

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。

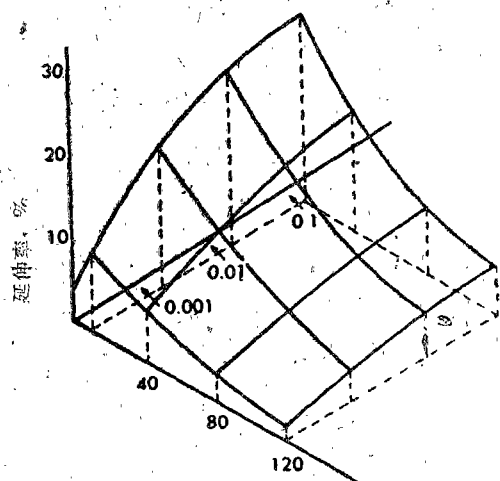
韌性与缺口敏感性（用带缺口的試样比不带缺口的在同样地进行持久强度試驗时較短的断裂時間来表示）的关系很密切。若果无缺口韌性达到 5% 以上的延伸率，則此合金具有可靠的缺口敏感性；延伸率在 2~5% 的範圍，則缺口敏感性在可靠与不可靠之間；当合金的延伸率在 2% 以下时，則其缺口敏感性肯定是大（根据此一原則，当一材料的无缺口延伸率在 5% 以下时，則不用作航空燃汽渦輪盤）。

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.



断裂寿命, 小时
圖 1 硼对于W-545合金在1200°F及70,000磅/吋²下不同断裂寿命的延伸率的综合作用

4至5的試杆的持久强度試驗結果,說明鈦含量提高时,也必須提高硼含量,以充分發揮硼的作用。鈦在1.7%的範圍时,只須加入0.005%的硼就足以發揮硼的效果;硼量增加到0.007%亦不影响合金的性能。而对于2.4%含量的鈦則需約0.02%的硼才能得到足够的断裂韌性。为了更完善地研究硼的作用,用了一系列的組合的合金进行試驗,而将其結果作成三向圖表示硼含量与断裂時間及断裂延伸率

的关系(見圖1)。由此圖的曲面可以看出断裂時間增加时,断裂延伸率减小;而当断裂延伸率增加时,則須提高含硼量。

缺口敏感性

上面已經談到了缺口敏感性。我們覺得真正具有缺口韌性的材料,有缺口的試杆的断裂寿命應該比沒有缺口的要高。因而就提高含硼量对于缺口敏感性的影响曾进行了一系列的試驗研究。这是对几爐化学成分相同的鋼(含Ti約2.4%)变化其含硼量而进行持久强度試驗。对所有的試杆采用了3.9的缺口集中比。

試驗是在1200°F及70,000磅/吋²的条件下进行的,其各爐的含硼量由0到0.12%。两种相差很远的时效处理用来發揮热处理的效果。它們是:(a)在1350°F加热20小时,冷到1200°F,并在1200°F保溫20小时;(b)在1200°F加热16小时,在16小时内升溫到1300°F,并在1300°F保溫12小时。后一热处理称为“Genuage”。

持久强度試驗的結果見表1。可以看出当含硼量增加时,其无缺口的断裂韌性增加;当延伸率約大于5%时,有缺口的断裂寿命就比无缺口的大得多了。

在1200°F及70,000磅/吋²条件下的持久强度試驗

硼, %	光滑試杆				缺口試杆		
	断裂寿命, 小时	延伸率, %	試前 R_C	試后 R_C	断裂寿命, 小时	試前 R_C	試后 R_C
0.000*	38	3.5	33	33	16	32	33
0.002	28	3.7	31	31	14	31	31
0.006	32	6.0	32	32	35	31	31
0.02	25	10.0	31	31	44	31	31
0.06	27	14.2	31	31	52	31	31
0.12	25	18.1	31	31	56	30	30
0.000**	93	1.6	31	35	5.7	31	35
0.002	102	1.8	32	35	9.0	31	35
0.006	95	2.9	31	35	44	31	35
0.02	99	4.0	31	35	83	31	35
0.06	109	7.5	32	36	155	31	35
0.12	95	8.5	31	35	156	31	35

* 标准的时效处理: 在1350°F加热20小时,冷到1200°F,并在1200°F保溫20小时。

** Genuage: 在1200°F加热16小时,在16小时内加热到1300°F,并在1300°F保溫12小时。

热处理和时效处理是控制沉淀硬化合金的持久强度性能很有效的办法。这类合金的强度和韧性的控制因数，可以相信是由于沉淀相的分布和大小，不管这些相是連續的或不連續的。

硼的作用的理論

一般相信硼能使合金更强或者更韧，有时發揮两种作用（必須記着，持久强度的加强意味着蠕变速度的减小和断裂寿命的提高）。不少的概念在理論上是肯定的，而且不止是硼才有这种作用。

很多的理論都联系到硼原子的大小异常和在鋼中的部位。其大小約为普通置換元素（如鉄、鉻、鈷、鎳、錳及釩）的四分之三，但比其他間隙元素（如氢、碳和氮）又多少要大一些。这样它就既非置換元素，亦非間隙元素：故硼可以强迫进入任一种位置，而使合金强化。若被迫进入一个間隙位置，則其他的原子被張开而产生了內应力。反之，如果它占据了一个置換的位置，則与硼相邻的原子将被吸撤，也就引起了內应力。

硼之所以能使一种合金更韧，系假定存在着一种致密的結構。这种致密的最合法的部分就是晶粒周界。这就是由于相邻晶粒按不同方向的生長而造成局部的自然晶格的位置。由于相邻晶粒的生長不同，而發生大小不同的孔穴，这就可能适合于硼的原子。如果存在于晶粒周界，則硼原子就会减慢晶粒周界的沉淀作用。一旦發生沉淀，則沉淀的按化学反应的成分的原子将因扩散作用而集聚。因为晶界是短路的扩散途徑，晶界的硼原子会阻擋扩散，这就可能切断正常的沉淀作用。正常的，希望形成一个連續的晶粒周界沉淀；而一般晶內的沉淀，仅在晶界沉淀几乎完成的时候才开始。一个連續的晶界沉淀，是对持久强度的韧性不相宜的，因为金屬在高温的断裂常常穿过晶界，而一个脆的晶界沉淀常常导致一个脆性破断。

当硼原子存在于晶界，則可希望緣一般的沉淀而将晶界的連續沉淀破碎。圖 2 所示系三



圖 2 三种状态的沉淀硬化合金的电子显微組織。
第一个圖片系經固溶处理后的W-545；第二个圖片系不含硼的时效合金的連續晶界沉淀；而第三个圖片則系时效后的W-545。注意后一圖片的不連續晶界。所有圖片均系10000倍(縮小后并复制)

种 W-545 的金相組織的电子显微圖片。第一个圖片表示在固溶处理状况的三个晶粒的交界，不論含硼与否都能代表这个合金。当一个不含硼的合金沉淀硬化之后，在晶内形成沉淀时，晶界形成了連續的沉淀。第二个圖片說明了这个作用。从这样的合金看来，由晶間滑移或晶内滑移得到較好的韌性的可能性似乎太少了。而时效硬化的含硼合金，則有一个不連續的晶粒沉淀以及一般的晶内沉淀。晶界的滑移与晶内的某些滑移似乎十分容易；最后一个圖片所示的結構是韌性的。如果晶界沉淀与晶内沉淀是不同的化合物（例如前者为碳化物相，而后者为 Ni_3Al 或 Fe_2T ），則硼可能存在另一作用。硼可以改变碳化物相，使其在晶間成为含硼碳化物（Boro-Carbide）或含碳硼化物（Carbo-Boride）；这些都不会形成像一般在碳化物相所看到的細脆状或層状。細脆状的沉淀曾被証明对某些合金有坏的作用。

这种新合金已經过了实验阶段，其由商品鑄錠制成的鍛件的性能已与实验室的数据相似。由 1000 至 5000 磅的商品鑄錠制成的鍛軋品有棒材、板材、和薄餅及渦輪盘型鍛坯。从这些制品得到的一些有代表性的机械性能列于表 2。这些数据說明了这种新合金的商品發展已經滿足了設計者的最大願望。

表 2 W-545鍛軋商品的性質

(A) 室温机械性能

屈服强度	極限强度	延伸率	断面收縮率	硬 度
磅/吋 ²	磅/吋 ²	%	%	R_C
(a) 116,000	151,000	18.0	21.0	31~32
(b) 129,000	162,000	12.0	14.0	35~36
(c) 108,000	142,000	8.0	—	32
(p) 115,000	162,000	20.0	25.0	35

(B) 持久強度数据

試驗温度 °F	負荷压力 磅/吋 ²	光 滑 試 杆		缺口試杆 断裂寿命 小时
		断裂寿命 小时	延伸率, %	
(a) 1200	70,000	33	12.4	58
1200	70,000	40	11.3	76
1200	70,000	100	6.6	774
(b) 1200	75,000	25	10.0	364
1300	60,000	143	5.2	384
1300	65,000	31	5.4	105
1300	70,000	6.1	11.7	67
(c) 1200	75,000	41	—	—
1300	60,000	25	—	—
(d) 1200	80,000	25	18	—
1200	75,000	143	12	—

(a) 棒材，含 Ti 2.4%；

(b) 薄餅鍛件，2.7% Ti；

(c) 板材，2.7% Ti；

(d) 渦輪盘鍛胚（真空自耗極电弧鑄錠），2.8% Ti。

吳世澤譯自金屬进展

1958 年 8 月份

小
資
料

圖-104 飞机上的非金屬零件

在近代的超音速航空中，非金属材料已获得了日益广泛的应用，以苏联的圖-104 飞机为例，上面就有十二万个零件是用塑料及有机玻璃制成的，在火箭和導彈上，也成了高温和高强度材料的考虑对象。