

光学玻璃工艺学

光学零件的特种加工

A. H. 巴尔金 著



国防工业出版社

81.5865-

137

光学玻璃工艺学

光学零件的特种加工

A.H. 巴爾金 著

晏 彬 譯

項敏達、汪目熙 校



有很多光学零件在制成后尚須進行特种加工，本書闡明这些加工的主要工藝，这些工藝就是，复杂系統中零件用膠合和光膠的結合法，在零件表面上鍍膜的化学和物理法，改变光綫反射率和透射率（鍍透光膜、鏡膜和折光膜），刻制分度和分划的各种方法，本書是为高等学校及中等技術学校光学仪器制造專業的学生編寫的，对車間和实验室的工程技術人員也可能有所裨益。

А.Н.Бардин
ТЕХНОЛОГИЯ
ОПТИЧЕСКОГО СТЕКЛА
СПЕЦИАЛЬНАЯ ОБРАБОТКА ОПТИЧЕСКИХ
ДЕТАЛЕЙ

Государственное издательство
литературы по строительным материалам
Москва 1953

本書系根据苏联建筑材料書籍出版社
一九五三年俄文版譯出

光 学 玻 璃 工 艺 学

光学零件的特种加工

〔苏〕巴尔金 著

晏 彬 譯

項敏达 汪目熙 校

*

國防工業出版社 出版

北京市書刊出版業營業許可証出字第 074 号
北京新中印刷厂印刷 新華書店發行

850×1168 1/32 5 印張 • 119,280 字

一九五六年九月第一版

一九五六年九月北京第一次印刷

印数：1—3,070 册 定价：(10) 0.94 元

序 言

光学仪器制造是最有趣的技术部門之一。現代光学仪器的产生，以各种科学知識(理論和应用光学,光学玻璃工艺学,精密机械学和电工学)的复杂綜合为基础。光学仪器的結構和用途是多种多样的，几乎一切的工業部門都不能缺少它。

由于苏联共产党和政府經常关怀，由于苏联科学家們卓越的研究，以及工人、工程师和技术人員忘我的劳动，在偉大的十月社会主义革命后建立的苏維埃光学工業，已得到了很大的成就，滿足了国民經济的要求。

在苏联有关光学工業的書籍是相当丰富的，特別在应用光学方面有很大的發展。苏联科学院通訊院士A. M. 杜多罗夫斯基，技术科学博士Г. Г. 斯留薩列夫教授及技术科学博士B. B. 費菲洛夫教授的卓越的巨著即享有很高的声望，同时，这些巨著又是研究应用光学課程的必讀書籍。

技术科学博士M. M. 魯西諾夫教授，技术科学博士B. H. 邱里洛夫斯基教授和技术科学博士Л. С. 沃洛索夫教授，在这方面的著作同样是有价值的。

苏联科学院通訊院士H. H. 卡恰洛夫，院士И. B. 格列宾西可夫和苏联科学院通訊院士Л. Л. 馬克苏托夫，关于光学玻璃制造和加工的各种問題的研究著作，对光学工業的开展起着重大的作用。

技术科学博士Ф. Л. 布尔米斯特罗夫教授关于制造光学仪器精密分度和分划的特种工艺过程的書籍，是对光学制造技术的宝貴文献。

苏联科学家們的著作包含極丰富的材料，同时是对于光学制造技术中專門問題的專門論著。这些書籍早已售缺，甚至研究光学制造技术的学生們也找不着教学参考書。

“光学玻璃工艺学”課程和“光学仪器裝配”課程参考書缺

乏的情况特别严重。

“光学玻璃工艺学”课程是最复杂的，因为它所包括的问题的范围特别广泛。这些范围是：玻璃的特性及其制造；玻璃的加工及切割方法；制造光学零件时玻璃的磨制过程；光学零件的特种加工过程。

由于这门教程没有教科书，也没有系统的教学参考书，学生们不得不参考很多各种各样的书籍，这样就大大增加了学生自学的困难，因为所需要的书籍，如前所述，多半是书目上所罕见的。

本书作为学生研究光学玻璃工艺学课程的特别部分——改变玻璃表面光线反射率的方法，各种分度和分划的制造及制成零件的胶合——时的教学参考书。

在苏联所出的书籍中，象这样内容的还没有第二本。在译成俄文的书籍中，史屈朋(John. strong)的“物理实验技术”^①，有几章题材相近，但要作为教学参考书，嫌其过于冗杂，同时它的取材完全根据外国的资料。

本参考书是为高等学校光学仪器制造专业的学生编写的，它对中等技术学校，技工学校的学生，对工厂实验室和车间的工程技术人员亦有帮助。

我不能不深切地感谢B. A. 奥斯特洛乌莫夫和M. T. 萨尔金教授，技术科学硕士Л. B. 谢尔盖叶夫，以及H. A. 加夫里洛夫和B. H. 波克罗夫斯基两位工程师，因为他们批评性的意见使我大大的提高了本书之质量。

作 者

① 此书已有中文译本，书名为“物理实验室应用技术”商务印书馆出版。——译者

目 录

序 言

导 言

第一章 光学零件不用零件座的結合法 3

§ 1 光学零件結合法的一般概念 3

1. 零件結合的用途和方式 3

2. 对零件結合質量的基本要求 4

§ 2 用膠合法結合光学零件 4

1. 对膠合層的要求 4

2. 膠合用的材料 5

树脂膠 5

新树脂膠 8

3. 用树脂膠膠合 10

4. 用新树脂膠膠合 12

5. 用其他种类的膠膠合 15

6. 脫膠——膠層的疵病 16

7. 膠合的檢驗 17

§ 3 用光膠法結合零件 19

第二章 鍍透光膜、鏡膜及析光膜 22

I. 概說 22

§ 4 用鍍膜改变光的反射率的方法分类及用途 22

§ 5 利用干涉膜改变零件表面上光的反射率 25

§ 6 膜的原料及鍍到玻璃上的方法 28

1. 膜的原料 28

2. 玻璃上鍍膜的方法 31

§ 7 檢驗鍍膜質量的方法 32

II. 化学鍍膜法 34

§ 8 鍍透光膜 34

1. 概說 34

2. 鍍單層透光膜 34

酸蝕玻璃形成二氧化矽膜的方法·····	34
矽酸乙酯水解形成二氧化矽膜的方法·····	37
化學方法鍍單層透光膜的性能·····	39
3. 鍍雙層透光膜·····	39
§ 9 鏡膜及析光膜的鍍銀·····	41
1. 概說·····	41
2. 鍍銀工藝·····	41
鍍銀零件表面的准备工作·····	41
鍍銀溶液的成份及配制·····	42
金屬銀還原過程·····	43
鍍致密銀膜和半透明銀膜的特點·····	46
影響鍍銀過程的主要因素·····	47
鏡膜的保护复盖膜·····	49
對鍍銀質量的要求·····	51
3. 化學鍍銀法的特點·····	51
III. 物理鍍膜法·····	51
§ 10 概說·····	51
§ 11 汽化法·····	52
1. 汽化過程的原理·····	52
2. 影響汽化過程的因素·····	53
3. 汽化物質凝結的基本計算法·····	57
4. 汽化法的特點·····	58
§ 12 金屬陰極濺射法·····	60
1. 濺射過程原理·····	60
2. 影響濺射過程的因素·····	64
3. 濺射法的特點·····	67
§ 13 鍍膜用的真空裝置·····	67
1. 概說·····	67
2. 真空裝置的主要組合件·····	69
罩及罩內附件·····	69
真空泵·····	71
§ 14 汽化法及濺射法鍍膜工藝·····	75
第三章 分度及分劃的制造 ·····	80
I. 分度及分劃的概說·····	80

§ 15	用途及分类	80
§ 16	分度及分划的制造方法	82
§ 17	对分划的主要要求	87
II.	用刻度法刻分划	88
§ 18	用切削法在玻璃上刻分划	88
	金剛石刻刀	88
	切削规范	91
§ 19	在玻璃的复盖層上浮刻分划	91
	1. 浮刻方式	91
	2. 浮刻耐酸底層以备用酸蝕法在玻璃上得到分划	92
	保护蜡底	92
	浮刻用的刻刀	93
	3. 在漆膜上浮刻分划	95
	4. 在金屬膜上浮刻分划	95
	鍍金屬膜	95
	浮刻用的刻刀及刻刀的荷重	96
	5. 在吸附的非晶体銀層上刻分划	96
	鍍上銀膜	96
	浮刻过程	97
§ 20	用刀具刻分划的机器	98
	1. 机器的分类及特性	98
	2. 复制机及刻度机之結構	99
	复制机	99
	刻度机	102
	3. 复制机及刻度机的典型部件和机构	105
	固紧刻刀和帶动刻刀的裝置	106
	固紧毛坯和帶动毛坯的裝置	107
§ 21	复制机及刻度机的操作	108
	1. 刻刀的安裝及对中心	108
	2. 毛坯的安裝及对中心	109
	3. 机器部件及机构的校正	109
	4. 影响复制机及刻度机工作精度的各种因素	110
III.	用酸蝕玻璃及复盖在玻璃上的金屬層的方法制造分划	112
§ 22	概說	112

§ 23	酸蝕時玻璃上的保護復蓋層·····	112
§ 24	製造分劃的玻璃酸蝕工藝·····	113
	1. 對酸蝕工藝的要求·····	113
	2. 酸蝕過程的原理·····	113
	3. 酸蝕分劃的過程·····	115
§ 25	玻璃上金屬膜的酸蝕·····	117
§ 26	填充(填色)分劃刻綫·····	117
IV.	製造分劃的照相法·····	119
§ 27	概說·····	119
	1. 製造分劃的照相法原理·····	119
	2. 對分劃底圖的要求·····	120
	3. 對照相裝置的要求·····	121
	4. 對感光膜的要求·····	123
§ 28	製造分劃的照相過程·····	125
	1. 濕火棉膠的過程·····	125
	2. 使用含有鉻鹽的感光膜·····	127
	3. 照相陶瓷分劃·····	129
	4. 用照相酸蝕法製造分劃·····	131
	5. 在矽酸銀的吸附膜上照相·····	131
§ 29	製造分度的機械-照相法·····	134
§ 30	照相倍增法·····	135
第四章	光學零件的清洗和擦潔·····	137
§ 31	概說·····	137
§ 32	清洗材料·····	137
	1. 水溶劑·····	137
	2. 有機溶劑·····	138
	3. 溶劑的再生·····	140
§ 33	揩拭材料·····	140
§ 34	清洗工藝·····	142
§ 35	擦潔工藝·····	143
	1. 分度和分劃制成後的擦潔·····	143
	2. 其它光學零件的擦潔·····	144

导 言

仪器光学系統是由光学零件（透鏡、稜鏡、楔形稜鏡和平面平行玻璃）組成的，这些零件均由透明材料——各种品号之玻璃，有时也用結晶体——制成。

光学零件生产过程中，零件毛坯經過各种加工——割、鋸、銑、磨、抛光，最后达到所要求的形狀、尺寸和規定的表面質量。改变被加工的毛坯的形狀、尺寸和表面質量的工序，称为主要工序。但是光学零件制造工艺还不仅限于这些。許多零件还需要进行特种加工的工序，它們主要是改变已抛光表面的性能而不改变其形狀和尺寸。

这一类工序包括：降低抛光表面光綫反射率（鍍透光膜）；提高表面上光綫的反射率（鍍鏡面）；利用膠合和分子吸引力（光膠①）接合抛光面；以及光学零件表面上的加制分度和分划。

为改变零件表面光綫反射率，在表面上鍍一層或数層各种厚度、各种物理性能的薄膜。在結合制成零件的过程中，膠合層的厚薄和膠合層的性質，零件表面的形狀和尺寸，以及專門的准备工作（尤其是用光膠法接合时），产生着重要的作用。

制造分度和分划是借助于各式各样的方法——从用刀刻分划的机械作用，直到照相酸蝕之类的复杂綜合的分度制造法。

光学零件加工的特种工艺过程与其主要工艺过程大不相同。特种工艺过程要借助于特殊設備，在光学車間有时甚至在車間之外特設的屋子内进行。特种加工所达到的質量，在相当大的程度上决定于被加工零件的表面光潔度。用仔細清洗的方法可使表面清潔，同时这与清洗用的材料和清洗方法有关。因此在本書中敘述了清洗光学零件必要的工艺常識。此外还簡單地介紹了在某些特种加工之后，光学零件的擦潔法。

第一章 光学零件不用零件座的結合法

§ 1. 光学零件結合法的一般概念

1. 零件結合的用途和方式

在仪器光学系統中很少应用單塊透鏡；單塊透鏡通常用来作集光鏡，目鏡的接眼透鏡，以及倍数不高的放大鏡。为保証使光学系統有良好的象質，光学系統的物鏡、轉象系統、目鏡、高倍数的放大鏡和其它零件都由兩塊甚至三塊連接在一起的透鏡組成。这些透鏡，用不同品号的玻璃制成。在复杂光学系統中稜鏡和楔形稜鏡也要結合。

由單塊零件組成复杂零件，有三种方法：固定在座子內並且零件之間有空气隙（图1,a）、膠合（图1,b）和光膠法（图1,в）。光膠是以表面分子結合力为基础的。

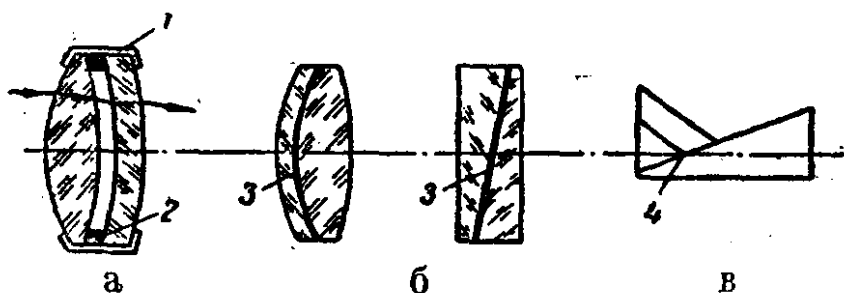


图 1 光学零件用各种方法結合的示意图

1—零件座；2—中間隔圈；3—膠層；4—光膠平面。

第一种方法有着严重的缺点：在零件之間的空气間隙，造成兩次多余的光綫折射，因此增加了光在反射中的損失。

当膠合与光膠时，零件只用拋光面互相結合，此拋光面可能是平面也可能是球面。膠合球面应当有相等的曲率半徑，但符号可不同（凸面和凹面）。

光学零件的結合是很重要的过程，苏联專家 Л. Ю. 庫尔次，Л. В. 謝尔盖叶夫，Н. П. 普希琴，О. С. 格拉姆等在这方面都作了全面的研究。

2. 对零件結合質量的基本要求

結合方法首先对零件的光学性能不应有坏的影响，就是不应增加光的損失和使象質变坏。零件結合以后，也不應該产生表面变形。必須保証：結合有足夠的机械強度，对于温度、潮湿和有机溶剂（汽油、酒精、乙醚）的影响有足夠的安定性。

此外，結合方法应当能夠比較容易地拆开結合得不好的零件。

在整个零件結合的过程中必須保持高度的清潔。因此实行結合过程的工房应寬敞而明亮；通風設備应有阻止灰塵的過濾器；天花板、牆壁、桌子等都塗油漆，地板上鋪油漆布。

每一工作班必須用潮湿的抹布揩抹地板和設備物不少于兩次。

从事零件結合工作的人員，工作时最好穿白色的工作服和專用的鞋子。

§ 2. 用膠合法結合光学零件

1. 对膠合層的要求

为使零件膠合，可在結合面之間加上某一种膠層。为了不使光学系統的光学性能变坏，膠必須具有極大的透明度、很高的光学一致性和与光学零件玻璃相接近的折射率（1.45~1.65）；膠應該是無色而潔淨的。此外还應該符合上述对零件結合質量的共同要求。

膠合質量 下列膠合的質量指标最为重要。

机械強度 膠層應該具有对机械作用的安定性。

当膠合層机械強度不夠时，零件在座子內的变形（在裝配时压力不均匀）就引起膠合層变形，使光波波前畸变，象質变坏。

此外，当膠合的机械強度不夠时，很草率的將零件装入座子內，会使膠層破坏，脱离零件膠合面，引起脫膠^①。

① 原註：詳見第六节“脫膠”。

耐寒性 膠合的耐寒性是指膠合層經受負 $40^{\circ}\sim 60^{\circ}$ 左右的严寒而看不見膠層破裂。

因为大多数膠合剂的膨脹系数大于玻璃的膨脹系数，所以当膠層的耐寒性不足时，就会产生膠層破裂和脫膠。

耐寒的程度决定于膠合材料的性質、膠層的厚度、膠合零件的几何形狀和尺寸及玻璃的品号。

当零件固定在机械的座子内时，膠合的耐寒性即減低，因为座子的金屬的膨脹系数通常大于玻璃的膨脹系数，遇冷时在膠層内引起額外的張力。

抗热性 膠合的抗热性是指在零度以上 $40^{\circ}\sim 50^{\circ}$ 时，膠層不使結合的零件錯开的能力。

如果抗热性低，会引起零件互相移动，中心不对和象質变坏。

抗热性主要与膠合剂的軟化溫度有关；並且随膠層的厚度減少而增加。

膠合零件的变形 不均匀的硬化（例如在冷却或聚合时）使膠層产生張力，使膠合零件（特別是負新月形透鏡）的外表面变形，使象質变坏。这种情况必須在选择膠合材料时考虑到。

2. 膠 合 用 的 材 料

膠合由玻璃制造的零件，可采用天然的銀松树脂①或合成物質新树脂膠②。

晶体，例如偏振稜鏡，用亞麻仁油或某些其它物質膠合。

玻璃和金屬膠合，采用新树脂膠及其改制品。

樹 脂 膠

树脂膠（ГОСТ 2290-43）是由銀松树树汁中所得到的 一种天然树脂。

① 譯者註：原文为“Бальзам”，有譯为“加拿大膠”的。

② 譯者註：原文为“Бальзамин”，有譯为“鳳仙膠”的。

从前在各个国家内膠合光学零件都用加拿大出产的树脂膠，这种树脂膠是由加拿大銀松树的树汁制成的。苏联科学家們創造了从西伯利亞、高加索及远东的銀松树树汁中制成優質树脂膠的方法，苏联光学工業从此就不必再輸入加拿大的树脂膠了。

銀松树树汁是透明的树汁，有粘性的黃綠色液体，有苦味和特殊的气味。它是由松节油（20~34%）和松香組成的。

由树汁制成树脂膠包括下列几道加工过程：溶解在醚中，用水洗淨，干燥，過濾和濃縮。

树脂膠的外观是淡黃色的透明物質。

树脂膠的主要性能的指标列在表 1 內。

表 1
樹脂膠主要性能的指标

指标名称	指标数值	指标名称	指标数值
在20°C时的折射率 n_D	1.52~1.54	比重 d_{20}^0	1.00~1.05
中部色散($n_f - n_c$)	0.0126	綫膨脹系数溫度范围:	
		从-45°~0°	$0.5 \cdot 10^{-4}$
		从0°~25°	$1.5 \cdot 10^{-4}$
		从25°~150°	$2.3 \cdot 10^{-4}$

树脂膠具有很可貴的性能：光学一致性高，能在長時間內保持透明，也就是不会結晶。树脂膠的折射率与玻璃近似，变干时，膠的体积变化很小。用树脂膠膠合，在膠合过程中，产生的变形有办法消除，当膠合不合格时，零件很容易拆开。

树脂膠的主要缺点：机械強度不高，耐寒性不足，光譜紫外綫部分的透明度降低，在正常厚度的膠層，光綫顯著地被吸收（从 $\lambda = 3200 \text{ \AA}$ 起）。

树脂膠的膨脹系数比玻璃的大7~30倍，因此常常形成脫膠。

树脂膠的性能 树脂膠的粘度决定于树汁濃縮的程度，用穿透值表示。根据穿透值，树脂膠分以下几类：最硬（BT），穿透值很小（到10）；硬（T），穿透值为11~30；中（C）穿透值为31~60；軟（M），穿透值为61~120；和最軟（BM），穿透值最大（从191至300）。

为了增加韧性和耐寒性，在树脂胶中加入各种油类作为增韧剂(亞麻仁油、凡士林油、桐油、核桃油)。树脂胶最好的增韧剂是 $n_D = 1.428 \sim 1.485$ 和 $d_{20}^\circ = 0.929 \sim 0.932$ 的亞麻仁油，它的生油經過精制和去色后才可使用。

增韧剂的用量决定于其性能、树脂胶要求的硬度和松节油的含量，每100克树汁中加4~12克。胶合最常采用的是軟的树脂胶。

树脂胶不能含有許的塵粒。根据在5立方公分內允許的塵粒数量，树脂胶分为三級：一級(不多于五个塵粒)，二級(不多于10个塵粒)和三級(不多于20个塵粒)。

树脂胶的标记应包括品号，穿透值和級(根据塵粒数量)；加过增韧剂的产品，还要加标号“II”。树脂胶必須保存在容量約15毫升，干燥而清潔的玻璃試管內。

树脂胶的制造树汁粗加工 树汁需要除去水溶性酸类和各种杂质。將树脂在水中清洗以排除酸，用濾紙及玻璃过滤器等排除杂质。为了减少粘性，便于过滤和用水清洗，可將树汁溶于乙醚中。用水清洗几次在乙醚中的树汁溶液，並为了加速过滤过程，用無水硫酸銅或流酸鈉使其干燥。在最后一次过滤前，將增韧剂加入溶液。

树脂胶的濃縮 使树脂胶达到一定粘度的步骤是用蒸餾法先后排出溶剂(乙醚)和松节油(树汁的揮發成分)。蒸餾分兩阶段进行：开始蒸餾乙醚，然后蒸餾松节油。

图2所示为濃縮树脂胶的裝置略图。將要濃縮的树汁倒入具

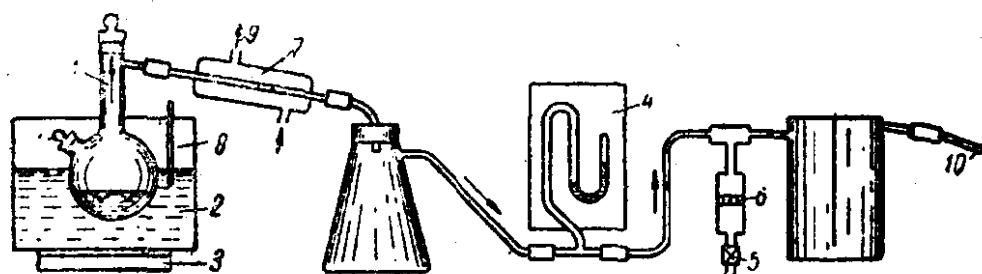


图2 濃縮树脂胶的裝置

1—燒瓶；2—石蜡浴；3—电热板；4—气压計；5—开关；6—过滤器；7—冷却器；8—溫度計；9—冷却器中水流方向；10—与泵連接的管子。

有蒸餾乙醚和松节油用的出口和倒出制成树脂胶用的瓶口的燒瓶

1 內，瓶口用兩個磨砂玻璃塞子塞住。樹脂在石蜡浴 2 內用電熱板 3 加熱。

氣壓計 4 指示使用油抽氣機達到的真空程度。在濃縮過程中氣壓用開關 5 調節。在開動開關 5 時，玻璃過濾器 6 防止灰塵和空氣一同吸入將樹脂膠弄髒。

在溫度 $60^{\circ}\sim 30^{\circ}$ 時（在水流抽氣機工作的情況下）蒸餾乙醚 1~3 小時，在 170° 的溫度中蒸餾松節油 1~6 小時，同時用油抽氣機將氣壓降低到 2~15 公厘水銀柱。

進行一次濃縮一般需要的時間，根據樹脂膠要求的粘度、加熱溫度與真空程度之不同可由兩小時到九小時不等。為提高松脂膠的粘度必須加長濃縮的時間。對於一定硬度的樹脂膠，用加過增韌劑的樹汁濃縮，比沒有加增韌劑的時間要長些。

根據試樣的分析決定濃縮的終止時刻。濃縮過的樹脂膠一定要經過純潔度和硬度的檢驗。

由樹汁所制得的樹脂膠的重量，平均為樹汁重量的 60~65%。

新 樹 脂 膠

由於 И. И. 那扎羅夫教授和 И. Е. 馬羅恩, И. И. 依林, И. В. 斯庫布等工程師在合成樹脂方面的研究工作，他們發現並試制成功一種新的膠粘劑——新樹脂膠，這種膠沒有上面所談到的樹脂膠的缺點。

新樹脂膠為無色而易流動的合成液體（單元體），在聚合的過程中便轉變為硬而透明的淡黃色物質，牢固地粘附在玻璃表面上。根據聚合程度的不同，新樹脂膠可成為液體的，膠體的和固體的狀態。

液體狀態新樹脂膠（不純）為製造膠體狀新樹脂膠所用的半成品，商品名為甲醇。為了避免甲醇變為膠體狀態（聚合），在其中加入 0.25% 的愛吉萊特^①作為安定劑。

膠體狀態新樹脂膠 用於膠合零件，其製造方法是在溫度為

① 譯者註：Аджерайт。