

〔美國〕G. 埃普司坦著

金屬的粘合

科學技術出版社

內 容 提 要

这是一本研究合成胶粘剂的参考書。書中說明了合成胶粘剂的用途、性能、配方以及制备和試驗方法等。尤其对用于金屬結構方面,包括飛機、導彈等和夾心結構方面的胶粘剂闡述較詳。

本書可供一般設計師、机械工程师和研究胶粘剂的化学师等的参考。

金 屬 的 粘 合

ADHESIVE BONDING OF METALS

原 著 者 [美國]George Epstein

原出版者 Reinhold Publishing
Corp. 1954年版

譯 者 夏 承 遠 蔡 謙

*

科学技術出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市書刊出版業營業許可證出 079 号

信誠印刷厂印刷 新華書店上海發行所总經售

*

統一書号 13119·111

开本 787×1092 1/32 • 印張 5 7/16 • 字數 107,000

1957年12月第1版

1957年12月第1次印刷 • 印數 1—1,900

定价: (10) 0.80 元

譯 者 言

膠粘剂的發明，远在十九世紀的末期。但最初不过利用它的絕緣特性于电器制造，以及用于油漆和木工制造業中。直至第二次世界大战时期膠粘剂才廣泛地被用于粘合各种金屬，用于金屬和各种材料的粘合，以及各种材料間的粘合。它比鉚接、点焊等接合方法具有更多的优点。現在膠粘剂已大量地用于飛機、導彈，也用作抗酸塗料、汽車的剎車襯、防护板、摩擦砂輪和圓片等等，又可用于無綫电工業以及其他許多工業中。最近十年來膠粘剂还用來粘合芯子和外皮構成一种夾心構造，用于飛機、導彈、裝飾家具、汽車及船舶中。無疑地膠粘剂的用途現在还不过剛在开始，將來随着化学工業的發展，还有更廣大的發展前途。

本書——金屬的粘合，据原作者乔治·埃普司坦所說，“使工程师和技術人員遇到兩種材料的接合問題时能够判定：采用膠粘剂粘合的接头是否恰当，應該选择哪种膠粘剂，怎样运用膠粘剂，和如何設計性能最好的接头。这里所称的膠粘剂，是指那些粘合金屬最常采用的膠粘剂而言”。

“为了使讀者能够了解膠粘剂的物理和化学性能，本書对膠粘剂的化学和配方方面，特詳加討論，尤其是对于那些代替橡膠的膠粘剂的粘合。那些影响膠粘剂粘合强度的因素如接头問題及接头的应用等，也都詳加敘述。关于夾心構造的敘述亦較為

詳盡，尤其是膠粘劑在這方面所創造的新作用”。

原書作者喬治·埃普司坦是某航空企業的研究工程師，對於膠粘劑方面頗有研究。書中所述的一種特殊高溫膠粘劑 NAA “高溫”就是他發明的。除了本書外，他還著有很多關於化學方面的書籍和論文。

關於數字的計量單位，原書是采用英制的，現一律由譯者折算為公制。

本書專門名詞的譯名大部分是根據中國科學院所編“化學化工術語”一書。在進行本書的翻譯工作時，華東紡管局工程師顧葆常先生給予譯者不少幫助；全書譯完後復承顧先生詳細審閱一遍，提供了不少寶貴意見；此外楊汝楫教授及馬翼周教授也給予不少幫助，特此誌謝。但譯文中如有錯誤，仍由譯者負責。

夏承達，蔡 謙

1956年7月。

目 次

譯者言	
第一章	導言.....1
第二章	金屬膠粘劑的基本材料.....18
第三章	幾種典型膠粘劑的配方.....39
第四章	特殊高溫膠粘劑.....77
第五章	膠粘劑接頭的設計和試驗.....90
第六章	接合技術.....123
第七章	用於夾心構造的金屬膠粘劑.....140
附 錄 I	用膠粘劑粘合的接頭,它的機械性能根據結構膠 粘劑、金屬對金屬粘合應有規格的要求.....156
附 錄 II	幾種金屬用結構膠粘劑的機械性能.....158
附 錄 III	參考書籍.....159
附 錄 IV	譯名中英文對照表.....161

第一章 導 言

1. 工業膠粘劑在金屬構造中的地位

大多數工程師都諳知金屬的性質。有些工程師則熟悉塑料的特性；但只在過去幾年中，他們才知道可用膠粘劑來粘合金屬。在美國政府最近召開的討論膠粘劑的會議上，曾強調了接合方法的重要；潑雷維特飛機公司^①的潑雷維特^②說，根據第二次世界大戰時期他的公司的統計，只有四分之一的生產時間是用在製造結構的各種構件，而四分之三的時間却用於裝配這些構件。裝配機身結構時，在夾具中的裝配工作、鑽孔、拆卸、打凹、再裝配及裝上大批鉚釘等方面，要用去很大數量的工時。如用膠粘劑粘合，就可大大地減少這些操作的時間和成本。

凡是能接合兩個部件的物質都可稱之為膠粘劑；這種粘合的接頭，具有足夠的強度，來抵抗分離該件的力量。我們應該注意那些合成樹脂和代替橡膠的膠粘劑，它們都是金屬對金屬的粘合或金屬對其他材料粘合的常用膠粘劑。這些類型的膠粘劑將在以下數章中討論。它們是有機性的物質並且可以在實驗室內合成的。（這樣，我們對於那些脆弱的無機性的膠粘劑，如陶瓷方面所用的“酸鐵”^③和用於紙板、木工製造業及粘貼罐頭上

① Prewitt Aircraft Co.

② R. H. Prewitt.

③ Sauereisen.

標籤所熟悉的动植物膠等,可以毋庸另行討論)。

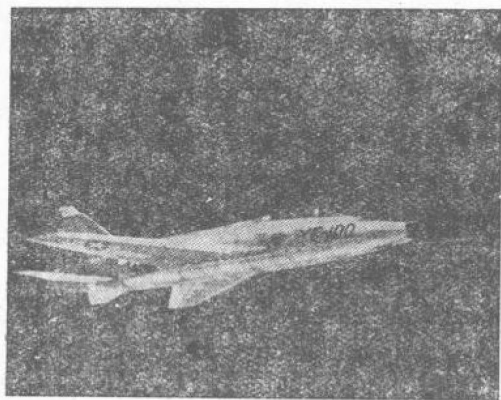


圖 1-1 应用大量粘合構造的北美航空公司
F-100 超音速噴气战斗机

为了有效地运用这些技術,就像运用其他材料一样,必須明了現有各种膠粘剂的特性和优点以及了解其他接合方法。首先,工程技術人員必須建立用膠粘剂粘合是优于其他接合方

法(如用鉚釘、熔焊

等)的觀念,以及明了各种接合方法的优点和缺点。膠粘剂常是唯一可以用來接合各种構件的方法。当决定采用粘合方法后,就要充分熟悉不同膠粘剂材料的性質和其使用方法,以便有信心地選擇一种最适宜的膠粘剂。

2. 金屬接合方法

几乎在每一个工程結構的構造中,需將不同的部分裝在一起,構成一个整体。只需对这些結構稍加注意与檢查,便可以領會到接合方法在我們現代經濟中是何等重要。古时印地安人用繩索來構制弓箭,用木釘來建造房屋,早已被許多有效的其他接合方法所代替。今天,工程师、技術人員或机械人員可以应用許多可能的方法來接合各种类型的材料。金屬、木材、塑料和橡膠都是可用于構造的最有用的材料。要正确地利用这些來源丰富

的材料，首先須明了同一材料間或与其他材料間的不同的接合方法。接合金屬可能的技術很多。本書大部分是論述金屬的粘合，对于其他接合方法只作一簡短的討論。

用金屬螺栓和螺釘有許多顯著的缺点（如需要鑽孔，金屬厚度的要求，运用時結構有松弛的傾向等）。在這些永久接合的方法中有：

（1）機械方法，如鉚接及螺栓接合。（在這些較老的接合方法中，機械技術上只需極少數的設備，故普遍地被採用）。

（2）媒焊或銅焊。

（3）熔焊。

鉚接是將金屬銷子穿過兩片被接合材料的孔眼。銷子的一端一般是有一個頭，而另一端則于穿過孔眼後也打成一個頭。

媒焊是用第三種金屬或合金（如硬焊劑是鋅、銅、銀或鋅銅合金；軟焊劑是錫、鉛和小量鉍的合金）來接合兩種金屬。焊劑，由於具有較被焊金屬為低的熔點，故可熔化而與這些材料附着，並使其在受到任何應力之前冷卻。接合作用是由於焊劑微有擴散滲入母體金屬之故。在電氣工業中，軟焊用於接合電綫尤屬重要。

熔焊是用加熱使其本身熔化（或成為塑性狀態），加壓或不加機械壓力而產生的牢固的接合。電阻焊普遍地應用在飛機工業中。加熱是用電來達成，同時並施以壓力。點焊、縫焊、對焊都是採用此種方式來進行的。

這些接合金屬的方法都有某種本質上的困難和缺點，在下節關於用膠粘劑粘合方法的優點中將再行討論。

3. 膠粘劑的基本優點

用膠粘劑粘合金屬，比用其他普通方法具有一定的優點。

我們常需接合各種不同的材料，如鋁和鋼、塑料、橡膠、或玻璃和金屬等的接合。顯然，用上述的許多接合方法是難以辦到并且缺陷很多。最近發展（美國橡皮公司惱加特克化學部）^①的硬性或半硬性乙烯樹脂薄膜多用于鋼和鋁片的接合過程，這體現了用膠粘劑粘合金屬的優點。如此製成的金屬塗塑料的板片可用于化學容器、盤子、管子等，也可用于家具、汽車儀表板及運輸用儲槽等；總之，可以用于一切需要金屬強度同時又具備如乙烯樹脂的耐蝕性的場合下。

熔焊不同的金屬，常需特殊而艱巨的技術。在某些情形下，所焊合的接頭會脆到實際上不能應用的地步（如鎂和鋁的焊合）。在另一些情形下，在被焊合的金屬上需要包上另一層金屬。例如，在點焊或縫焊鋁到鋼上之前，須先在鋼板上電鍍上 0.006 公厘厚的銀層。由於鋁合金具有優良的導電性，電阻焊接時要有巨大的電流，並須準確地控制電流、壓力和時間。對於接合兩個厚度相差很大的板，熔焊是不宜採用的。

有時兩種不同的金屬接合在一起，就產生電隔作用，引起嚴重的腐蝕，尤其是在潮濕空氣中。

媒焊輕合金較鋼困難，且不如用于鋼之可靠。焊就的接頭也缺乏耐蝕性。在某種接頭的構型中，很難除去那些產生腐蝕的殘存焊劑。當用波形黃銅皮去焊合油箱時，由於清除殘存焊劑的實際困難，常能發生嚴重的腐蝕。採用膠粘劑（雷德克

① Naugatuck Chemical Division of U.S. Rubber Co.

司)①后,不但可以解决这个问题,并且还可以大大地加速生产。

采用胶粘剂就能消除这些缺点。用胶粘剂后,不需再用点焊或铜焊时所需的高温;铆接或螺栓接合中的钻孔工作也可免除了。这些操作都耗费时间(因此生产费用较高),且使结构强度削弱。例如,用胶粘剂粘合是接合橡皮 O 形圈于金属阀上最适当的方法。

金属接合物的突出部分亦可予以消除。例如,现代的刹车衬是用胶粘剂粘合于钢质刹车履上的。以前用铆钉接合技术,则在车子行驶时,刹车鼓常会发生严重的切痕。采用金属胶粘剂后,这些部件的寿命和操作效能都大大提高。并且由于不用金属铆钉,改善了热的散逸,因而增加了刹车衬的使用寿命。此外,刹车时不愉快的噪声也可消除了。一个用铆钉的刹车衬的强度在室温时约为 2,300 公斤,而用胶粘剂粘合的衬约为 4,600 公斤,恰为一倍。

最近某一杂志曾述及克雷斯勒汽车公司②利用装配传送带来粘合刹车衬。据云,该公司某一厂所产的轮刹车衬和传动刹车衬足够全国克雷斯勒客车和卡车之用。刹车鼓所用 17.8 ~ 41.6 公分半径的刹车片是配合了装配传送带来供应的;每秒钟可生产装配齐全的刹车履一只。

设计一个结构,不论应用在电器上或结构上,常需采用较薄的材料。主要的理由是减轻重量,虽然这一要求并不是仅有的理由。焊接这样一个结构时,所施加的热力常会引起材料的变形。插入式的联结物如铆钉、螺栓等,由于薄金属的承压强度较

① Redux.

② Chrysler Corp.

低，也不能令人滿意。所以接合這種薄構件最有用的方法是採用膠粘劑粘合。電機外殼上粘貼極薄的金屬標志就是典型的例子。一般常用 0.076 公厘的鋁箔，背面塗以膠粘劑，粘在金屬殼上。製造廠在出售這種金屬標志時，多附有熱塑性（熱熔性）的或對壓力有敏感性的橡膠型膠粘劑。如操作溫度較高，則用熱固性（熱凝性）膠粘劑（參閱第三章）。

在需要氣密及需要封閉以承受巨大壓力差的結構中，過去由於裂縫常遭遇到很多困難。許多漏滲常發生在點焊和鉚釘的周圍。克服這項缺點，有三種可能的方法：（1）設計一個能用特種墊片的結構（這常是不可能的）；（2）用膠粘劑，不用鉚釘或點焊；（3）在結構上包一層封閉物，事實上這就是膠粘劑的特殊應用。例如，用膠粘劑所接合的壓制的飛機座艙和整體油箱，就都不會發生滲漏，因為結構上沒有鑽孔，而膠合縫本身又是不漏氣的。所以也不需要任何特殊墊片；因為這些墊片會使設計上發生一些額外的問題，並且增加了成本和結構的重量。

在需要氣密結構的飛機和其他工業中，裝配後的再密封也常被採用。像耐壓的機艙和其他部分上，如肋、縱條和門上面所有的縫、接頭、鉚釘、孔等等，普通都是用橡膠基型膠粘劑來密封的。這種密封能很好地抵抗空氣壓力，或汽油、油、水等的滲漏。

環氧基型樹脂（見第二章）常用來密封變壓器線圈。至於用在電氣絕緣方面，可以認為是膠粘劑的另一種特殊用途。

從結構的嚴密觀點而言，用膠粘劑粘合比用其他接合方法有許多優點。它可視作無數微小而極有效的聯接件；每處都能抵抗外力，因而這種粘合能使負荷均勻地分布在所有的接觸面

上。在鉚釘和點焊周圍的局部應力集中情形，也大大地消滅了。點焊會使金屬結構在焊接點附近變質和削弱，鉚接會使鉚釘之間翹曲；現在用粘合方法後，這種情形都不致發生了。

用膠粘劑粘合，不會像鉚接那樣當一排一排地安裝鉚釘時在某些地方會發生那不平整現象；因為全部的裝配是可以在一次操作中完成的。

由於應力分布均勻，其疲勞強度比鉚接或焊接大為增強。在做破壞金屬粘合接頭的負荷循環試驗中，常可看到粘合的金屬是比接頭處先發生破壞，尤其在低應力試驗時。

由於疲勞強度的改善，1944年起謝科斯基飛機公司^①已將金屬對金屬的粘合方法應用於直升飛機的旋轉槳葉上。

雷德克司是一種在英國發展的合成樹脂膠粘劑（見第三章），曾被用來研究粘合在飛機構件上的加強筋的疲勞強度。當縱條用膠粘劑粘合時，應力達4,500,000循環（波動負荷）後才發生破壞；而用鉚釘時，在3,000,000循環就發生破壞。

近代飛機外皮是用壓力壓出的，鉚釘只能使安定縱條和外皮的金屬板不連續地相互附接着（假使和用膠粘劑作比較的話）。在受到外力時，這種缺乏連續性和在負荷下發生翹曲的傾向將超過鉚釘的實有強度。因此，這種鉚釘結構具有較低的強度。倘用膠粘劑粘合來代替鉚釘接合，那末，強度就能增加5~40%。

用膠粘劑粘合、用鉚釘接合、或用點焊接合的典型縱條外皮截體，都由北美航空公司^②試驗過：當受拉力負荷時，膠粘劑粘合部分能承受其他二種中任何一種接合法所能承受剪應力的兩

① Sikorsky Aircraft Co.

② North American Aviation.

倍。

在飛機中，約 50% 的結構鉚釘是用作穩定結構之目的，就如同縱條和加強筋附着在較薄金屬皮上的目的一樣。外皮對縱條接頭的要求，不僅是強度，並且還需要剛性和連續性。只有膠粘劑粘合才能比鉚接更理想地滿足這些要求。鉚接雖然能供給必需的強度，但是缺乏連續性；結果由於在負荷下鉚釘與鉚釘間表皮的翹曲，常常會發生扭曲現象。

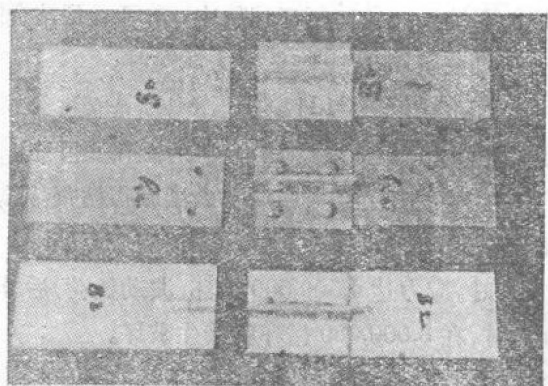


圖 1-2 典型膠粘劑粘合的結構能比鉚接或點焊接合的多出一倍的抗剪切力量。圖中所列是經過試驗後的試樣；上行是點焊試樣，中行是鉚接試樣，下行是膠粘劑粘合的試樣。

當用膠粘劑粘合時，可大大減輕所有各部分結構的重量。由於用膠粘劑粘合能使表皮受力較為均勻，故可用較薄的金屬皮。膠合縫的重量和改用鉚釘後的重量，二者相差很大，雖然這一因素是次要的。在受压机艙，整體油箱及其他需要防漏的結構中，如用鉚釘接合，對於封閉件所增加的重量就應予以考慮。

據一般估計，粘合可比鉚接或點焊減輕 25~30% 的重量。在一個典型的飛機構造中，設計過程經此改動所節省的重量，可

使其增加几百里的航程。在設計一个飛機机翼的中央盒形梁中,据估計 141 平方公尺的面積可減輕 204 公斤(約減少整个机翼重量的 5%)。英國的飛機工業应用膠粘剂粘合方法已有多年了。如哈維蘭·可末特^①和不列斯托·不列坦尼亞^②兩架民航机就是采用膠粘剂粘合方法來減輕許多重量(和其他接合方法相比之下)。根据估計,所減輕的重量适等于增加的客貨負荷。可末特是第一架采用噴气推進器的民用運輸机。

用粘合方法容易獲得光滑的外表面,粘合了的金屬表面不像鉚釘、点焊、螺栓等会改变。除改善外表外,这种合乎空气动力学的表面还具有最小的空气摩擦阻力,所以特別适用于高速飛機和導彈。那种耗費的光鉚技術也可免除。尤其用点焊來接合極薄的金屬皮,是極难獲得理想的表面。

当膠粘剂用于生產时,成本可相应地減低。大部分操作都是自动或半自动的。因此,所需的熟練技術不像其他接合方法那样重要。由于自动化,所要求的工作注意力并不高。此外更可節省劳动力;因为否則还須清除那些多余的焊接金屬和將來会发生腐蝕的那些殘存的焊剂。廣大的工作面也可以在一次操作中完成,生產時間(成本亦然)可顯著地減少。最近潑雷維特飛機公司的潑雷維特表示,美國陸軍和海軍的直升飛機改用了膠粘剂粘合鋼料的旋轉槳叶后,“生產記錄示出:它的成本只及旧法制造槳叶成本的一小部分”。

1951 年 11 月 20 日加尔德納^③在英國皇家航空学会^④演說

① de Haviland Comet.

② Bristol Britannia.

③ H. H. Gardner.

④ Royal Aeronautical Society.

時，曾強調地指出重量減輕對於飛機的經濟方面的意義：

“一個重 22,680 公斤的運輸機每年可以飛航 2,000 小時，結構方面如能減輕 2% (454 公斤)，直接飛航成本就可減低 8 %。按照目前的价格，貨運方面可能的收入將增加 53,000 英鎊 (約 151,000 美元)，或客運收入增加 74,000 英鎊 (約 221,000 美元)。在負荷系數為 60% 時，100 架飛機就可增加 3,800,000 英鎊 (10,000,000 美元) 的收入——該公司飛航的飛機共有 200 架”。

膠粘劑粘合法對於飛機結構方面有下列幾個經濟優點：

- (1) 製造便宜 (生產成本低)。
- (2) 載運較大的負荷 (因為結構重量較輕)。
- (3) 飛行迅速 (外皮光滑和結構堅固)。
- (4) 使用壽命較長 (疲勞極限比用鉚釘的同樣結構的為大)。

諾斯洛浦飛機公司^①的工程人員曾將全部用金屬鉚釘構成機翼後部的成本和改用環氧基型膠粘劑司杜羅邦德^②將金屬和司杜羅方^③——固化泡沫狀聚苯乙烯——粘合成的成本作了一個比較。用全金屬結構的成本，約為用膠粘劑粘合的成本的九倍。同樣地，一個用全金屬方法接合的直接成本，約為用膠粘劑將司杜羅方與金屬粘合的成本的五倍。

法國飛機工程人員曾作過報導，在四個機翼上把加強筋接合到外皮的一個操作中，若用膠粘劑代替，可節省數百個工時；

① Northrop Aircraft Co.

② Styrobond.

③ Styrofoam.

因为 有 18,000 个鉚釘，每个鉚釘需时数分鐘（包括鑽孔、鏜孔、鉚制埋头等等）。

当需要电絕緣或热絕緣的場合，膠粘剂粘合方法最为理想；因为（特别是合成樹脂的膠粘剂）膠粘剂的化学性能和物理性能指出，它比一般金屬具有較低的導电性和導热性。尤其在两种不同金屬放在一起而產生的电流作用时，如用一層膠粘剂予以隔离，兩片被粘合的金屬間的电流將減至最小值。

膠粘剂具有隔絕声音和耐蝕的特点。在汽車工業中現已廣泛地应用橡膠基型膠粘剂的塗复層來隔絕声音，并使它經久耐用，这已經是大众所熟知的事实。膠粘剂亦常与其他材料相接合，以獲得有效的絕緣和減震作用。用合成樹脂粘合成的玻璃纖維席常被砌在牆壁上，用作隔热裝置。用硅樹脂作膠粘剂將硅橡膠粘合于鋼隔板后，可作防火牆之用。

如用膠粘剂將各种遏声材料粘合于金屬嵌板下面，則此金屬結構在气流中作高速运行时，其發生振动的趋向可以适当地减小或完全消滅。

酚樹脂膠粘剂的新用途是用來制造各种形狀的永久磁鉄和磁性材料。德國科学家貝尔曼^①用酚樹脂膠粘剂作为粉末磁性材料的粘合剂，并用模型將此項材料压成各种需要的形狀。环氧樹脂亦可作相同的应用。这种技術的优点是对極硬的磁鋼可毋需進行加工。

膠粘剂并不能解决所有的接合問題。相反地，它是有限制的，就如前述的其他接合方法一样。即使最好的合成樹脂膠粘剂，它的最大工作溫度范围僅达 260°C 左右（参閱第四章），而

① Baermann.

鉚接与銅焊接的接头却能在更高的温度範圍內操作。在小型裝配中,鉚接或点焊在各种設備都具备的情況下,仍屬合算。假使只需制造少数几个外形复雜的結構时,使用膠粘剂粘合同易促使每一裝配体的工具費用变得很高。对于廣泛使用金屬膠粘剂还有一个缺点,就是不易發現未粘牢的和粘得不够的地方。如果一个鉚釘或螺栓損坏,就很容易被發現而予以調換。关于膠粘剂的檢驗方法(破坏性的、非破坏性的),將在第五章中詳加叙述。

較聰明的办法,是对某一已知用途先行研究,究应采用何种接合方法最为合适,是否可以几个接合方法同时并用。例如,在哈維蘭·可末特飛機上,所有的縱条都是先用膠粘剂粘到外皮上(飛機的机翼及机身等),然后再將这些做好的嵌板相互用

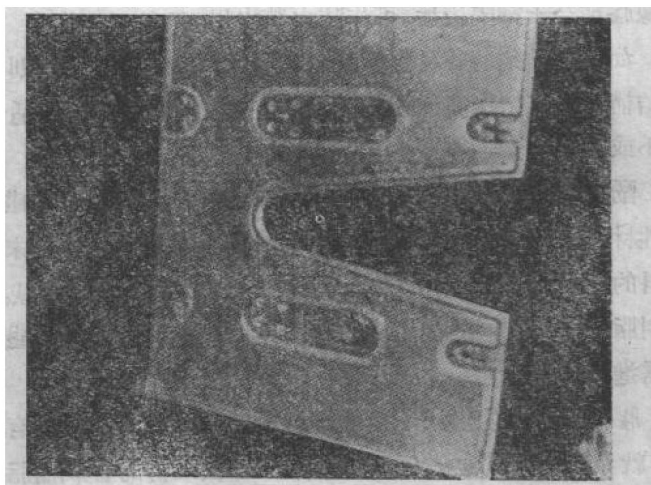


圖 1-3 膠粘剂和鉚釘可以彼此互相補助地应用。噴气战斗机的俯冲剎車門就是应用膠粘剂粘合的金屬夾心構造。为了使邊緣更为牢固起見,沿邊緣另加鉚釘。