

# 更好的Thermenol合金即将到来

## 摘要

含鋁3到4%的鐵鋁合金具有優良的抗氧化性能及持久溫度。加入少量的鎢和碳以提高其機械性能并限制其晶粒生長，遂使其适用于若干高溫用途。

当在鐵和其合金中加入鋁時，就起着各种不同的有价值的的作用。对于細晶粒的鎮靜鋼的一般脫氧用鋁的范围極小，由0.002到0.004%。某些特別設計用于氮化的合金含鋁1到2%。即将論到的合金含有較多量的鋁，其改进抗氧化性能比同量的鎢还有效，并能提高此种合金的高溫强度和降低其密度。这些性能的綜合指出，这类鐵鋁合金可应用到若干高溫方面去——例如压缩机叶片和導彈的蒙皮。在1952年海軍炮火研究所即从事于一种研究工作，結果得到了Thermenol合金。这类合金含10到18%的鋁及2到4%的鎢，其余为鐵，具有下列几种有趣的性能。

1. 由于含鋁高故其密度較輕。
2. 具有最優良的高溫抗氧化性能。
3. 在高溫时有良好的瞬时拉伸和持久强度。
4. 对若干腐蝕剂均能抵抗。
5. 軟磁性質与若干鎳基合金相似。
6. 高的电阻系数。

既有这些性質，又不含稀缺金屬元素，意味着Thermenol合金的前途很有希望。两种比較好的类型發展成功了，其标准化学成分为含16%的Al及3%的Mo，而另一型号則系在此基础上加入少量的鎢和碳。

### 标准Thermenol的制备

自有不少关于Thermenol的报导以来，直至最近才有了眉目。（讀者如欲了解过去工作的詳情，可參閱文后列出的文献）。

这种合金最好采用真空感应爐或控制爐气

法来熔煉。用控制爐气熔煉時，氬气用来使鐵脫氧。此后，以氮氣置換氬氣，然后将熔化金屬澆鑄。当此合金用于磁性方面時，則寧可用氬純化；殘留的碳素对磁性是有害的。

鑄錠可用不同的方法表面加工：含鋁12%以下的合金用金工切削就够了。含鋁更多的合金則須用多量的冷剂进行磨制，因为它是快速的加工硬化的原故。鑄錠可以易于在1750°F以上进行鍛制，模鍛，軋制和挤压；因为在高溫時不起氧化皮而显然有助于这些工艺。在（1020到1110°F）。中溫拉伸和軋延得到展延性更好的絲和薄板。磁性应用方面可以冷加工成形，但須在含鋁12%以下時才能得到最好的結果。

表1列出标准Thermenol合金的若干物理和機械性能。此合金在高溫具有十分驚人的抗氧化的性能。在2200°F，其皮層損耗仅仅0.0003吋/每年；在已知的高溫合金系統无出其右者。圖1系表示Thermenol及403型不銹鋼在1200°F的持久强度曲綫。事实証明Thermenol

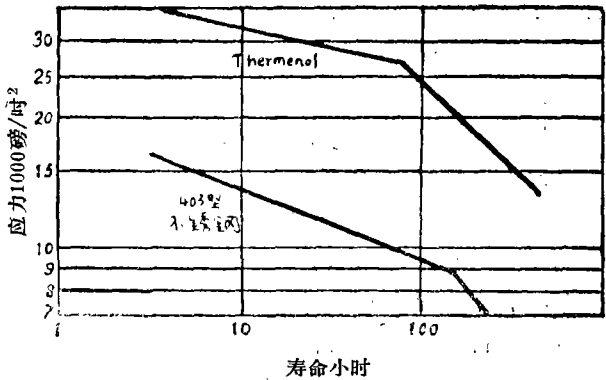


圖1 标准的Thermenol及一种标准不銹鋼的持久强度曲綫。系在1200°F。

合金确是較优；特別在 100 小时的持久强度系 25000 磅/吋<sup>2</sup> 与不銹鋼的 9500 磅/吋<sup>2</sup> 相比較。

表 1 标准 Thermenol 的一些性質

密 度	6.58g. percc	晶 格 型 式	b.c.c
热傳导系数	6.3Btu./sq.ft/hr/°F/ft	極限强度	80,000psi
热膨脹系数 (68到1300°F)	11.0×10 <sup>-6</sup> in./in./°F	延伸率 阳氏系数E	2 到 3 % 26 × 10 <sup>6</sup> psi
再結晶温度	1380°F	洛氏硬度	C 30
有序化的电阻(室温)	150microhm-cm		
无序的电阻系数	170microhm-cm		

發展計劃

不管有多少优点，标准的Thermenol具有两个缺点，致使在加工中产生很多困难而大大地限制了它的应用。因为是單相合金，所以在高溫时晶粒生長甚快（圖 2）。因为它在室溫的展延性仍然很低，故仍須一些改进。

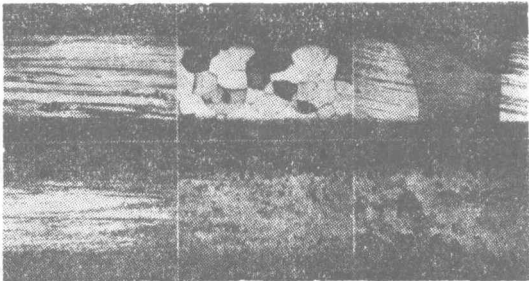
标准 Thermenol 的一些性質。

在美国海軍航空部的支持之下，开始考虑了四个冶金的因素及其对于制成合金的影响，即是：

- 1. 对基体合金加入少量合金元素的影响。
- 2. 在机械性能方面有序——无序 变化所發生的影响。
- 3. 不同热处理对于机械性能的影响。
- 4. 机械性能的方向性。

经过研究的少量加添元素即是那些能够使合金干淨而同时又限制晶粒生長。大量的研究証明少量加入碳 和 鋁，加入量各为 0.05 到 0.10% 及 0.2 到 0.4%，得到了惊人的 效果。其晶粒生長性質的改变如圖 2 所示。

由于这类合金呈显有序化，故进行研究有序——无序轉变对于机械性能的影响。薄板拉伸試样可以处理得到原子有序排列程度从 0 到 100%，有序化程度的确定，系用測定电阻系数的方法。將試样加热到有序化范围以上的溫度（1157°F）并在水中急冷至常溫，則可得到完全无序化。从 1157°F 極緩冷却至常溫，則得



寿命小时

圖 2 标准 Thermenol（上面）及改良的 Thermenol的晶粒生長。从左到右，試样加热到 1300，1650 及 2000 °F。

到 100% 的有序化。由于原子有序化对电阻系数所發生的变化如表 1。抗張試驗結果証明几乎完全无序化的試样表现了最好的延伸率。

冷軋薄板的热处理影响有序化和再結晶的变化程度（随溫度而变化）。經過适当的热处理，从各方面看来最好的机械性能系从最小的再結晶晶粒以及无序化的状态得来的（此二点須熟記）。碳及鋁的少量的变化并采用最高的热处理溫度（而不是过高）对于机械性能几无影响。表 2 正說明这些影响；并可看出沒有有什么大的变化。

在合金成分方面的微量变化与乎細心計劃的热处理工艺得到了更多用途的Thermenol合金。具有較高的展延性，較高的張力强度与乎較低的韌到脆的轉化溫度，合金的薄板将更易于制成有用的产品。鋁与碳的效果系使在高溫的晶粒稳定，故对于焊接热影响区保持較細的晶粒極有帮助。

表 2 改良的 Thermenol 合金的張力性質●

試样	中温变形 %	热处理+	延伸率 %	極限强度 psi
1	89	1337°F. 1hr	4.0	107,700
2	89	1337°F. 1hr	9.0	117,800
3	84	1337°F. 1hr	10.5	129,000
4	84	1472°F. 1/2hr	9.0	126,000
5	89	1337°F. 1hr	7.0	128,700
6++	60	1337°F. 2hr	9.0	121,800
7§	60	1337°F. 2hr	8.0	115,500

● 試样 1 至 4 含 0.2%Zr 及 0.05%C；試样 5 到 7 含 0.4%Zr 及 0.1%C。  
+ 試样 1 冷于爐中，其余均油冷。  
++ 与軋延方向平行。  
§ 与軋延方向垂直。

鉄鋁基合金的将来

本世紀以來，鉄鋁基材料的發展困难重重。合金發展的研究的主要障碍为不能得到高純度

的材料并适宜于制成有用的形状。而在現代因可用优質的原材料，高純度的熔化法（达到商品重量），中溫軋制以及热挤压等技术，許多过去的障碍都消逝了。  
使此类合金从試驗室阶段轉入商品生产尚須跨一大步，現在才算开始。无疑的許多技術問題會發生，但困难是会克服的。圖 3 为提供战斗机生产用的噴气發動机的壓縮机叶片。

吳世澤譯自“金屬进展”1958年5月号P. 78.

参考文献

1. “Applications, Propeties, and babrication of Thermenol Type Alloys”, by J. F. Nachman and W. J. Buehler. Dept. of commerce publication PB 121098, May 1956.
2. “Thermenol-A New Soft Magnetie Alloy”, by J. F. Nachman and W. J. Buehler. Electrical manufacturing, November 1956, p. 140.
3. “Metallurgical Factors Affecting Tensile Properties of Fe-Al Base Alloys”, by W. J. Buehler and C. G. Dalrymple. U. S. Naval Ordnance Laboratory Report (Navord) №. 5744, November 1957.
4. “Final Report on the Study of Thermenol<sup>1</sup> as a Compressor Blade Material”, by J. C. Sawyer and E. G. Pekarek. Buaer Contract Noa (s) 51-1257-C, Thompson Products, Inc., October 1955.
5. “Lnvestigation of Some Mechanical Properties of Thermenol Compressor Blades”, by D. F. Johnson. Tech. Note 4097, Lewis Flight Propulsion Laboratory, National Advisory Committee for Aeronautics (NACA), Cleveland, October 1957.

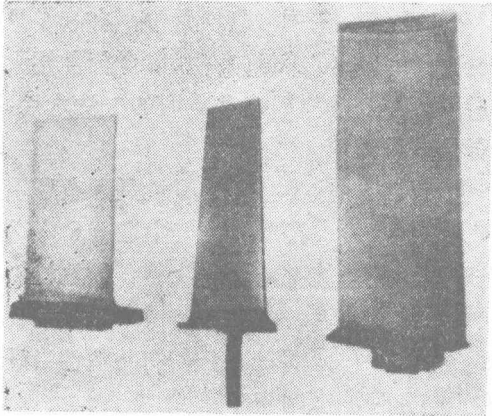


圖 3 用 Thevmenol 制成的噴气發動机的壓縮机叶片。