

玻璃与 玻璃熔融

И.И.基泰弋罗德斯基 著

于 忠 丁汝訓 張天祿 譯

建筑工程出版社

玻璃与玻璃熔融

技术科学博士 И. И. 基泰戈罗德斯基教授 著

于 忠，丁汝训，張天祿 译

內 容 簡 介

本書系根据苏联国立建筑材料書籍出版社 1950 年出版的技术科学博士 И. И. 基泰戈罗德斯基 (И. И. Китайгородский) 教授著“玻璃与玻璃熔融”(Стекло и стекловарение) 一書譯出的。

本書敘述了作者在玻璃的物理化学性質及工艺过程方面多年来的研究工作。

本書中列举了有关新品种玻璃的一些資料；同时对于現有的一些熔爐做了批判性的分析，并根据玻璃形成过程动力学的研究，指出了进一步發展玻璃熔融技术的途徑；而且也簡要地闡明了在現代技术中及建筑上应用玻璃的問題。

本書供玻璃工業中及使用玻璃的各个国民經济部門中專家們閱讀之用。

担任本書翻譯工作者为：張天祿(第十三章及第十四章之一部分)，丁汝訓(第四章、第十五章、第十六章、第十七章、第十八章及第十四章之一部分)、于忠(其余各章，并負責校訂全書)。

本書譯稿經吳公慈工程师作了技术上的校訂。

И. И. КИТАЙГОРОДСКИЙ, СТЕКЛО И СТЕКЛОВАРЕНИЕ

ПРОМСТРОЙИЗДАТ (МОСКВА-1950)

玻璃与玻璃熔融

于 忠 丁汝訓 張天祿 譯

1958年2月第1版 1958年8月第2次印刷 746—2,255册

850×1168 • 1/32 • 372千字 • 印張14 • 定价(10) 2.70元

建筑工程出版社印刷厂印刷 新华書店發行 書号1128

建筑工程出版社出版(北京市皇城根外大街)

(北京市書刊出版業營業許可證出字第1052号)

目 录

前 言	6
-----	---

第一部分 玻 璃

导 言	8
-----	---

第一章 現代技术中的玻璃	12
--------------	----

玻璃絲及玻璃織品	12
----------	----

玻璃膜	18
-----	----

光学玻璃	19
------	----

實驗室玻璃	20
-------	----

絕緣玻璃	21
------	----

鱗狀的絕緣玻璃	24
---------	----

电真空玻璃	27
-------	----

仪器玻璃	29
------	----

第二章 建筑工程中的玻璃	31
--------------	----

作为建筑材料的玻璃	31
-----------	----

建筑玻璃	38
------	----

泡沫玻璃	45
------	----

第二部分 玻璃組成的研究和工業上的掌握

第三章 組成簡述	56
----------	----

引 言	56
-----	----

一些玻璃的組成	59
---------	----

第四章 化学玻璃	71
----------	----

846 号 玻璃	71
----------	----

石英型玻璃	74
-------	----

含鋳玻璃	77
------	----

光技术玻璃	89
-------	----

电真空玻璃	89
-------	----

信号灯的可色透鏡	93
----------	----

	硒 紅	97
	銅 紅	102
	光激發光玻璃	108
	紫外綫玻璃	110
	蛋白玻璃	113
	錳玻璃	118
	容器玻璃的着色劑	128
第六章	鋁鎂玻璃	134

第三部分 原料問題

第七章	岩石及代用品	149
	岩石	149
	代用品	160
	粉末狀的氧化硅	169
第八章	原料的除鉄法	171
	化学除鉄法	171
	物理除鉄法	181

第四部分 玻璃熔融的理論与实践

第九章	玻璃的形成过程	183
	配合料加热时的反应	183
	在硫酸鹽配合料中玻璃的形成	196
	硼酸的揮發性	200
	氯化鈉及高嶺土的相互作用	201
	在加热时配合料的除鉄作用	205
第十章	玻璃液在高温下的动态	207
	熔爐气体与玻璃液之間的相互作用	207
	耐火材料及玻璃液之間的相互作用	213
	玻璃液中的气体杂质	
	气相与液相的平衡	
	玻璃液澄清的条件	
	气体杂质的分析	233
第十一章	玻璃液的結晶及玻璃态	243
		249

	玻璃形成的条件	249
	玻璃液的組成对結晶作用的影响	260
第十二章	玻璃液的均匀化	268
	玻璃液对流的液流	268
	玻璃研究所的研究工作	273
第十三章	冷却过程中的玻璃液	276
	玻璃液的硬化速度	276
	玻璃的退火	288
	玻璃的淬火	293
	玻璃的自行淬火	296
	玻璃的膠結作用	301

第五部分 玻璃熔融的原理

第十四章	玻璃熔融的实践	311
	煤气熔爐及其特征	311
	煤气熔爐結構的方案	321
	电热熔爐	340
第十五章	高耐火度的熔窖用耐火材料	348
	用燒制法制得的莫来石耐火材料	348
	結晶氧化硅的高級耐火材料	351
第十六章	玻璃形成条件的研究	375
	引言	375
	硅酸鹽的形成条件	385
	玻璃形成的条件	387
第十七章	玻璃的薄層熔融	396
	堆积加料及其缺点	396
	玻璃薄層熔融的理論	398
	配合料的薄層加料	400
	高温薄層玻璃熔融的方案	410
第十八章	在悬浮状态下的玻璃熔融	416
	在悬浮状态下玻璃形成过程的分析研究	416
	模拟爐	432
	在悬浮状态下玻璃熔融的方案	440

序 言

本書主要是綜合了榮獲列寧勳章的莫斯科門捷列也夫化工學院玻璃工藝學教研室及玻璃研究所在近 25 年來所進行的科學研究工作的結果。

所有的研究工作都是這兩個研究部門的大部分研究人員集體進行的。主要的工作人員除了少數人外都是我的學生：莫斯科門捷列也夫化工學院玻璃教研室過去的研究生，技術科學碩士 В.Г. 古托普、Т.Н. 凱希向、В.А. 李希娜、Г.Г. 辛丘林、Ф.Г. 索里諾夫、И.Д. 狄卡琴斯基；玻璃研究所的工作人員技術科學碩士 В.И. 包坤亞耶娃、С.М. 庫羅夫斯卡婭、В.В. 波爾雅克、А.И. 波林科夫斯卡婭、С.Я. 拉夫、С.В. 羅津、科學技術博士 Н.В. 索洛明教授、技術科學博士 Д.В. 金茲布爾格、М.С. 費多羅娃、М.А. 察利村、М.Г. 切爾納克、Я.А. 什科里尼科夫、結構設計家 В.П. 蘇羅夫采夫以及其他許多人。

把參加這項工作的所有的人都列舉出來是不可能的。

可以有根據地認為本書是集體工作的總結。

我除了指導科學研究工作之外，還擔負了一項任務，就是對所有搜集起來的實驗資料進行整理，並從這些資料中選出所有那些可以幫助最充分利用玻璃工業內部潛力的資料。

科學的成就推動了工業技術的革新。無線電探測、噴氣式發動機，原子核的破裂，生物學及生理學等部門的研究工作，實際上引起了極端特殊的工藝流程，為了實現這些工藝過程就必須有特殊的儀器、裝置和設備。

這些研究工作需要利用高頻率的電流和數以百萬伏特計的超高電壓，還要利用超高溫及巨大的壓力。

工業上製造這些儀器與設備時，必須要有能夠符合最嚴格的

标准和条件的材料。

玻璃与陶瓷在这方面起着特殊的作用。

将来，玻璃作为建筑与结构材料将起着不小的作用。为在建筑工程中广泛采用玻璃奠定经济基础，这就必须依靠生产过程最广泛的机械化与自动化，应用天然岩石作为原料和降低单位燃料消耗量以大大降低玻璃的生产成本。

苏联学者的多次研究工作和最近几十年来苏维埃工业的丰富经验，在很大的程度上已准备好了解决所有这些任务的条件。

综合解决各种新问题，利用相近科学部门的理论及实践的最新资料，以及摒棄许多世纪所确定下来的一些经验方法，就是进一步发展玻璃熔融技术的途径。

本书的目的是：以简短概括的形式给在工作中使用玻璃的读者们指出玻璃在近代技术中的价值，并使工艺学家注意工艺过程的关键问题，这些关键问题的解决将使玻璃工业提高到更高的水平。

这种目的能达到如何的程度，这将由读者加以评判。

第一 部 分

玻 璃

“在你面前所尽情歌唱讚美的既不是珍贵的宝石也不是黄金而是玻璃”（摘自 M. B. 罗蒙诺索夫给 И. И. 舒瓦洛夫的来信中）

导 言

现代建筑物若没有可透过陽光的玻璃窗那是不可想像的，但远在二百年前窗玻璃还不是仅仅被認為是奢侈品嗎！

晚上，电灯給我們帶來光亮，克列姆林宮紅星的光輝透过奇丽的紅宝石玻璃，燦爛地照耀在莫斯科的上空。日常生活中圍繞我們的玻璃制品是不胜枚举的：杯子、罐子、水晶玻璃花瓶、盤子、小口瓶、高脚玻璃杯、小彫像、項圈、玻璃珠子以及近代的燗鍋和炒鍋。

玻璃的历史可追溯到古代。流傳着这样一种傳說：一次，硝石商販遇到了暴風雨，他們在一个海灣里躲避恶劣的天气。在这人烟稀少的海边上，他們在既細又純的砂上燃起了篝火。有一部分載运的硝石堆积在篝火的旁边。翌日，他們在准备动身时發現在剩余的灰燼中有發光的小塊，他們詫異地进行了研究。透明的小塊与珍贵的宝石相似，但它沒有宝石的性質。这就是玻璃。

由古墓的發掘証明：远在四千年以前，在埃及就知道了玻璃裝飾物。后来在里馬开始利用細石英砂、硝石和其他附加物来熔制玻璃。但是制造玻璃的秘訣是严格保密的。高脚玻璃杯的价格比金盃的价格还高。

到十八世紀时，在欧洲开始制造出粗笨的器皿，并且开始在玻璃熔爐中来熔制玻璃。仅在意大利威尼斯附近的慕拉納島上曾制造最精細的艺术品。但是用下面的法律保守了这种技艺的秘密：

“假如任何一个工人或工匠把他自己的技术由威尼斯帶到 其他的地方……即下令將其召回。如果他坚持留在異乡时，即派人前往將其处死”。

法蘭西的部長考貝尔决定偵察出慕拉納島的这种技艺秘密。在黑夜里，有一些工匠从此島上逃至法蘭西。考貝尔很巧妙地把他們隱匿起来，經過几年后在諾曼第的森林中开办了生产鏡玻璃的工厂。

在上千年以前，一个不知名的工匠用透明的純潔玻璃第一次制成了眼鏡。

罗蒙諾索夫写道：

十分痛心的是失掉了多少寶貴的贖物！

煩悶的長期黑暗，沉重的苦惱：

……只有玻璃使我們在枯燥生活中获得安慰，

借助于人們双手的技艺，

使我們的視力通过眼鏡而得以改善！

在十七世紀，在欧洲的好些地方几乎同时兴起了許多小型玻璃工厂。在俄国第一座工厂是建筑在莫斯科附近的莫日伊斯基县。在彼得一世的时期又建設了几个这种企業。出現了俄羅斯的工匠——玻璃吹制工。外国人都竭力保守他們自己的秘密。但是在俄国人中找到了創造家，他們不仅能独立地揭开了玻璃製造的秘密，而且將其改善了。

第一个就是罗蒙諾索夫。他不仅是偉大的学者、哲学家、詩人、自然科学家、历史学家，而且还是卓越的玻璃製造家。有一次罗蒙諾索夫看到了用許多有色玻璃做成的拼鏡肖像，就決定自己做一幅拼鏡圖画。他进行了兩千多次有色和白色玻璃的熔制工作。經過五年的頑强劳动之后，罗蒙諾索夫完成了他自己的工作。他的壯丽的多种顏色拼鏡的圖画“波尔塔夫斯基战争圖”——俄国人民光荣战争的標誌——全部嶄新而清晰地保存到今天。

还在廿世紀初期，玻璃吹制工的劳动仍是吃力而且繁重的工工作。万能玻璃製造机器的發明，就引起了进一步的技术革新。在

几年的期間內，生产中所起的变化远大于过去几千年中所起的一切变化。

在苏联斯大林五年计划的年代里，玻璃工厂改观了：他们用先进的技术装备起来了，并且用机器来生产成品（其中也包括窗玻璃）。

众所周知，光学在發展現代科学与文化方面起着如何巨大的作用。研究各个行星和整个宇宙的结构与其化学组成的天文学，其發展与光学透鏡及鍍玻璃密切相关。对于接近我們的宇宙范围揭露得愈远，則人們对于宇宙的秘密了解得就愈深。

医学上的成就沒有玻璃制品將是不可能取得的。我們可以忆及放出的光綫能与太陽光相等的那些 X-光管和石英灯。

难道可以設想生理学家或細菌学者能沒有显微鏡嗎？因为只有显微鏡的細小晶体透鏡才能揭露为簡單肉眼所不能看見的微生物生存的巨大世界。显微鏡在人类抵抗不能看見的敌人——微生物——的斗争上是人类的强有力的武器，并且也能帮助我們利用有益于人类的細菌。

当提到“玻璃落地”时，我們立即想到閃爍發光碎片的响声。但是現在在我們向面前是一塊玻璃板，并強力往上投擲生鉄砧碼，砧碼就像打在金屬板上一样溜到旁边，这块透明的玻璃依然十分完整，这就是鋼化玻璃。它是經過特殊的淬火即強烈地將其加热后迅速地予以冷却的玻璃；是具有彈性和韌性的。

人所共知，当把冷的杯子移近火焰时，就会破裂。科学家们改变了普通玻璃中物質的組成。玻璃就具有奇異的性質。假如用此种玻璃制成的杯子盛上沸水后，放入冰水中，它仍然是完整無恙的。可以用玻璃燉鍋和煎鍋在強烈火焰上做食物。

現在，在大型建筑物中，建筑玻璃与建筑裝飾玻璃佔有愈益重要的地位。由于玻璃机械强度的提高，就有可能用来制造玻璃板、玻璃塊。可用它們建造多層房屋、厂房和倉庫。这里光綫充足且可以很好地保温。

能漂浮的玻璃好像是反常的現象：但是泡沫玻璃則像軟木一

样在水上漂浮。在建筑中以及在工业中它毫无疑问地得到了最广泛的用途。

显然，任何一种用来缝制衣服的纺织品都是用一种最细的线——例如丝——来制成的。但是我们在自然界所找到的最细的线是蜘蛛丝。假如把玻璃加热后迅速地拉引时，则可以得到为肉眼所不能看到的玻璃丝——它比蜘蛛丝还细 $1/5$ 。当这种丝制成后，它们的性质就是非比寻常了。用它们来捻成粗如手指的细绳时，其荷重可达数吨。

利用现代的机器所制成的最细的玻璃丝可以织成纺织品。它们是柔软而坚固的丝，既不怕火又不怕水。

伟大的俄国学者罗蒙诺索夫对于普通玻璃的重视有过于贵重的宝石。在给舒瓦洛夫的信中写道：“对于物质的这种想法是不正确的，舒瓦洛夫，即认为玻璃比不上矿物，这是受迷惑的光线照迷了眼睛。它的用途不少，美丽也不差”。他指出发展玻璃工业的原料藏量极为丰富，而且他说在人类文化的发展上玻璃是起着巨大作用的。

伟大罗蒙诺索夫的预言得到证实了。玻璃在我们的生活中具有不可估价的意義。毫无疑问，在最近数十年里，玻璃、陶瓷、有机玻璃及硅的有机化合物在苏联国防上和国民经济中的重要性并不次于金属。

第一章

現代技術中的玻璃

玻璃絲及玻璃織品

在玻璃制品的工藝過程中，玻璃的成型過程是主要的和具有決定性的過程；而玻璃液的硬化速度尤具重大的意義。

硬化速度与許多因素的相互关系，首先为苏联的研究工作者在1933年所确定[1]。

在玻璃絲的製造過程中，凝結或硬化時間對於玻璃的結構應有一定程度的影响。因而也影响了玻璃的性質。

玻璃絲製造工藝的基礎，就是將直徑約為1—2毫米的玻璃液細流進行超速拉引。

在玻璃液具有一定的成型性能時，進行這樣的超速拉引玻璃絲並使它不發生拉斷是可能的。

如玻璃絲的直徑由15微米縮小到2微米或用石英玻璃代替硅酸鹽玻璃時，則玻璃絲的強度即顯著增加。

勻調性与所需的硬化速度是此項細致工藝過程的決定性因素。玻璃絲愈細，則其結構愈益接近纖維材料，用它制成的玻璃絲織品也就可以具有更堅韌更柔軟的特性。

在玻璃絲表面上形成的超微裂痕与缺陷（包括非玻璃質，灰塵等等）對玻璃絲的強度方面當然發生影响，因此在玻璃絲的生產上就要求極度清潔的環境。

玻璃絲在各種技術上得到了愈益廣泛的應用，因為玻璃絲制品具有化學穩定性及高度介電性，可用於隔熱和隔音；可用於過濾液体与氣體；並可用於電絕緣及某些裝飾的目的。

玻璃絲是以蓆狀和板狀用於熱絕緣中。板的尺寸最通用的是600×750×100毫米。玻璃絲制的條帶用瀝青為粘合劑將其一面

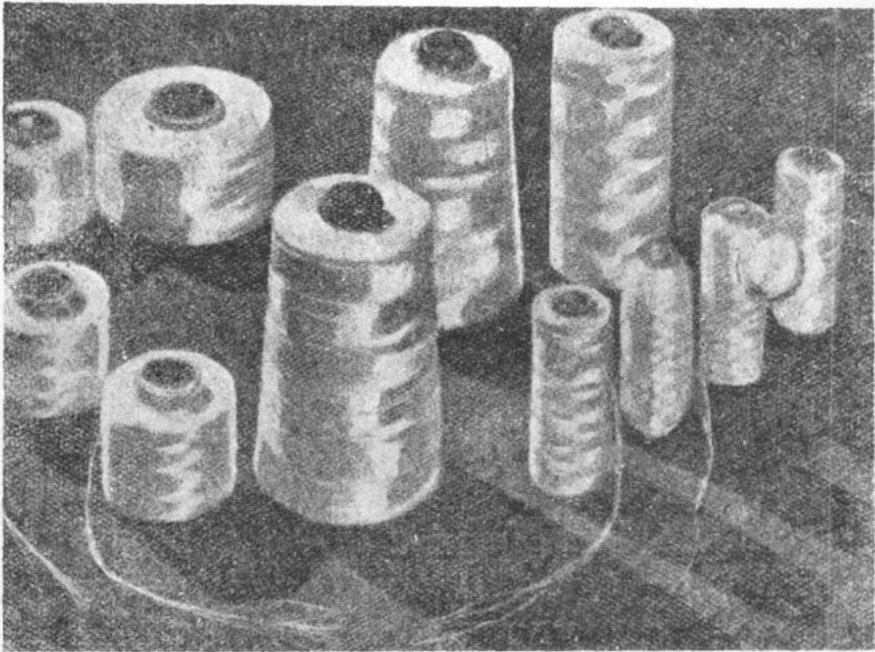


圖 1 玻璃絲

糊上紙。也制备了兩面糊封的条帶而应用于冷藏室的隔热上（是低温下所用的材料）。作为隔热用的玻璃絲直到 500° 时都能保持稳定。其制品也可以制成管狀，用于管道、烟道等等的热絕緣中。

为了供船舶隔热之用，將玻璃絲編成長帶狀，其尺寸为 $1500 \times 600 \times 150$ 毫米。

將兩層压制过的玻璃絲蓆狀物嵌在金屬框中可以濾除空气中之灰塵及煤烟。当玻璃絲過濾器的單位過濾能力为每分鐘每平方厘米 600 立方厘米时，則此過濾器每分鐘即可以過濾空气 7 立方米。

供給电气絕緣用的玻璃絲不应帶有碱性。無碱玻璃的特点为：具有高度介电性能，高化学稳定性以及高軟化点。玻璃絲用来作为电气絕緣物可以制成条帶（縹帶）形狀，其寬度由 10—38 毫米。此条帶非常堅韌，可以应用在：電纜繞組、电动机繞組、

發電機繞組、變壓器繞組以及其他電氣設備的繞組上。由於此種電絕緣材料的不燃性及本身的重量又很輕，因而在電機製造中就成為不可缺少的材料。為了適合某些電氣絕緣材料之要求，也可以在應用時配有雲母的玻璃絲織品。此種絕緣物的介電性能，較單純的玻璃絲織品高。在蘇聯，由於 М. Г. 契列雅克、М. С. 阿斯拉諾娃及其他等人的研究[2]，使此類電氣絕緣材料的製造技術得到改進。

同時，也改進了許多有色玻璃絲的製造方法。

要製造與一般有色玻璃具有同樣色度的有色玻璃絲，則玻璃絲的着色強度，應為一般有色玻璃之 200 倍（約數）。其中加入氧化鈮。這樣獲得一系列顏色鮮明的有色玻璃絲，由鮮艷的金黃色到淺紅棕色、深棕色以至黑色。

茲將製取不同顏色的玻璃絲的一些典型玻璃組成介紹如下。

最近已開始採用玻璃絲織品來製造飛機的機身。在 1944 年試驗了用玻璃製成機身的外殼。與同重外殼飛機比較，玻璃制的

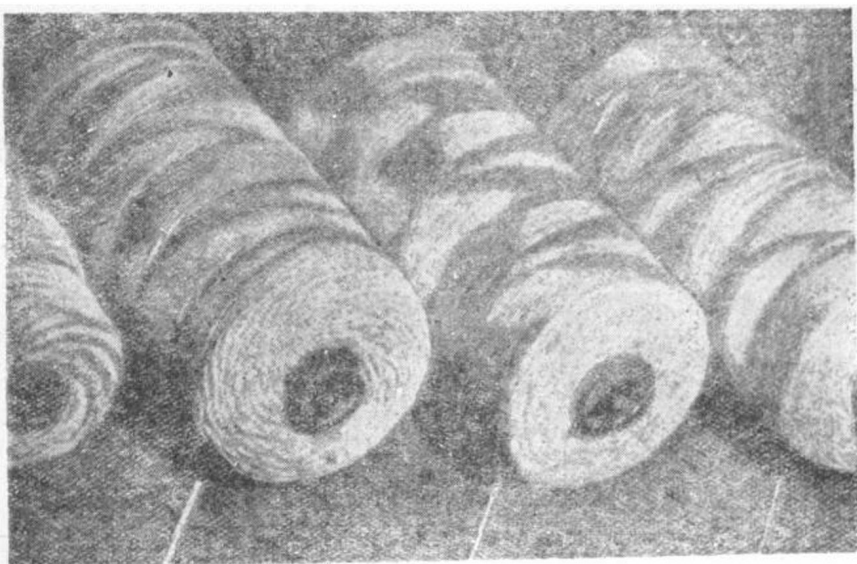


圖 2 玻璃絲

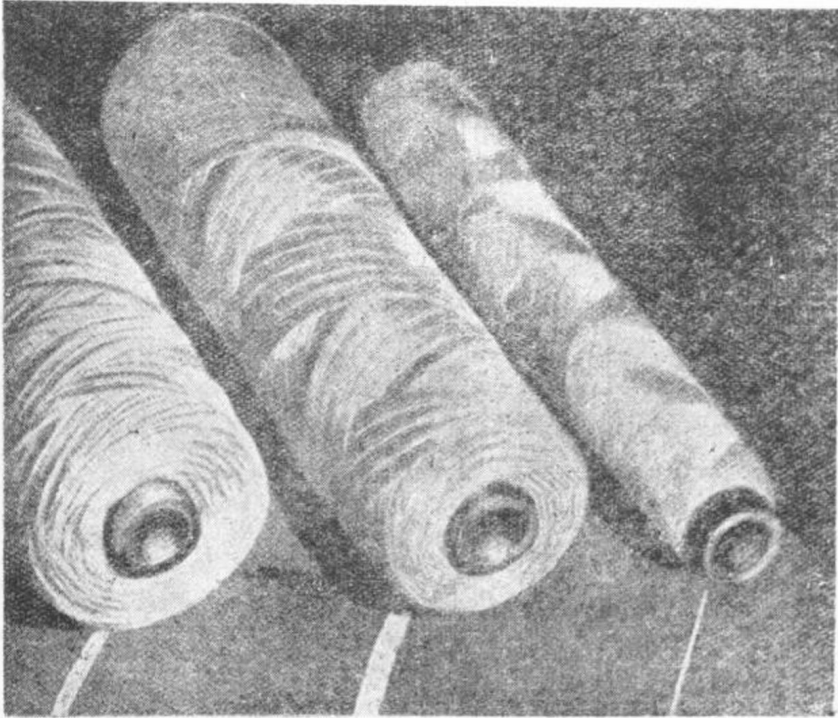


圖 3 玻璃帶

較之金屬制的堅固性大50%，較之木制者大80%。此種機身的製造方法如下：將玻璃絲織品放在自動塗底機上浸以樹脂，然後再往與飛機部分骨架外形相應的模型板上鋪敷數層。

模型板可以用木板做成，也可以用金屬或塑料制成，可使用多次，當所有各層浸漬過的玻璃絲織品都已完全鋪於模型板上之後，切去邊緣上露出的多余部分，並全部被復上一層橡膠。俟氣泡排出後，在 120° 的溫度下將制成品硫化數分鐘。

制得成品的成分為60%玻璃及40%樹脂，其比重與鋁相同。

對製造飛機機身的玻璃絲織品曾作過槍砲射擊的試驗。用這種玻璃絲制成之平板，當其厚度為6毫米時，從直角方向射來之槍彈不能穿透。

下一步即製造飛機的骨架，骨架之中心並不是完整的一大

有色玻璃絲的組成 (以%計)

表 1

玻璃組成	絲 的 顏 色				
	金 黃 色	深金黃色	棕 色	紅 木 色	黑 色
SiO ₂	50	60	60	55	53
Al ₂ O ₃	15	10	10	10	8
CaO	12	12	8	9	—
MgO	2	5	5	4	—
B ₂ O ₃	10	—	—	—	—
CoO	—	—	—	—	5
CuO	—	—	—	9	8
MnO	—	—	—	—	4
Fe ₂ O ₃	—	—	4	—	3
V ₂ O ₅	11	11	11	11	15

片，而是一種玻璃塑料的蜂窩體。1945年已用玻璃塑料制成了這種外殼，而其中心即系用這樣的蜂窩狀玻璃塑料所構成。這種機身經過試驗的結果，與杜拉鋁相比，假如杜拉鋁的荷重強度為100%時，則玻璃塑料制的機身，其荷重強度將為156%。

蘇聯A.K.布勞夫[3]對於用若干有機物粘合的玻璃絲的堅固性曾進行了多年的研究工作。

結果發現了玻璃塑料中含有75—77%玻璃絲時最為堅固；其抗拉強度為96—102 千克/平方毫米。

所採用的玻璃組成如下：SiO₂——72.16%；Na₂O——17.23%；CaO——9.26%；MgO——0.32%；B₂O₃——0.97%；玻璃是放在鉛坩堝內，經過鍋底的小孔（孔徑1.5 毫米）拉出玻璃絲，其速度為每秒鐘360 厘米，絲的直徑為12 微米。

玻璃絲纏繞在轉鼓上并塗以塑料。製成之玻璃帶長90 厘米寬25 厘米。使用白明膠的絲帶具有最大的柔軟度，而白明膠對水則不穩定。使用多元醇酯和乙烯基粘合劑時，得到的效果最好。