

計算扭曲時，抗剪模數值 G 最大。由於通過實驗很難測定這種模數，一般是按第一種彈性數值 E 和波桑系數 μ 確定，該系數在各種溫度取等 0.3。

$$G = \frac{E}{2(1+\mu)}$$

從圖 8 可以看出，F. V. 448 鋼的 G 與比重 P 的比值最大。而鈦合金的最低。在 150 °C 以下鋁合金也具有很高的 G/P 的比值。

這樣一來，用於較高溫度下工作的材料應根據結構和材料的工作溫度選擇。在設計複雜的航空結構時，必須確定載荷。

在許多情況下，由各種材料製造結構可以取得最大的效果。在這種情況下，必須要注意接觸腐蝕和由於各種材料的膨脹系數的不同而造成的應力和變形。

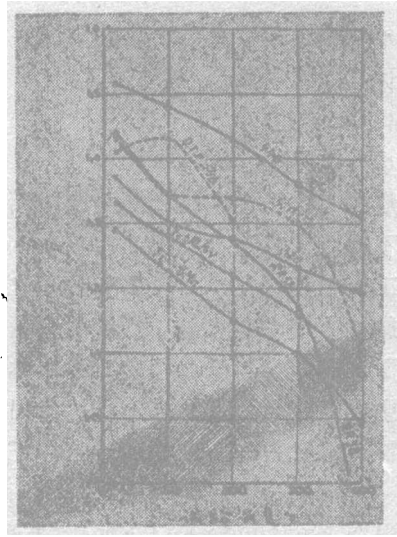


圖 8 扭曲時的重量效應

李雲盛譯自“飛機製造”快報 58N016

用於耐熱飛機結構的沉淀硬化不銹鋼

由於空氣動力以及發動機生熱所引起的飛機結構的耐熱問題日益嚴重。用於蒙皮及皮下結構的薄板材料引起極大的重視，那就是沉淀硬化不銹鋼和鈦合金。在飛機和導彈的結構上使用沉淀硬化不銹鋼日益增加且將來可望獲致更多的用途。其突出的優點為易於加工。

雖然未來的飛機和導彈的真正速度仍是一個軍事秘密，但從空氣動力以及發動機生熱所引起的不斷增長的耐熱問題則為吾人所熟知。在高的工作溫度下結構材料的強度降低了；這就使材料的選用複雜起來。

某些高強度低密度的材料，為鋁基及鎂基合金，受了某一使其仍具有用強度的極限溫度的限制。鋁合金的最高使用溫度只到 300~400 °F 的範圍，而鎂合金的使用溫度則略高。故在許多航空結構遇到高溫的問題時，飛機和導彈的製造者都轉向其他的金屬。

對於此類蒙皮和皮下結構使用的值得注意的薄板材料就是鈦合金和沉淀硬化不銹鋼。其它可以合理考慮用於高速飛機結構的薄板材料

不外低合金硬化鋼；標準鎳鉻不銹鋼；馬氏體不銹鋼；熱工作工具鋼；高溫合金以及一些外來的合金。這些金屬的某些局限性將探討於后。

低合金鋼，一般說來，可以硬化到高的強度但有下列不利點：

- (a) 從高溫急冷形成扭曲；
- (b) 這類合金表皮不加蓋層其抗蝕性不足；
- (c) 在硬化狀態下焊接和切削都感困難。

標準鎳鉻不銹鋼(300 型)在飛機發動機和航空結構方面應用極廣。但因其極限強度系得自冷加工，其成形性質使設計受到限制而只能用於只需輕微成形的方面。

馬氏體不銹鋼(即 400 類型與其改進型號)對航空結構工業是相當新穎的。這類合金可以熱處理到預定的高溫高強度性質，但抗腐蝕性能不能滿足飛機的需要。這些鋼種具有下列生產方面的困難：

- (a) 热处理后發生弯曲;
- (b) 脫碳;
- (c) 难切削;
- (d) 难焊接。

大量的工作正在进行發展新型馬氏体型鋼种并且不久可望有不少改进。

热工作工具鋼在 400 至 1000 °F 之間在所有商品結構金屬中具有最高的强度重量比。其生产方面的問題亦与低合金鋼及馬氏体型鋼相似。抗腐蝕和抗氧化性能亦不够,故用作部件必需盖層。在这方面的發展工作正在进行中。

高温合金在 1000 °F 以下使用的薄板材料很少考虑到它,因为它用到了稀缺元素鎳和鈷。

材料要求条件

任何材料在考虑作某种特殊用途之前,其預期的使用条件,如荷重、温度、時間以及使用环境等必須規定。对于飞机第一个要求就是要輕。此即意味着在預期的工作温度材料須具有最高的强度重量比。第二个要求是部件所占的空間或厚度。对于某一部件若限定了所占空間,則所选的材料須能使此件在那样小的空間內仍具有必需的堅牢性。材料的室溫性能是很重要的,因为强度、硬度,展延性以及疲劳强度等指出了材料的質量和均匀性。高温性能,如强度、蠕变、变形、持久强度以高温疲劳則决定了在工作温度的稳定性和表現。

影响板材强度的其他重要性能尚有抗腐蝕、抗氧化及抗磨耗或燒蝕等性能。表面稳定性不够时,如發生銹皮、針孔銹斑及晶間腐蝕等,則亦会降低材料强度以致于提前破坏。

不管一种合金有怎样出色的性能,都必須在大量生产的飞机所需的各種型材都能适用才行。加工是否容易大大地影响着材料的价值和选用。在实际应用中也必須考虑焊接性和成形性的因素。

沉淀硬化不銹鋼

記着上述的要求,讓我們着眼到一些沉淀硬化不銹鋼。公称成分以及鋼的来源見第一表。这些鋼和一般鋼不同之处为長时期暴露于 400 至 800 °F,而仍能保持其热强性。

流行的商品沉淀硬化不銹鋼的最早的就是 17-7PH; 而 PH15-7MO 是相当新的合金。由于加入 2 到 3 % 的 MO 而获得了更高的强度及更好的高温稳定性。这些鋼种的强度系来自两方面: (a) 从奥氏体轉变为馬氏体及 (b) 由于从馬氏体基底沉淀出第二相 (可能是 Ni—Al)。

AM 350 及 AM 355 型却非真的沉淀硬化鋼,其所以为此命名系因选用类似的热处理工艺进行硬化和軟化故也。它們系依靠馬氏体轉变而得到强度。因为没有第二次硬化,所以它們的室溫强度比較 17-7 PH 和 PH 15-7 MO 都低,但到了 500 °F,这些鋼的强度都大致相等。

第一表 沉淀硬化不銹鋼

鋼 的 牌 号	化 学 成 分 %							
	C	Mn	Si	Ni	Cr	Mo	Al	N
17-7PH(Armco)	0.07	0.60	0.40	7.0	17.0	—	1.15	
PH15-7MO(Armco)	0.07	0.60	0.40	7.0	15.0	2.25	1.15	
AM350(Alleqhenqludlum)	0.10	0.90	0.40	4.0	17.0	2.75		0.10
AM-355(Alleqhenqludlum)	0.13	0.95	0.50	4.0	15.0	2.75		0.10

这些鋼种常用的标准热处理规范見第二表。其售貨状态系在高温(1950 °F)退火以得到

在运输中及極大的成形中奥氏体的稳定性。若欲进行低温处理,則必須先将其催化。宜于低

溫及回火处理的催化处理約在 1750 °F。对于鋼厂退火的材料进行双重时效处理，則不需要催化处理。

低温处理的鋼的强度一般比用双重时效处理的都要高一些。这是由于在奥氏体轉变为馬氏体之前存留于固溶体中的碳更多的原故。第一圖所示为 17-7 PH, PH 15-7 MO, 及 AM-350 經低温处理及回火处理后的标准抗張强度。注意这些鋼的强度都約在 500 °F 趋于一致。

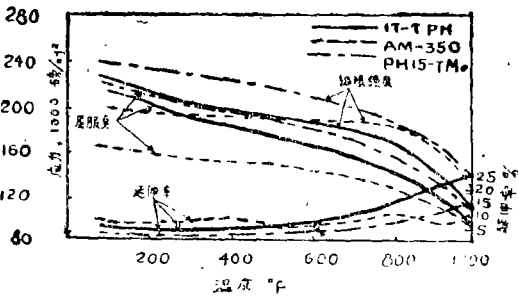


圖 1 經低温处理及回火处理后的17-7PH; PH15-7MO, 及AM-350的标准拉力强度

第二表 沉淀硬化鋼的热处理工艺

17-7PH及PH15-7MO(鋼T在1950°F 退火)				
低温处理(RH950)		双重时效 (TH1050)		
1.加热到 1750°F, 10分; 2.冷到-100°F, 保持 8 小时; 3.再热到950°F, 1 小时; 4.空冷		1.加热到 1400°F, 90分; 2.在一小时内冷到 60°F; 3.再热到1050°F, 90分; 4.空冷。		
抗 拉 性 能	RH950		TH1050	
	PH15-7MO	17-7PH	15-7MO	17-7PH
極限强度, 磅/吋 ²	240,000	235,000	210,000	200,000
0.2,%条件屈伏强度, 磅/吋 ²	215,000	220,000	200,000	185,000
延伸率(2 吋标)%	6.0	6.0	7.0	9.0

AM-350及AM-355(鋼T在1950°F 退火)				
低温处理(SCT)		双重时效处理(DA)		
1.加热到1710°F; 2.冷到-100°F, 至少 3 小时; 3.再热到850°F, 至少 3 小时; 4.空冷。		1.加热到1375°F; 2.空冷; 3.再热到850°F; 4.空冷。		
抗 拉 性 能	低 温 处 理		双 重 时	效 处 理
	AM-355	AM-350	AM-355	AM-350
極限强度°磅/吋 ²	215,000	200,000	190,000	195,000
0.2%条件屈伏强度, 磅/吋 ²	195,000	175,000	170,000	155,000
延伸率(2 吋标距)%	12.0	13.0	12.0	10.0

胜任载荷能力——在600°F以上使用这些材料的重要的设计方面的考虑就是它们的受载荷变形的现象。圖 2 表示 17-7 PH及PH 15-7 MO鋼在 600 至 900 °F 的范围内1000小时能胜任的载荷。圖中只提供了永久变形为 0.1 及

0.2%的結果。PH15-7 MO的蠕变性能基本上比 17-7 PH 为优。AM-355 則較 AM 350 有更好的蠕变强度。

一般說来, 关于缺口敏感性、载荷强度, 冲击强度、焊接性、成形性以及切削性, 沉淀

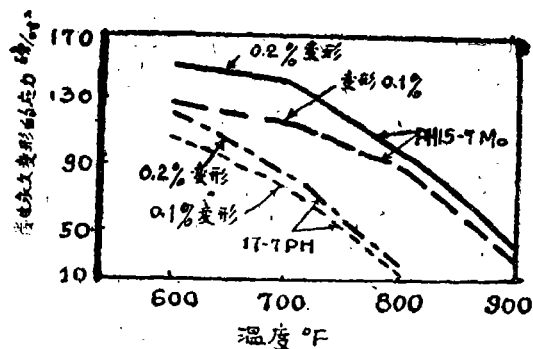


圖2 PH15-7MO及17-7PH板板, RH950 状态, 在1000小間加載着下的变形情况

硬化鋼都是适当的。因为这些鋼种曾被分类为耐腐蝕材料, 更恰当的分类似应称之为次耐腐蝕材料。試片在短時間暴露于剧烈的海洋气氛表面即發生紅锈。其应力腐蝕性为另一重要的須加考虑的問題, 即在某一程度应力及腐蝕环境, 但只極有限的數據可以应用。

沉淀硬化合金板材的应用

这些鋼材首先用作F-86佩刀式噴气飞机結構的肋材及橫桁。良好的加工經驗以及工作表現曾导致了在其它高速飞机上的应用。沉淀硬化合金現在流行用作开击机F-100、F-102、F-104及F-105与乎轟炸机B-52及B-58的結構部件。用于飞机及導彈上的部件的标准項目为橫桁、肋材、隔板、長桁、橫牆索、蜂房結構及蒙皮。

在設計一种更先进的 Chance vought 飞机, 存在問題的部分就是尾部的隔板。对此用途虽曾用过鈦合金, 而更高的溫度則要求其能在遇到使用的溫度保持必須的强度。此部分由于空間的限制, 鈦合金亦不复选用了。因为以前从17-7PH得到了經驗, 故考虑用它作为隔板。其外形尺寸約为4呎圓; 总重約为150磅。此隔板系用厚薄从0.032到0.156吋的不銹鋼零件所制成。这些零件系用标准的不銹鋼螺門装配起来。隔板决定了机身形状, 提供了固定橫桁及蒙皮的支撐, 并承受了机翼大梁及垂直平衡器的載荷。

工艺程序

当用于 Chance Vought 飞机上时, 17-7PH系按照 Mil-S-25043 規定的在1950°F 退火状态从鋼厂購来。然后按照最終用途或施工要求而进行施工和热处理。在生产机尾隔板部件时已經使用成功的两段 热处理 方法 (TH 1050) 的工艺过程如下:

1. 从鋼厂退火状态(A状态)的材料制作部件。用Guerin方法在橡皮压模上进行成形工作。除开外圍收縮卷边部分有些微的扭曲外, 压成之物及外形尺寸都很好(見圖3)。

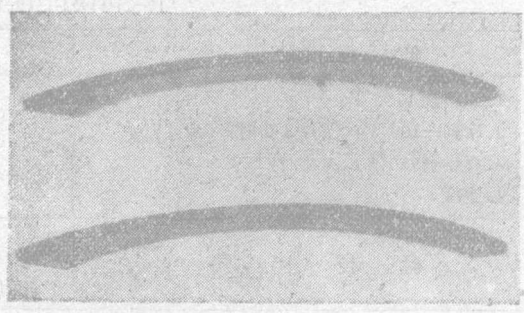


圖3 用 Guerin方法在橡皮压模上用17-7PH 制的隔板部件。除开外緣收縮卷边外有微小的扭曲外, 其形状和尺寸都很好。这些变形在硬化前都加以热成形法修正, 見下圖。

2. 若果部件不十分規矩, 可在1200°F 热成形10分鐘。由上面操作而来的扭曲即可除去而使部件得到良好的尺寸和形状。

3. 淬火T状态(在1400°F 热处理) 保温1½ 小时; 在1小时内冷到50到60°F。

4. 使用与第二步骤相同的热模, 在1050°F 10分鐘再度热成形以去除由第三步骤造成的扭曲。(注意若在1050°F 以上加热或在爐外加热, 若以下第五步骤所要求的, 超过了十五分鐘, 在1400°F 处理以后不論那一次都将严重地减低最后成品的强度。再者, 除开用爐子热处理以外, 在1400°F 热处理以后总加热時間都不許可超过30分鐘。若果在1400°F 处理后, 部件加热溫度过了1050°F, 那就必需重退火和重行热处理。)

5. 回火到TH1050状态(加热到1050°F,

保証 1 $\frac{1}{2}$ 小时然后冷于空气中)。

若在第五步骤后部件的扭曲严重, 則可按照第二步骤的办法在 1050°F 重行热成形一次。大量生产証明这一次加添的热成形程序很少需要。

用于冷处理及回火处理(RH950)的步骤如下:

1. 从退火状态(A 状态)的材料制作部件并用手工成形以消除过渡的扭曲。(注: 手工成形可以在最后热处理以前任何时候进行)。

2. 退火为 A-1750 状态 (在 1750°F 加热 10 分钟)。部件的肋網上可能發生弯曲。

3. 进行 R-100 状态处理 (冷到 -100°F 并在此温度保温八小时)。

4. 时效到 RH 950 状态 (热处理到 950°F 保温 60 分钟)。在肋網和卷边处可能存在过甚的弯曲。

5. 在 950°F 按需要热成形此一操作時間最多不超过 20 分钟。第四圖所示者达到了要求的机械性能及正确尺寸并无弯曲。

其它工艺过程则为去除由于热处理表面所生之污物。液体抛光是去表面污物的成功方法。銹皮極為有限并可用吹砂法将其除去, 若果材料的尺寸厚度能够耐住吹砂。

两个成形方法的优劣比較如下:

1. 两种方法均可作成合格产品。

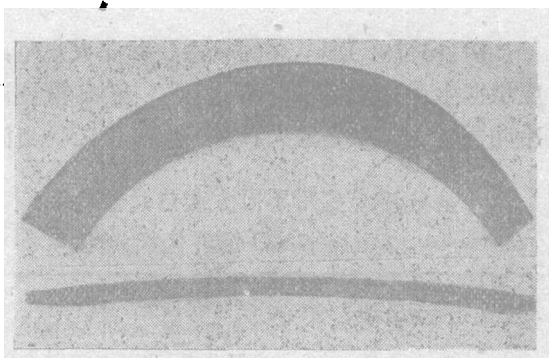


圖 4 此部分系在零下 100°F 进行冰冷处理及在 950°F 时效 60 分钟, 用 17-7PH 制成的部件。最后步骤系在 950°F 用热成形法糾正任何变形。

2. 冷处理及回火处理(RH950)的结果变形較少。

3. 两个方法所用的工具是一样的。

4. 对于 RH 950 需要加添的设备 (冰冷处理设备)。

5. 采用 RH950 热处理方法, 工厂生产少遭失敗。

6. 中途調整尺寸, 对于 TH1050 操作方法, 是更化錢更费时。

預言——随着更新的沉淀硬化不銹鋼 PH 15-7MO 及 AM-355 的發展, 当可証实这些材料将合于更多的应用。若在設計上放大范围, 最大的使用温度尚可提高 200°F。

吳世澤譯自“金屬进展”1958年6月份

vol. 73, No 6 第 74 頁。

高溫下工作的新型高强度結構鋼

美国“Армко Стил Корпорейшн”公司生产了一种新型鋼, 代号为 PH 15-7 MO, 可供飞行速度 $M = 4$ 及飞行时加热达 850°C 的飞机及火箭制造蒙皮和結構的受力构件之用。据該公司宣称, 这种新型鋼的价格較鉄合金賤 9 倍, 易于加工, 而且具有与 17-7 PH 号不銹鋼相同的抗蝕性。

PH15-7MO 号鋼含有 15% 的鉻及 7% 的鎳, 添加 1.2% 的鋁, 便可达到至最高强度的淬火。由于含有 2.5% 的鉬, 温度約在 550°C 以下能保

持高的强度。鋼内含碳量不超过 0.09%, 因而可以进行焊接, 而不必預热和一般焊接高强度馬丁体碳鋼及不銹鋼时所要求在焊接之后的退火。

据該公司称, PH15-7MO 鋼在退火状态下基本上为奥氏体組織, 因而它較其他高强度材料更易于加工。經長時間加热至 200~500°C 后, 該鋼不回火, 且不会降低其强度特性。經驗証明, 此鋼在 425°C 温度下持續 1000 小时后, 在室溫下的强度甚至还能提高。