

心而用Timken16-25-6合金作箍。箍的工作溫度可以到1200°F，而盤心則只能到500°F。與X-40合金類似的鑄造渦輪葉片材料與S-816合金類似的變形材料可以使用到1650°F的溫度。

以上合金的有限但卻重要的改進似乎是可能的。用鉬作渦輪部件的優越性為其高的密度和需要防止氧化所減低。金屬陶瓷或組成金屬合金似乎在另一方面可能最可趣地用於渦輪，不管其試車尚未100%地成功。

排氣部分——尾噴筒和加力燃燒室的材料的條件與下述的沖壓式噴氣發動機燃燒段所用的材料相類似。

沖壓式噴氣發動機：

沖壓式噴氣發動機的材料選擇隨設計的不同而變化很大。雖然材料的條件與渦輪噴氣式發動機不轉動的部件的材料相類似，但其工作時間短，又限制其再用。然而，將來的時間可望達到50~100小時的標準。

沖壓式噴氣發動機材料的現在和將來的要求條件概括於第五圖中。現行的發動機的設計為電器室的金屬的工作溫度的最大極限所限制。絕熱的陶瓷塗層以及鉬合金可以希望耐熱到3000°F。陶瓷與金屬陶瓷材料具有良好的抗氧化性，對於將來的火焰筒設計提供了可能性。

火箭發動機：

火箭發動機材料的基本問題就是同時受高

壓和高溫，腐蝕的大氣及化學與機械的燒蝕。除開這些問題以外的因素為：燃燒和氧化劑的種類，液體或者固體燃料，以及工作的程度和壽命等複雜的問題。

高溫合金部件使用的液體氧，硝酸，酒精或噴射燃料的更新冷卻(Regenerative Cooling)證明很成功。使用更新冷卻的發動機的困難為希望獲得具有較低的热容量和較高的燃燒溫度的新型的更高能的燃料。陶瓷塗層或經過改進的冷卻設計的襯里可能是這個問題的解決方案。

核原子發動機：

核原子發動機材料除開滿足一般發動機的所有問題和要求外，尚須考慮那些由放射條件所引起的問題。在核原子動力的渦輪噴氣發動機上，發動機的材料所吸收的放射能量的多少與其和反應器的位置，遮斷量的大小以及使用周期的類型有關。

誘導的放射性能在發動機的維護和全面檢查方面可能是一個嚴重的問題。解決的途徑可能是發展能夠長時間暴露於放射情況下，而不致感染放射性的元素所構成的材料。對於導彈發動機，誘導放射性並不是嚴重問題。若工作壽命很短，則其影響只局限於電氣和電子管材料。要使防護材料的重量減輕到合理的範圍，尚須大量的研究。

吳世澤譯自 Materiel & Methods,

1957年5月第126~130頁。

宇宙飛行用金屬材料的預測(一)

在飛機、導彈和人造衛星需要新的材料的同時，有必要就一般金屬材料發展其改進的可能性加以研究。本文所述為鋁、鎂、鋼、鈦、鈹、高溫合金、高熔點金屬、陶瓷以及金屬陶瓷、石墨、組合材料、夾層結構、表面處理和復蓋層等的現狀和未來的前途。

我們已經進入了宇宙的年代。推動火箭的新方法，新的燃料以及最有意義的新的條件亦隨之到來。由於在飛機，導彈，人造衛星及空間飛行用的遠距離飛機的快速發展，有必要

將材料、加工方法和設計規範加以重新評價。我們需要一種高熔點的，優良的強度和韌性的，並且密度是零的金屬材料。這樣一種元素可以稱之為鏷(Unobtainium)，實際上

它不存在。

在这种情况下，我們不得不多方地依靠已經發展的材料品种来解决当前的問題。在新的和主要的材料發現和發展成功以前，我們必需尽可能迅速地去改善这些材料的冶金性能和加工特性。若干材料的具体要求尚未明确拟定，这是因为关于它們工作的情况尚在研究中。无论如何，高的强度对密度比和良好的持久与瞬时高温性能总是列为首要的条件。低温性能是重要的，并且因为材料的加工可能性常限制其选用，故适当的焊接性，钎焊性和成型性也是很需要的。

I. 鋁和鎂

这些金屬的合金由于具有一些天生的良好性能，使其适合了过去的用途，也必然适合于将来的某些紧急用途。其中最为重要的就是它們的密度低。要想突破地球的大气層，过重所遭的惩罚将以若干倍計。由高温条件所引起的問題是最严重的。

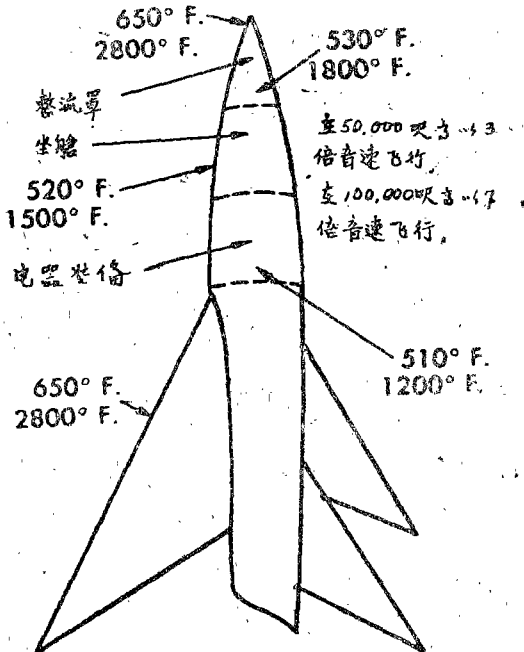


圖1 飞机結構具有代表性的工作温度。因为結構在空气中运动所遭遇的摩擦，其皮層的平衡温度随速度的增加而提高。

高温的来源之一，就是在地球的附近很稠的大气中空气动力發热的結果。这是飞行器离开和再进入大气層所遇到的一个問題，也是正在設計中的在大气中飞行的高馬赫数飞机所遇到的一个問題。圖1所示为高速飞机可能达到的标准温度。由于飞机結構穿过空气所遭遇的摩擦，故其皮層平衡温度随飞行速度的提高而上升。飞行高度增加，則大气的密度减小，而皮温亦降低至最低極限为止。例如，一架在50,000呎高空以每小时1,600哩飞行的超音速飞机，其皮温約为400° F。这很好的指出了当前飞机的材料問題。一架飞行器以每小时18,000哩的速度——运转速度——重新进入大气層时，其突出边缘的温度比上述的尚不知要高若干倍。

問題和可能性——因为鋁在1,220° F而鎂在1202° F融化，故在将来的若干用途中都被排除在問題之外。某些較高强度的鋁合金同鎂合金从热处理得到了他們的極大强度；而再受热却使强度受到严重的損失。虽然如此，却仍有几点希望。因为突出的边缘和头部錐体所遇到的極限温度和載荷情况并不存在于全部机构。无疑地，在冷却和絕热方面的設計将会發展到使具有良好高温性能的鋁和鎂的合金也能适用。

有人建議将这样型式的（称为“双壁”系統）結構使用鋁的飞行构架，其上加以很小的进行水冷的小管子。当水循环时，吸入热产生蒸汽而被排出艙外。在这种結構周圍，附有一層低密度的纖維絕热物，以充分减少进入冷却系統的热，也就是减少了冷却剂到合理的范围。一个輕的耐热金屬的壳体用来作成光滑的外形。壳体分成若干安装好的小板，以便在温度变化时能够自由地脹縮。并无意使壳体担負原来的結構載荷。在此系統中，原来担負載荷的結構由于水的沸点的影响而停在約200° F的温度，故沒有蠕变或热应力之类的問題。亦可另代以他种方式。高温金屬作的薄保护板用絕热層与承受負荷的鋁或鎂的結構分开，便可

得到一个全面的，既适用而又輕的設計。

最好的合金——圖 2 所示为最好的鋁和鎂的合金在几个溫度範圍的強度對重量的比值。X-2020T-6 是一种含銅及鎳的新鋁合金。其室溫性能比至今所謂最強的标准鋁合金 7075 T-6 还要高一些。X 2020 合金在低溫範圍——直到 400° F，暴溫 1000 小时以后具有優良的抗拉性能。在較短的暴溫時間內，其优越性可以扩展到 400° F 以上。

X 2020 合金希望用在一般的變形件方面，正被空軍和飛機工業全面地評價中。其在 300° F 的蠕變和持久性能比 2024 合金為優，虽然它們在 400° F 的瞬時拉伸性能互相接近。

X 2219 T-6 合金是為高溫用途而發展的，亦示于圖 2 中，它与英国的 RR57 相似，含銅及錳，但含有少量的鈦和鋯。这种鋁合金才使用到 400 至 600° F 的溫度範圍。目前，这种合金虽然能够軋制成薄板和板材，但主要还是用作鍛件和擠壓件。鋁的一种有意义的發展就是 S. A. P. 或称燒結鋁粉型的制品，系用含有不同份量的氧化鋁的片狀鋁粉制成的。这种制品的性質随粉的粗細及所含氧化物的多少而变化。一种代号为 M257 的制品（見圖 2）含氧化鋁 6~8%（以容積計），这比原来瑞士的 S. A. P. 含鋁 10~14% 要少多了。

这些鋁粉制品可以使用到 1000° F。圖 2 所示的成份含氧化鋁相当低；虽然其高溫性能要比可以實現的低一些，却比較易于加工。因为这种材料可以軋成很薄的箔，現正研究用作蜂窩材料。鋁粉燒結制品在 600° F 的蠕變及持久強度，比一般鋁合金要優良得多。

鑄造合金——一种新型鑄造鋁合金 XA140，仍然在發展的阶段。它具有 600° F 的改進的瞬時拉伸和疲勞性能。高純度的 C355 及 A356 可以用新法鑄造。这样可以在重要部位發揮較高的性能。在飛機机构和導彈結構上多用鋁鑄件是所希望的。把这两种性能優良的合金鑄

件用到飛機上去的聯邦規格正在擬制中。

鎂——含有鈦的合金已經在短時間低應力的用途下把鎂的使用溫度推到了 900° F，或者說，在鎂的融點下 300° F 的溫度。圖 2 表示最好的鎂合金在推荐的使用溫度範圍內的性質。标准的薄板合金 AZ31 具有最高的室溫性能；但在 300~550° F 的範圍，其高溫性能就被 HK-31，H-24 所超过了，而在 550° F 以上的溫度，又为 HM-21，XAT-8 所超过。

HM-21 合金在高溫下特別穩定。例如，在 700° F 暴溫到 100 小时之久，對該溫度的性能几无影响。在 400° F 或以上的溫度下，其蠕變性能比 HK-31 要好得多。

鎂鑄件——鈦的加入扩大了鎂鑄件的使用溫度範圍。EZ-33 系含有稀土和鋯的代表品，而 HK-31 則屬於含鈦和鋯系的合金。前者可以使用到 350~550° F 的範圍，而含鈦的合金肯定在 400° F 以上其性質自然優良。鎂合金可以很好地作成薄壁鑄件，其壁厚可以薄到 3/32 吋，即為現在飛機鑄件所採用的。

ZK-60 及 AZ-80 合金曾經廣泛地用作鍛制的飛機輪子。其室溫極限強度達到 45,000~50,000 磅/吋²，并且重量最輕而又提供了足够的輪子需用的抗撓度。最近對於用在較高溫度的

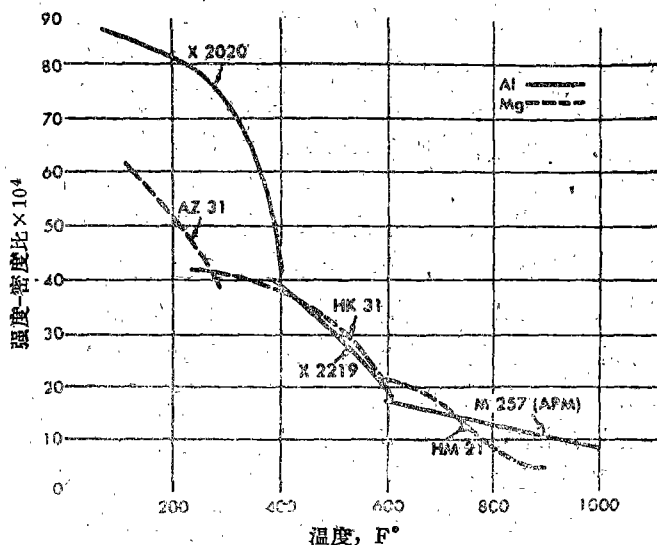


圖 2 現代最好的鋁和鎂的合金用于高溫的可能性。強度-密度比是極限強度(以磅/吋²計)與密度(以磅/吋³計)的比值。

鍛件的研究，証明了 HK-31 及 HM-21 用到 400°F 及以下的溫度是最有希望的。商品鍛件正在進行進一步的評價，從而可以作出性能上的數據，以供高速飛機和導彈的設計師使用。

問題——若果我們一查最好的鋁和鎂的合金在每種溫度下的強度-密度比（如圖2所示），則發現在較高的溫度下此種比值很低。故其主要的挑戰問題就是改進在極限使用溫度下的性能水平。

倘有更多的挑戰如：設計師需要一種良好的可焊鋁合金，其本身與焊接金屬的室溫性能需要一樣地好，並且得到與高強度的熱處理的合金相匹敵，還須要有良好的高溫性能。對於鎂，一種更好的高溫度的螺栓材料或更好的工藝都是需要的。若果能夠不犧牲強度而提高鋁和鎂的陽氏系數時，則在若干用途方面可以節省更多的重量。一種實驗的項目証明鋁的系數（Modulus）可以加入高融點金屬的碳化物使用粉末冶金技術而提高到35%之多。可是，這樣得到的抗拉強度使人失望。在這方面去完成更多的工作應該是可能的。

II. 鋼

已經提到，為了解決許多飛機構架的問題，我們必須依靠已經發展了的一些材料，尽可能地推薦它們的用途。高強度鋼就合乎這種情況。其強度-重量比良好；有的鋼種還提供了不錯的高溫性能；它們還表現了較好的韌性和疲勞性能。

調質到高硬度水平的鋼的性質在不斷地改進中。熱處理方法的改善曾經提高了強度在 280,000~300,000 磅/吋² 的範圍的韌性，例如，研究了脆化問題之後就知道如何最有利地使用鋼材。列于熱模鋼的一些鋼種接上了用于相當高溫的用途的這一環節的金屬。一直到現在這類鋼尚未被當作結構材料。

熱工作工具鋼——這是屬於硅鉻鉬鈦鋼類型的一些中碳鋼種。到了 1000°F 表現出印象很深的極限強度和屈服強度，如 Peerless 56,

Potomac M 和 Vascojet 1000 之類的產品就是例証。就強度-重量比的基础而言，它們勝過了不銹鋼、鈦合金以及現在可用的鋁。

阻礙熱模鋼用于結構方面的就是工藝上的困難。在熱處理的時候，比其他的低合金結構鋼更易脫碳。大概說來，焊接這種鋼要免除裂紋是一個棘手的工作，並且常在熱處理時需要夾具，因為工件尺寸變化的關係。在硬化的狀態下進行機械加工也很困難。用作蒙皮和夾層結構的、公差嚴格的薄板和箔的軋制技術是另一個問題，並且，需要抗氧化的和

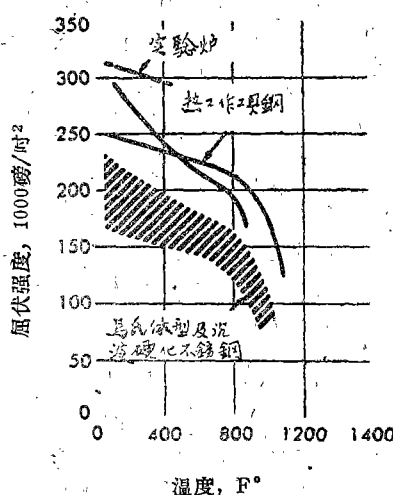
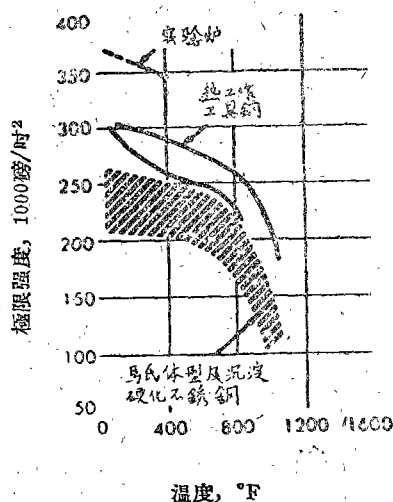


圖3 鋼的強度和溫度的關係。虛線系成分與熱工作工具鋼相似的試驗爐的結果。

抗腐蝕的复盖層。扩散的鋁的或鋁-鎳合金的复盖層看来很有希望，而用 304 不銹鋼包复可能是有效的。

不銹鋼——不銹鋼是用作飞机結構的一种重要材料。虽然它在高溫强度方面赶不上热工具鋼，但其优良的抗氧化和腐蝕性能却是重要的因素。馬氏体型不銹鋼的强度接近了工具鋼，但是抗氧化和腐蝕性不足而又带上加工不易的問題。沉淀硬化不銹鋼加工比較容易又更耐热，但其强度仅为用于此途的工具鋼的三分之二。

从 17-7PH 改良为新品 PH15-7MO 是很重要的一个进展。新成份略为提高極限强度和屈服强度，而更重要的是其蠕变性能高于 17-7PH 約 25 到 100%。略为降低鎳含量并采用 20% 的冷加工的、由 AM350 改进成功的 AM355，改进了蠕变性能 10 到 25%，而更注目的是提高了極限强度約三分之一和屈服强度約

四分之一。

B-70 的設計——正在設計用来代替 B-52 的战略洲际轟炸机 B-70，在几年之內，75% 的結構将用沉淀硬化不銹鋼来制造——可能是 PH15-7MO 和 AM355。其結構将是用大的板胚，或者一件达到了 10×20 呎、全部钎焊成功的蜂窝結構。其余 25% 的結構，主要是次結構 (Substructure) 如翼梁、筋材及隔板等，正计划使用鈦合金。

圖 3 表示高强度結構鋼的目前情况。圖中虛綫系表示这类材料新成份的試驗結果。针对着能够在 800 到 1000°F 回火而对高强度的損失甚微的鋼又必須在这些工作溫度下很好地抵抗軟化为前提，一系列的改进工作正在探索中。对于回火溫度較高的、正在实验中的鋼的化学成份与目前提供高溫結構用的热工作工具鋼相似。

(下期待續)

吳世澤譯自“金屬进展” 1958年10月份。

英美航空材料的現狀和发展趋向

一、金屬部分

仅在数年之前，材料的选择还是一件簡單的事情。因为，当时只有二三种鋁合金可供选择，这些材料数据的使用，对飞机設計家也是容易的。但是，那种日子已經过去。現在，各种富有潜力的可用金屬的选择問題已使設計家們感到困难。

貝特利研究院哥倫布在他最近的一份报告中，列举了六种看来可以保証高溫設計用的優質鋼。在从室溫到 800°F 範圍內降低抗拉强度的有：热作工具鋼、馬丁体不銹鋼，低合金硬化鋼，半奧氏体沉淀-硬化不銹鋼，冷軋奧氏体不銹鋼和奧氏体沉淀-硬化不銹鋼。

冷軋奧氏体不銹鋼有 300 种，由于其成型性好，已被广泛采用。但在 800°F 以上，其性能还不够理想。

在 800~1200°F 範圍內，沉淀硬化鋼比較

突出，其中包括 17-7PH 和 AM-350 半奧氏体鋼。最近，PH15-7MO 和 AM-355 的改質工作已开始研究。在奧氏体 PH 鋼中，A-286 和 HNM 两种牌号已被大量采用。

热作工具鋼比任何在 400~1000°F 範圍內用的商品結構材料的强度重量比都高。可惜的是这种鋼的耐腐蝕和抗氧化性不够理想。这种鋼有 Vascojet1000, Halcomb218 和 ThermoldJ,

低合金硬化鋼 4130 和 4340 繼續用于結構部件，它的主要优点是成本低。馬丁体鋼有 400 种（也可能是鐵素体）。这种鋼有可靠的高溫强度，但可惜的是耐应力腐蝕性和回火性能差，因而不符合于目前的需要。

寻求目标：(1) 新的高强度不銹鋼——鈦鎳合金，在 1100°F 时的屈服强度为 188,000 磅/吋²，若为含鋁不銹鋼，在 1000°F 时的屈服