

1214



潘 泰 榮 編

英 美 航 空 非 金 屬 材 料 現 狀



國防工業出版社

40.4

1214

內容簡介

本書系根据有关的英美航空杂志整理而成。書中闡述了高速飞行对材料提出的新要求，并介紹了英美航空非金屬材料的現狀。內容主要包括：塑料、橡胶、胶合剂、燃料和其他航空用化工材料。書末附有英美飞机用部分非金屬产品的性能数据表。本書可供航空技術人員和广大航空爱好者閱讀。



国防工业出版社

北京市書刊出版业營業許可証出字第 074 号
机械工业出版社印刷厂印刷 新华書店發行

*

787×1092 耗 $1\frac{1}{32} \cdot \frac{3}{4}$ 印張 · 16,000 字

1958 年10月第一版

1958 年10月北京第一次印刷

印数: 0,001— 4,500 册 · 定价: (10) 0.14 元

NO. 2209

V254
5810

目 录

I 高速飞行与航空非金属材料	3
II 英美航空非金属材料技术发展概况	6
塑料	6
橡胶	10
胶合剂	14
陶瓷及金属陶瓷	16
燃料	17
润滑剂	18
航空用其他化工材料	19
III 航空非金属材料典型产品的性能数据表	20

I 高速飞行与航空非金属材料

現代飞机的速度增加很快，而且这种增加正在无限量地繼續着。目前，不用說軍用机的速度很快。就連巨型运输机及旅客机的航速也接近了音速（ $M=0.8\sim0.9$ ）。据称，火箭的速度已推进到 $M=3\sim12$ 。在这样高速的情况下，航空器結構便出現了一些新的問題，特别是对航空材料，提出了一系列新的要求，首先是要求材料具有很高的耐热性。在現代高速飞行的情况下，空气动力加热很容易就达到 150°C （ 300°F ）。此时，鋁合金和鎂合金的机械性能急剧地發生变化。如果溫度繼續上升（到 $260^{\circ}\sim315^{\circ}\text{C}$ ），这两种合金就将完全不能采用了。据外国杂志报导，F-104飞机在时速为2125公里下飞行时，其外部蒙皮的溫度达到 177°C 。可見，当航空器速度达到 $M=2$ 或更高时，主要的困难是蒙皮表面出現了高热。这种热（通常叫做滯止热或摩擦热），对蒙皮材料有很大影响。航空器的表面，由于各部分气流状态和气流的速度不一样，出現了强烈受热的部分。例如当 $M=2$ 时，靠近層流处蒙皮的溫度为 80°C ，但在靠近紊流处的溫度却高达 225°C 。飞机和其他飞行器的机头整流罩便屬於这样的部分。当这些部分的高热向内部結構元件傳导时，便引起了严重的材料問題。此外，發動机的輻射热也能对材料产生恶劣的影响。現代高速飞机發動机內的燃燒能很高，在整个飞行过程中，高热大量向外輻射。这种輻射热不仅对發動机附近的結構元件不利，而且当其向机內其他部分輻射时，还会引

起其他一系列的困难。如乘員工作条件惡化，燃料迅速蒸發等。所有这些綜合在一起，便是我們常說的“热障”。热障的出現从在 $M = 2 \sim 3$ 时就已很明显了。克服热障的办法，有关方面都在大力展开研究。从材料角度来講，目前存在着两方面的情况。一方面是在現有航空材料的基础上改进材料性能，以适合新的要求。另一方面是探求一种耐热性高的完全新型的航空結構材料。在探求新材料方面，非金屬材料領域內的补强塑料已成为主要研究对象之一。目前有关方面都在大力研究用玻璃纖維加强的各种塑料。这种塑料的导热率低（室溫下的导热系数介于 $0.1 \sim 0.17$ 之間），不怕腐蝕，而且强度很高，所以又称为玻璃鋼。用这种材料制造結構部件目前正处于試驗阶段。現代飞机上采用的这类塑料有夹玻璃纖維酚醛塑料、夹玻璃纖維聚酯塑料等多种。夹玻璃纖維硅氧塑料在解决高热困难上起了很大的作用。目前这种塑料广泛用来包被整流罩或其他容易受热的零件。在飞行器动力裝置內，用夹玻璃纖維塑料包复易受热的部件也已产生了很好的效果。

高速飞行所引起的另一問題是：随着飞行速度的增加，飞机結構将更加頻繁地承受冲击和振动載荷。在这种情况下就要求材料具有耐冲击和耐疲劳的性能。从耐冲击和耐疲劳方面来考虑时，原来用的鉚接或焊接而成的結構，由于其接合处应力集中有强度降低的表现，便显得很牢固了。因而机体的构造型式趋向于减少构件的数目，而把机翼、机身等制成为一个整体的硬壳式結構。在这种情况下，对材料除要求具有耐振性能外，还要求材料能适应新的工艺特点，使之易于成型及加工。从这点来講，高分子材料，特別是夹玻璃

纖維的塑料便显示了更大的优点。夹玻璃纖維塑料的可塑性好、重量輕，既耐高溫，又具有一定的强度，加上它的耐蝕性，便成为一种良好的耐振結構材料。

在高速飞行的情况下，材料的腐蝕情况也很严重。主要是發动机尾噴口的燃气腐蝕和蒙皮材料受雨滴浸蝕的問題。高溫燃气腐蝕出現在渦輪叶片、燃燒室、整流錐等部分。这些部分的材料为防避腐蝕起見，目前多采用陶瓷被層或金屬陶瓷被層来防护。例如，用 SAE 30321 鋼制成的排气管用陶瓷包被后，可連續工作 5100 小时而不受损坏。关于蒙皮材料受雨滴浸蝕的問題，这是由于飞机在雨中作高速飞行时所發生的。此时蒙皮的前緣部分，因受雨滴的撞击而产生浸蝕現象。这一浸蝕現象受很多因素的影响。这些因素包括飞机速度，蒙皮表面情况及雨滴大小等。当飞机在雨中进行高速飞行时，所有的蒙皮表面材料都会受到不同程度的浸蝕。一般来講，塑料的受蝕是迅速而严重的。例如，飞机上应用的夹玻璃纖維聚酯塑料雷达罩，当飞行速度为 500 公里/小时，几分鐘后就被浸蝕到不能再用的程度。速度愈快，浸蝕的情况就愈严重。为解决这一問題，目前英美着重在找寻一种能防止雨滴浸蝕的包复材料。研究証明，能作这种用途的材料是很少的。只有一种氯丁橡胶（按 DTD 926 配方的）能用于这种目的。实验証明：当速度 800 公里/小时时，未加保护的雷达罩（塑料罩）几分鐘內即为雨滴所浸蝕。而用氯丁橡胶保护的雷达罩，則能在雨中坚持 3 小时而不受浸蝕。

II 英美航空非金屬材料

技術發展概況

塑 料

英美飛機上常用的補強層壓塑料，概括起來可分為以下幾類：1) 酚醛塑料，2) 聚酯塑料，3) 聚醯胺塑料，4) 聚丙烯酸塑料，5) 硅氧塑料及6) 環氧塑料。各塑料常用的補強材料為：紙板、木板、棉織品、玻璃纖維及玻璃布、石棉纖維及其織品和其他合成纖維等。酚醛及硅氧層壓塑料在一般壓機上即可造型，成形時所用的壓力為 $250 \sim 2500$ 磅/吋² ($18 \sim 180$ 公斤/公分²)，溫度控制在 $270^{\circ} \sim 350^{\circ} \text{F}$ ($132^{\circ} \sim 176^{\circ} \text{C}$)。丙烯酸層壓塑料一般都採用真空造型法。產品的抗張強度為 9500 磅/吋² (682 公斤/公分²)，熱變形溫度為 200°F (93°C)。成型時可延伸50%以上。聚酯塑料造型的壓力為 250 磅/吋² (18 公斤/公分²)或更低。因此稱為低壓層狀塑料。產品的抗張強度與丙烯酸塑料相同，熱變形強度為 180°F (82°C)，成形時可延伸10%。酚醛塑料的耐熱性和耐磨性較好。一般多用來製造剎車片。新近出現的一種酚醛塑料，能在 400°F (204°C)下長期使用。據稱在 $500^{\circ} \sim 550^{\circ} \text{F}$ ($260^{\circ} \sim 287^{\circ} \text{C}$)短期使用也不會變質。聚酯塑料成形時不加高壓，易于模製成繁複的形狀，一般用來製造天綫罩和雷達罩、飛機座艙蓋及其他整流部件、防彈油箱外包層等。聚醯胺層壓塑料，用尼龍等合成纖維加強後，具有耐磨和耐沖擊的性能，因此多用來製造齒輪及滑輪等制品。丙烯

酸層壓塑料多用来制造飞机上的透明部件。据称美国航空丙烯酸透明塑料年产几千吨。硅氧塑料用玻璃纖維补强后，大部分用为飞机的电气絕緣材料、这种塑料能耐溫 500°F (260°C)，估計不久将广泛用在高溫結構方面。环氧树脂塑料是一种新型的航空塑料，用玻璃纖維补强后，可作成耐高溫和耐腐蝕的零件。根据粗略的估計，現代飞机上所用塑料的重量百分比为飞机总重的 3.5%。在新的运用方面，值得指出的是塑料在結構方面、高溫方面和航空工艺上的应用。在結構方面，美国諾斯洛普公司用塑料制成了 XO-10 靶机的机翼和副翼。东海岸航空公司用塑料造成了 T-6 教練机的机翼。在高溫应用方面，美国信信內丁公司生产了一种耐高溫的酚醛树脂 (CTL-91-LP)，用这种树脂模制的压缩机叶片，在承受离心載荷、耐疲劳和耐腐蝕等方面，比鋼制叶片显得更牢固。在重量方面，比鋼制叶片节省 $1/5$ ，在生产時間方面，生产塑料叶片仅为生产鋼制叶片所需時間的 $1/3$ 。此种塑料叶片的使用溫度为 $450^{\circ}\sim 500^{\circ}\text{F}$ ($232^{\circ}\sim 260^{\circ}\text{C}$)。塑料在高溫上的另一新用途是制造火箭發动机的燃燒室，这种塑料燃燒室能大大減輕火箭的重量。据称美国某公司还利用塑料制成了起飞助力器。尽管利用塑料可制成重要的构件，但由于現有补强塑料板材的性質是不稳定的，因此这样构件的应用还处在發展和嘗試的阶段。根据火箭專家們的要求，补强塑料的性能应具有下述規格才符合需要：a) 在 600°F (315°C) 时的最低屈服强度为 70,000 磅/吋² (5014 公斤/公分²)；b) 最小彈性模量应为 4×10^6 磅/吋² (0.28×10^6 公斤/公分²)；c) 热脹系数应与鋼相同。在工艺应用方面，用塑料可以制成輕便而精密的样板、冲模型架等工具。

近年来，环氧树脂制造冲模已普遍代替了原用的酚醛树脂和聚合酯。原因是环氧树脂的收缩度小，与玻璃纤维的粘附性好，而且成形时也易于控制。

目前在航空工业上广泛采用的结构塑料是夹玻璃纤维塑料。夹玻璃纤维塑料，按其所用的树脂，可分为酚醛塑料、聚酯塑料、环氧树脂塑料及硅氧树脂塑料四类。这四类树脂都正在大力发展。酚醛树脂是高温下使用的材料，过去这种树脂只能在高压下压成制品，现在可在低压下造形。这样就能使制品少生气泡，从而消除了制品在高温下破裂的危险。新型夹玻璃纤维塑料可在 260°C 下使用，如果将模制的制品在硬化后再进行热处理，其耐温性将会显著提高，在这种情况下，酚醛塑料可在 470°C 下作短期使用。聚酯树脂在飞机结构中，特别适用于那些不呈现高温的部分。这种树脂的特点是易于加工、可模制成繁复的形状。它的介电性能良好，在现代飞机上广泛用作电气设备。聚酯经改质处理后所制成的夹玻璃纤维塑料，其强度可在 200°C 下保持稳定。环氧树脂具有良好粘附性能。固化过程中不需加压也不需加温，而且收缩度很小，很适于作为粘接材料使用。缺点是热态下强度不稳定。用环氧树脂制成的粘合剂可在 180°C 下使用。经改质的环氧树脂可在 260°C 下使用。硅氧树脂在室温下所显示的强度是最低的。它的优点是在温度增加的情况下，强度降低很缓慢。一般来讲，硅氧树脂在 260°C 下使用是不成问题的，如果进一步提高强度，则可能在 500°C 下长期使用。除上述四种树脂外，在树脂的混合使用方面也有显著的进展。例如，酚醛-硅氧树脂、酚醛-环氧树脂及环氧-硅氧树脂都是很有前途的树脂混合物。另外，为适应 $800^{\circ}\sim 900^{\circ}\text{F}$

($426^{\circ}\sim 482^{\circ}\text{C}$)的需要,已研究了一种含硼树脂,但目前含硼树脂的用量还很小。在补强材料方面,值得提出的是:新發展的无鹼玻璃纖維与一种能相适应的粘合剂联合使用时,即使在溫度很高的情况下,也能显示出很高的强度。例如,由70%的无鹼玻璃纖維(平行排列的玻璃絲)和30%的聚酯(Selectron 5003),而用环氧树脂作胶合剂所制成的塑料板,当在室溫下試驗时,显示了 13500 公斤/公分² 抗弯强度和 4.4×10^5 公斤/公分² 的弯曲模数。与一种由通用的 181 玻璃布制成的同种塑料板相比,采用无鹼玻璃纖維时,其弯曲强度增加了 200%、彈性模量增加了 90%。据称,这种塑料板在飞机结构中正在与金属材料展开有力的竞争。另外,将玻璃纖維进行化学处理(表面处理)也能促使补强塑料强度提高。据称,用一种新型的化学藥品处理后,从干抗弯强度来講,聚酯塑料能提高 36%,酚醛塑料提高 17%,环氧树脂塑料提高 12%。从湿抗弯强度来講,各种塑料强度均有所提高。除玻璃纖維外,在研究中的补强材料尚有石棉、石英及其他合成纖維。在补强塑料方面,美国最近提出的研究课题是:研究一种能在 540°C 下長期使用并能显示出良好机械性能的塑料。近年来,美国对酚醛树脂和环氧树脂的耐溫性能进行了一系列的研究。眼前的问题是,如何使树脂能很好地粘附在补强材料上。为解决这一问题,美国研究了一种名字叫做“Silans”的化学藥品。“Silans”是一种含硅的有机物。将它塗敷在玻璃纖維的表面上,硅元素便牢固地粘附在玻璃纖維上,而有机物質則紧附在树脂上。这样通过“Silans”表面層的作用,玻璃纖維便与树脂很好地粘接起来。从而提高了补强塑料板的机械强度。在加强塑料的应用方面,主要进展在于某

些材料的彈性模量已由 1~2,000,000 上升到 4,000,000。据称用石棉补强的塑料，其模量上升得更高。

在新出現的塑料产品中，值得提出的是含氟塑料，这类塑料，因分子中碳原子和氟原子联接得很牢固，具有优良的耐热性能。一般講，在 250°C 下使用是没有問題的。此外，它們还具有良好的抗腐蝕、抗化学藥品性能和优良的电气性能。含氟塑料的典型产品有聚四氟乙烯与三氟氯乙烯等多种。聚四氟乙烯單体是通过三氯甲烷和氟化氢互相作用而制得的。單体聚合后便形成一种白色的蜡状物質，即四氟乙烯塑料产品。四氟乙烯的轉變溫度为 20°C 及 327°C。327°C 时熔化。使用溫度范围为 -100°C~300°C。四氟乙烯完全不燃燒，抗化学藥品的能力很强。四氟乙烯可在挤压机，压力机及捏煉机上加工成制品或半制品。聚三氟氯乙烯單体是由三氟三氯乙烷为原料制成的。这种塑料的性質与四氟乙烯相近。所不同的是这种塑料的分子內有氯元素存在，所以溫度稳定性較低。它的持久稳定溫度約为 150°C。三氟氯乙烯抗化学藥品的能力很强，并能抗酸，抗鹼、抗氧化剂及抗大多数有机化合物的作用。与其他許多的含氟高聚体一样，此种塑料也不能燃燒，电气性能也十分良好。这种塑料可用压塑、射塑或挤压等方法制成任意形状的产品。用玻璃纖維或石棉布补强的塑料板，可进行切割、鑽孔等簡單的机械加工。

橡 胶

橡胶是航空上广泛应用的另一种非金屬材料。根据統計資料，在現代飞机上有 400 多种零件是用橡胶制成的。这些橡胶零件使用在飞机各个不同的部分，因而对所用的橡胶材

料提出了各种不同的要求。而且随着飞机速度和飞行高度的增加,对橡胶材料还提出了一系列新的要求。首先是飞机上使用的輪胎。特别是高速飞机的輪胎,当其着陆的瞬间,胶輪胎与跑道急剧摩擦,因而产生了大量的热。所产生的热量与摩擦成正比。现代高速飞机着陆时短时间内即达到很高的温度。据称今日的飞机輪胎每秒钟就放散 1000 英热单位的热量。在这种温度急剧增高的情况下,机輪的外胎迅速丧失弹性,因而使輪胎的工作发生困难。对輪胎工艺专家来说,如何能使輪胎承受着陆时的高温,这是一个很艰巨的任务。另外随着飞机载荷的增加,为适应不同跑道的质量(光滑的或粗糙的),需用各种特殊形式的輪胎,这一情况也使輪胎的制造趋于复杂化。其次是关于飞机鼻輪的导电问题。为保证飞机着陆触地的瞬间,飞机上的静电荷能全被除去,飞机鼻輪橡皮就必需具有导电的性质,但要实现这点,又会使橡胶的其他性质受到影响,如何二者兼顾,目前也正在进行研究。在近代歼击机的座舱内,我们可以看到橡胶有许多重要的用途,例如座舱密封橡胶、防震零件、橡皮软管。飞行员座椅和头枕、氧气面罩等。总之橡胶在飞机上的用途是繁多的,势难为其他材料所代替。为充分满足现代飞机的需要,现在的工作集中在改良原有橡胶的性质及制造出具有多样性能的新橡胶。从性能上讲,目前正在对橡胶在极高和极低温度下的性能进行研究。而对橡胶在低温下的性能研究似乎还显得更重要。因为高速飞行器上,某些燃料的低温在 -300°F (-184°C) 以下,如何使容器能耐受这一温度,这是摆在橡胶工艺师面前的一个重要课题。据称硅氧橡胶在这方面的使用是颇有前途的。

普通航空用橡胶加热到 500°C 时即失去其一切有利的性

能，冷至 -50°C 時即變脆而失去可撓曲的性能。但如果使用硅氧橡膠，這兩方面的缺點都可克服。硅氧橡膠可耐溫達 $280^{\circ}\text{C}(500^{\circ}\text{F})$ 以上。在 $150^{\circ}\text{C}(300^{\circ}\text{F})$ 時彈性和其他性質只有很少的損失。硅氧橡膠在低溫下能保有彈性。因此飛機設計家都趨向採用硅氧橡膠作密封材料。硅氧橡膠的工作溫度為 $-100\sim 500^{\circ}\text{F}(-73\sim 260^{\circ}\text{C})$ 。為防止燃料的化學浸蝕，一般採用 Hypalon 橡膠作油箱。Hypalon 橡膠及 Silastic 橡膠在高溫下均顯示了良好的性能。在 150°C 下，Silastic 及 Acrylon 橡膠表現最好。當溫度超過 250°C 時，有機橡膠必須讓位於無機橡膠。目前，二甲基硅氧烷是一種高溫下很有希望的橡膠材料。

在新出現的新橡膠中，下面的幾種含氟橡膠值得提出。

1) KelF 彈體，它是三氯氯乙烯及偏二氯乙烯的共聚物，含氟量在 50% 以上。這種橡膠特別適于制成硬橡皮使用，具有良好的膨脹穩定性，熱穩定性和化學穩定性，同時并具有彈性和橡膠的其他特性。KelF 的分子量介於 50,000 $\sim$ 100,000 之間。硫化產品的強度達到 250 公斤/公分²。延伸率一般為 300 $\sim$ 600%。能耐酸、鹼、液壓油、硅氧油和潤滑油等化學藥品的作用。甚至對發煙硝酸也能抵抗較長的期限。但在低分子含氟碳氫化合物、磷酸酯及二酯的作用下能產生膨脹。KelF 的持久穩定溫度為 200°C 。但也可以用于溫度為零的狀況下。長期使用時此種彈體吸濕的現象很小，因此電氣性能長期不發生變化。KelF 彈體在通用的橡膠加工機械上即可進行加工。可用擠壓、滾壓等方法造形。KelF 還可壓入石棉或其他合成纖維來補強。選用適當的膠合劑，KelF 彈體可很好地粘附在金屬的表面上。KelF 彈體，因其分子內缺乏

不飽合的基团，所以多采用过氧化物、胺及异氰酸盐作硫化剂。用 β 或 γ 射綫照射亦能产生很好的硫化效果。采用过氧化物作硫化剂时，利用特种的硅酸盐作填料能显示出优良的硫化效果。而在采用胺作硫化剂时，利用碳黑作填料也能产生很好的效果。一般所用填料的分量占全重的 10~30%。增塑剂只在采用胺为硫化剂的条件下使用。磷苯二甲酸盐、癸二酸盐或磷酸盐是最为适宜的增塑剂。KelF 还可以和硅氧橡胶、氯丁橡胶、海伯隆 (Hypalon) 及丙烯酸橡胶混合，供作特种用途使用。KelF 橡胶的主要用途为制造密封零件、密封襯环、軟管和其他工艺零件。

2) 1F4 含氟橡胶，它是一种聚丙烯酸全氟丁酯化合物，是由丙烯酸 1.1—2 氢全氟丁酯为原料制造出来的。1F4 橡胶生料有两种状态：一种是色白的热塑性材料，比重 1.5。另一种是含 30% 固体物質的透明橡浆。1F4 彈体在大多数溶剂中均不会溶解。然而它能为低沸点的酯、丙酮等物質所浸蝕。硫化时所用的硫化剂为四乙烯四胺。填料为碳黑，用量占全重的 35%。硫化 1F4 橡胶具有特別良好的抗溶剂性能，并具有較好的抗高温、抗潤滑油等性能。硫化产品的延伸率、强度及硬度等則因硫化条件及填料的同而發生变化。此种橡胶能用作密封材料和包复材料。

3) 含氟硅橡胶 SilasticLS53。这种橡胶是由美国 Dow Corning 公司与萊特航空發展中心共同进行研究的。与其他含氟橡胶比較，这种橡胶对燃料、芳族化合物显示了更高的抵抗力。因此，在航空工业上将占有显著的地位。这种橡胶在 130°C 下 5 分鐘即能完成硫化。使用溫度范围为 -60~200°C。总的来看，这种橡胶兼有一般硅橡胶和含氟橡胶的

优点。但目前这种橡胶的应用不广泛。原因是它的价格太昂贵。1 公斤約值 250 馬克。

4) VitonA 橡胶，它是偏二氟乙烯与六氟丙烯的共聚体，分子量为 60,000，含氟約 65%。用有机过氧化物、聚胺或异氰酸盐作硫化剂能使产品具有彈性，并具有优良的抗化学藥品稳定性、抗热性及抗燃料的性能。用胺作硫化剂所制得的产品顏色变暗。此种橡胶主要用于飞机及汽車工业。

在高温聚合彈体的研究領域里，无机聚合体的研究是一个新的动向。据称这种无机聚合体的耐溫極限可高达 1200°F (648°C)。而一般有机高聚体的耐热極限不超过 700°F (371°C)。

胶 合 剂

乙烯树脂、聚酯、聚乙烯、聚甲基丙烯酸酯和氯丁胶是早已通用的胶合剂。对飞机工艺來說，所用胶接剂不仅要能很好地潤湿金屬或其他被胶接材料的表面，而且还要求收縮度小，不受溶剂的影响。在进行胶接工艺时，要求胶接剂在固化时不引起胶層产生裂痕。胶接剂長期儲放时应表現很稳定，在溫度变化很大的情况下也不应受到影响。一般講，用环氧树脂制成的胶合剂及用聚乙烯和酚醛树脂制成的胶接剂則能够滿足上述要求。近年来，对飞机結構强度提出了更高的要求。采用胶接工艺的主要优点是能減輕結構重量，消除結構上应力集中的現象，并能使飞行器結構保有光滑的外表面，从而使飞行器結構强度和空气动力效应都大为改善。为此，在飞机胶接剂，特别是在高温胶接剂方面正进行着巨大的研究工作。在新出現的胶接剂中，意义較大的有阿拉尔迪

特 (Aradit), 列达克斯 (Redux), 赫达克斯 (Hidux) 及埃朋 (Epon) 等产品。其中以列达克斯及埃朋胶接剂的应用较为广泛。

列达克斯胶接剂是夹层结构中广泛采用的胶接剂。这种胶接剂有两种成份：一种成份是列达克斯液体，另一种成份是列达克斯粉末。列达克斯液体 (K—6) 是一种以酚醛树脂为基的物质，此物质是热硬性的，对某些金属表面显示了很大的润湿能力。列达克斯粉末则是一种以聚乙烯甲醛为基的物质，此物质是热塑性的，并具有很优良的物理性能。在硬固过程中，列达克斯液体把金属表面与列达克斯粉末牢固地胶接在一起。由于酚在缩合过程中有水汽产生，所以在固化过程中需施加压力，以便使最后形成的胶接层内不出现气泡。这样形成的胶接层虽不是均匀一致的，但它不易产生裂纹，而且还能够牢固地粘附在金属表面上。列达克斯胶接剂多用在飞机蒙皮和大梁翼肋等的接合部分。埃朋胶合剂是一种由环氧树脂制成的胶接剂。目前出现的有 EponVI 及 EponVIII 两种牌号。EponVI 是一种高强度的胶接剂，在室温或稍高的温度下即行硬固。EponVIII 耐受的溫度較高， 200°F (90°C) 下 90 分鐘內即能固化。Epon 型胶接剂的主要优点是具有很高的胶接强度及耐震性。它已成功地用来胶接金属、塑料、橡胶及木材。在飞机结构上，具体用来胶接的部件有喷气燃料箱，蜂巢结构的机翼等。此种胶接剂在飞机领域内正在代替广泛采用的焊接和铆接。从胶接工艺来看，这种胶接剂由于不含溶剂，可直接用来胶接无孔隙的部件，胶接时使用很小的压力即能形成满意的胶合。胶接前不需将胶接面进行机械加工。阿拉尔迪特是另一种著名的胶接剂，这种胶