。下面摘錄了一段該公司冶金師的報告：

“使用高溫鎳合金釐焊火箭的熱交換器特別重要，這不僅是因為它們具有高的抗腐蝕性，而且因為在焊接這些薄零件時可以完全避免滴穿，而這種滴穿在一般情況下却常常遇到。釐焊的熱傳導特性得到了改進。 NiB_7Cr 及 NiB 合金更為特別重要，因為其爐與爐之間的流動點穩定（在 $10^\circ F$ 之內）不像其他高溫鎳基釐焊合金那樣，在較低的溫度下仍然流動。這是很有意義的，因為下部截斷現象可以盡量減少，而在較長的垂直釐焊切面也容易控制其滴穿”。

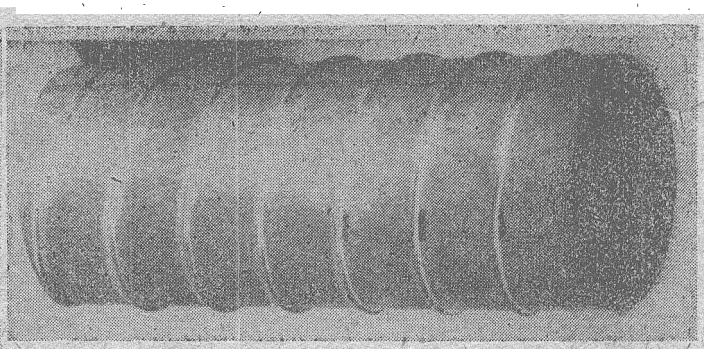


圖4 這些管子直徑為8吋，長約20吋，在管子周圍纏繞以絲。管子和絲都是用17-PH製成，而用 NiB_7Cr 釐焊合金焊接。釐焊後進行硬化，沒有碎裂或變脆的象徵

這位冶金師也曾研究過因康鎳X (InconelX)的焊接。他找到了最滿意的方法如下：

1. 準備好剛磨成功的面。
2. 混合一種含 NiB_7Cr 合金粉的氟化鈉的飽和溶液。
3. 在露點不高于 $-60^\circ F$ 的氬氣中進行釐焊。
4. 保持釐焊合金用到可能少的程度。

圖6系用這個工藝釐焊成功的標準的因康鎳 (Inconel) 合金的組織結構。

釐焊合金的選擇：

從不同的釐焊合金中選擇一種的理由常不十分肯定。然而，在這些合金中確存有一些區別。除開低硼鎳合金而外，含鉻15%的合金的融點比其他的都要高一些。前者不如本組內其他合金活潑，但在原合金元素需要具有韌性的情況經常採用之。含鉻15%的合金溶于基體金

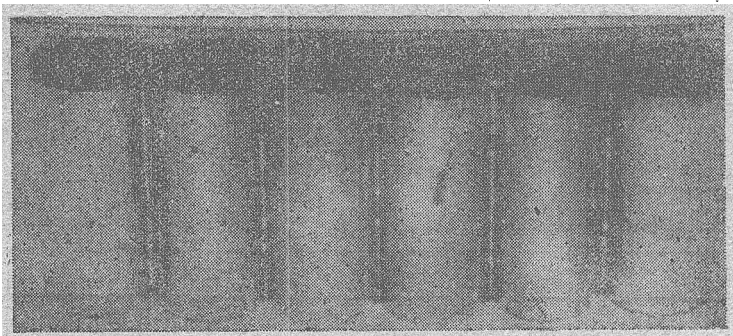


圖5 這個導彈的裝配件用來盛發煙硝酸。系用17-7PH鋼製成，用 NiB_7Cr 在1950°F釐焊然後熱處理。必需全部焊接，這只須在一部位用1吋長的小片任其流下以填滿焊縫其餘部分即可

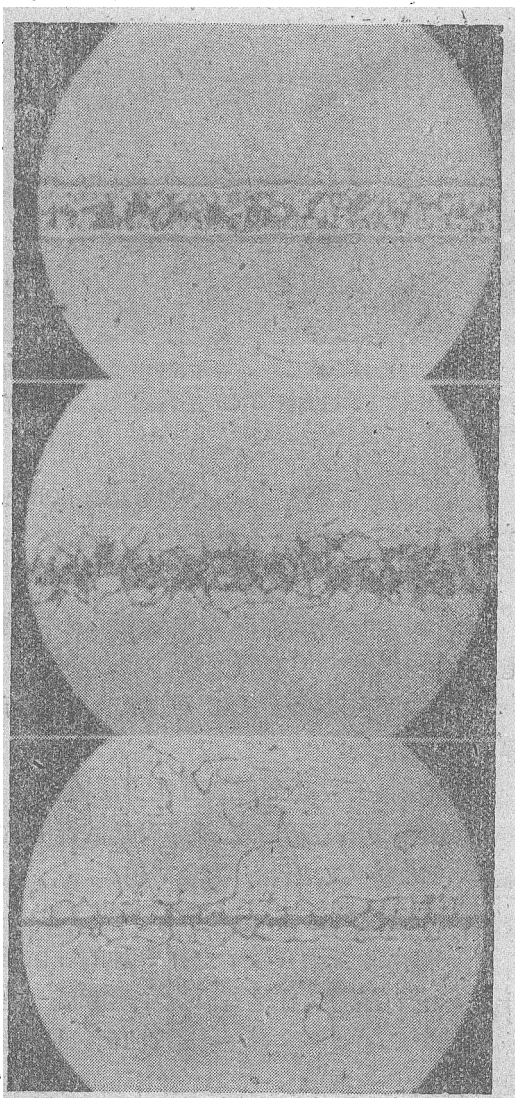


圖6 因康鎳X (Inconel X) 焊縫的圖片(上圖)。間隙為0.006吋, 用NiB₇Cr 在1850°F 鈎焊10分鐘(中圖)與上圖同, 鈎焊後在2000°F 熱處理1小時(下圖)。間隙為0.002吋, 用NiB₇Cr 在1850°F 鈎焊10分鐘。鈎焊後在200°F 熱處理1小時

屬很快, 并隨這樣形成的合金發揮其效能。NiB₇Cr 合金較NiB₁₅Cr 合金略不活潑并可在溫度較低的情況下融化。NiB 合金又較NiB₇Cr 合金略不活潑。然而, 也必須溶解一些焊接的

表面, 才能發揮其作用。

可能認為與基體金屬作用最小的材料才是很好的。但并不限于此。曾經用由NiB₇Cr 焊成的蜂窩結構與由只潤濕而不溶解的合金鈎焊成功的同樣的結構進行了比較研究。其結果如下: (見下表)

在以上所有試驗中, 每一原件的大小為 $\frac{1}{4}$ 吋, 箔厚為0.002吋。由其他的試驗也曾得到類似的結果, 但仍恐怕硼對於組織結構的作用會阻碍活性合金對鈎焊蜂窩結構的一般的使用。仔細研究焊件的切面, 從未發現由於硼在鈎焊合金中而產生脆化的作用。

具有特殊性能的鈎焊合金

某些材料幾乎在任何情況下都不容易焊接。17-4PH 就是其中之一, 但用加入2%的Ti 改性後的NiB 合金, 這問題就解決了。用這個方法焊成的焊縫是如此的結實, 以至於將部件熱處理到Rc37~40, 其夏比(charpy) 仍為124呎磅(在垂直於焊縫的方向) 及42呎磅(橫跨鈎焊縫)。而規定的最低要求則為15呎磅。

可加入其他元素限制含硼合金的溶解和滲透作用。例如, 加入10%的Co 可以阻止其溶解, 但對於許多類型的不銹鋼其作用則有限。當用此種合金鈎焊如因康鎳(Inconel) 700 之類的合金時, 可得到特別高的強度。鈷可以加在NiB, NiB₇Cr 或NiB₁₅Cr 任何合金中。(尚有其他更為有效的元素, 但因某些外國的專利規定, 現在尚非公布這些合金的時候。)

黃金合金 最近兩年曾經試驗過成分為72%Au, 6%Cr, 22%Ni 的合金。此合金溶入基體, 但不滲透; 基體金屬在2050°F 經過1小時只溶解0.003吋的深度。在正規的鈎焊溫度1900°F, 與母體金屬形成固溶體的量極少, 因此這種合金用來焊接很薄的鋼是有價值的。

材 料	試驗溫度	鈎 焊 合 金	結合強度, 磅/吋 ²	材 料	試驗溫度	鈎 焊 合 金	結合強度, 磅/吋 ²
321	室 溫	不合金化的合金	34,600	321	800°F	不合金化的合金	26,350
		NiB ₇ Cr	48,200			NiB ₇ Cr	36,150
17-7PH	室 溫	不合金化的合金	66,000	17-7PH	800°F	不合金化的合金	53,750
		NiB ₇ Cr	104,700			NiB ₇ Cr	73,250

在 1600° F 保溫 7 天之后，其在 1200° F 的抗拉强度为 40,000 磅/吋²；在 1600° F 时为 22,000 磅/吋²。（系用 18-8 不銹鋼进行試驗。）此合金的另一非常特性就是能够将石墨钎焊到各种类型的不銹鋼上。

一种含 68% 的 Mn, 32% Ni 的合金无疑是新穎的，但用途尚不广。制粉和箔都有困难，但問題似均已解决。在合金中加入 1% Co 改善了性質，特別在气氛不完全的情况下。加入 16% Co，对于钎焊含鋁和鈦的不銹鋼特別有用。

这些合金能够填充寬的間隙（0.010~0.015 吋，最近間隙寬到了 0.060）而不致于从焊縫中流掉。优良的小弧可以形成，故焊縫合金的强度特別高。稍有溶入基体金屬的傾向，但只到極有限的程度。焊縫的硬度变化亦很小；不管所焊材料的类型如何。含 1% Co 的 MnNi 合金的硬度（維氏）在 115~120 之間，而含 16% Co 的合金的硬度（維氏），則达到 190~200。

吳世澤譯自“金屬进展”1958年9月份

第69~104頁

一种較优良的渦輪盤合金 W-545

一种新的渦輪盤鉄基金属已經研究成功了，其高温持久强度和塑性及低温抗拉强度均佳。硼量由 0.005 到 0.15% 提高了現代奧氏体型沉淀硬化合金的固有的塑性。加入較多的鈦，就可能将合金进一步强化而不致使其增强缺口敏感性。

設計新型高温合金实际上十分簡單——所作之事不过提高工作强度，或工作溫度，或二者同时提高。并且那也是容易的。即只需在已有的現在合金內加入更多的沉淀硬化合金元素。說来似乎不真——然而事实确是如此。不幸的是，成为問題的，这样提高强度常常伴随着韌性的降低。可是，如果用同样方法提高韌性，則可使用更多量的硬化剂——而問題也就解决了。本文就是叙述一个标准的沉淀硬化合金是如何完成这样的工作的。

韌性与缺口敏感性（用带缺口的試样比不带缺口的在同样地进行持久强度試驗时較短的断裂時間来表示）的关系很密切。若果无缺口韌性达到 5% 以上的延伸率，則此合金具有可靠的缺口敏感性；延伸率在 2~5% 的範圍，則缺口敏感性在可靠与不可靠之間；当合金的延伸率在 2% 以下时，則其缺口敏感性肯定是大（根据此一原則，当一材料的无缺口延伸率在 5% 以下时，則不用作航空燃汽渦輪盤）。

硼的綜合作用

在一种沉淀硬化的合金底斯卡洛依中加入 0.005 到 0.15% 的硼，将大大地提高具有相等断裂寿命的韌性。因为韌性提高，所以能够加入更多量的鈦（沉淀硬化合金元素）。原来严格控制在約 0.2% 的鈦可以提高到固溶解度的極限 3.5%，而合金仍保持足够的韌性。由于含有較高量的鈦，所以材料的强度較高，而在同一应力下能够得到較長的蠕变断裂寿命。底斯卡洛依及 W-545 的公称化学成分如下表：

成分%	牌 号	底斯卡洛依	W-545
Ni		26	26
Cr		13	13
Mo		3.0	1.5
Ti		1.8	2.8
B		—	0.03
Fe		其余	其余

用了五十多試驗爐鍛成棒材經热处理以后再車成試杆。檢查晶粒度均为 A. S. T. M. No.