

光测弹性力学译文集

科学出版社

內 容 簡 介

本文集收集了俄文及英文文献中有关三向光测弹性力学方面的十篇論文,其中有方法和理論方面的研究成果,也有模型材料和应用方面的研究結果。

光測彈性力学译文集

天津大学材料力学教研室編譯

*

科学出版社出版

北京朝陽門大街117号

北京市书刊出版业营业許可証出字第061号

上海市印刷六厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店經售

*

1964年12月第一版

开本:850×1168 1/32

1964年12月第一次印刷

印張:7

印数:0001—4,250

字数:182,000

統一書号:13031·1980

本社書号:3062·13-1

定价:[科七]1.20元

譯 者 序

近年來我國實驗應力分析的研究工作得到了迅速的發展，並且已取得了很大的成績，特別是應力分析的光彈性方法在工程實踐中已得到廣泛的應用。許多高等院校和研究機關都已建立了實驗設備並且掌握了實驗方法。但是，三向光測彈性力學研究還不十分成熟，所以有必要介紹一些國外的文獻，以供有關的研究工作者參考。

這本譯文集收集了俄文及英文文獻中有关三向光測彈性力學方面的十篇論文。其中有些是方法和理論方面的研究成果，有些是模型材料和应用方面的研究結果。

第一篇介紹蘇聯機械研究所新採用 $\Phi\Delta 6-M$ 材料製造模型的問題。第二篇是关于現有三向光測材料的綜合評論，也涉及到用這些材料研究彈性及塑性等方面的問題。

第三篇到第八篇講述三向方法和理論問題。其中包括凍結法，三向剪應力差法，確定有效應力和最大剪應力的立方體法，確定主應力方向的萬能旋轉台的使用，散光法以及用立體模型研究應力的理論等問題。

第九篇是凍結法在動載荷中的應用。第十篇討論用橡皮模型研究有限變形下的應力問題。

本文集可供力學工作者和機械、土建、水利等強度研究人員，工程技術設計人員和高等院校教師參考之用。

參加本文集翻譯工作的有賈有權(第五篇)；蘇翼林(第四、七、八、九篇)；高瑞亭(第一、三、十篇)；張守鑫(第二篇)；楊慶齡(第六篇)。并經賈有權及蘇翼林最後校閱。

由于譯者水平有限，譯文可能有錯誤之處，希讀者多多予以指正。

天津大學材料力學教研室

ABG 65/9 06

目 录

譯者序	(iii)
由新的光学灵敏材料 ЭД6-M 所制的用于偏振光法研究应力的模型	Н. И. 普利高劳夫斯基, А. К. 普萊斯, М. Ф. 鮑克什坚, Н. А. 庫波勒雅考娃 (1)
平面与空間模型的有光学效应的透明材料	 Н. И. 普利高劳夫斯基 (33)
用“冻结”法确定应力	А. К. 普萊斯 (46)
三向光彈性应力分析的普遍方法的特殊研究	 М. М. 弗罗赫特, Р. 吉印賽, Jr. (76)
从光彈性模型中取立方体来确定有效应力及最大切应力	 J. S. 布洛克 (110)
在三向光彈性模型的一点上确定主应力差	 Н. Т. 吉沙普, М. К. 威尔斯 (120)
用散光法研究应力	М. Ф. 鮑克什坚 (131)
在立体模型中研究应力的問題	В. М. 普勒士卡 (183)
应用“冻结”法确定旋轉模型的应力	 А. К. 普萊斯, Ф. А. 哥拉宁柯 (190)
橡皮在有限变形下的应力研究	Г. И. 菲利德曼 (203)

由新的光学灵敏材料 ЭД-6-M 所制的用于 偏振光法研究应力的模型

Н. И. 普利高劳夫斯基 А. К. 普莱斯

М. Ф. 鲍克什坚 Н. А. 库波勒雅考娃

研究平面及立体透明模型应力的偏振光方法的广泛采用，目前还受到制造光学灵敏材料的复杂性的限制^[1-3]。由于采用了以环氧树脂 ЭД-6 为基的新材料来制造模型就消除了这个限制。环氧树脂 ЭД-6 是由莫斯科塑料研究所制成的，并且目前已在苏联进行生产。

环氧树脂 ЭД-6^[4] 是适合做透明模型的。用失水苹果酸酐作为硬化剂，其用量为树脂重量的 30%，所得到的光学灵敏材料以牌号 ЭД-6-M 来表示。

其他牌号的环氧树脂也曾应用过。树脂 Э-40 与 ЭД-6 类似，也可作为光学灵敏材料的成份。这种材料以牌号 Э-40-M 来表示。树脂 ЭД-5 在硬化时加入 30% 失水苹果酸酐，所得到的材料有较低的“质量系数”。故它需用 35% 的失水苹果酸酐来硬化。这时所得到的光学灵敏材料以牌号 ЭД-5-M 来表示。

平板、块体的制造及成型鑄造

模型的模子 树脂应在模子中硬化，模子要作成所需的模型尺寸及外形。

图 1 给出了鑄造材料的标准模子的草图。造平板的模子 (图 1, a) 是可以拆卸的。为了使板子具有光学平滑的表面，应按光学上的要求来磨模子壁。使用包有铜表皮的抛光钢板作为模子壁也可以。只使用一次时，可以利用高级玻璃作为平面模子的表面。在模子的侧壁和下壁装置已校准的垫层；为了封闭，应在模子的三

面糊紙。

矩形和圓柱形的模子,最簡單的是用白鉄皮焊制,在各边留有5—10毫米的余量,为了使作好的块体容易脫模,可使模子的下部略小(图1, δ 及 θ),但經驗表明,这并不是必須的,尤其是对于大模型,因为材料在硬化时有些收縮,使块体自然与模子脫开了。

鑄型能節約材料和加工時間。在比較突然的轉变处,对于真实尺寸而言,在边上至少应当留有5毫米余量。模子外壁可以用白鉄皮制成。若在鑄型时希望有腔腔,模子的內壁应作得具有彈性,因为在硬化时由于材料的收縮将发生很大的內应力,使块体可能开裂。

在图1, ϵ , δ 上所示的模子能很好地鑄造筒形和杯形的块体。內壁用鉄皮作出柔順的橫条,蒙上厚紙(δ)或海綿橡皮(ϵ)以保証內壁的彈性,或者蒙上一种白鉄皮作骨干的橡皮管也可以。对所有的情形,內壁都要敷上一层三乙酸甘油酯薄膜,树脂并不与此膜粘結。薄膜的接縫可用三乙酸甘油酯溶于丙酮的溶液来作成严密的迭接縫。为了更可靠起見,可用两层这种薄膜相互套起。为了使模子內壁与底部紧密連接,可在模子內涂一层約5毫米厚的伯醇胶。經過一昼夜后此胶即变硬。

当制造的块体或模型具有內腔,而此內腔难以进行加工时(图1, ν),澆鑄之前将相等重量的硝酸鉀和硝酸鈉的鑄块固定在需要的位置,在树脂硬化后硝酸鉀和硝酸鈉的鑄块极易被水溶解。

为了提高鑄块的强度可以用細金属絲加强。

因为环氧树脂与可以作模子的許多材料(玻璃、金属、木材)具有很强的粘着性,故模子壁應該經過专门处理以使制成的材料容易脫模。

处理金属模子壁时采用牌号为 CKT 的10—15% 有机硅橡胶溶液,或者是聚异丁烯溶于甲苯,或汽油中的溶液^[10]。

在采用有机硅橡胶溶液和聚异丁烯溶液时,模子內壁清洗去油后在60—70°C 的烘箱中保温,然后用溶液刷洗,并放入80—90°C 的烘箱內1—2小时(至完全烘干)。这种处理要作两次。当

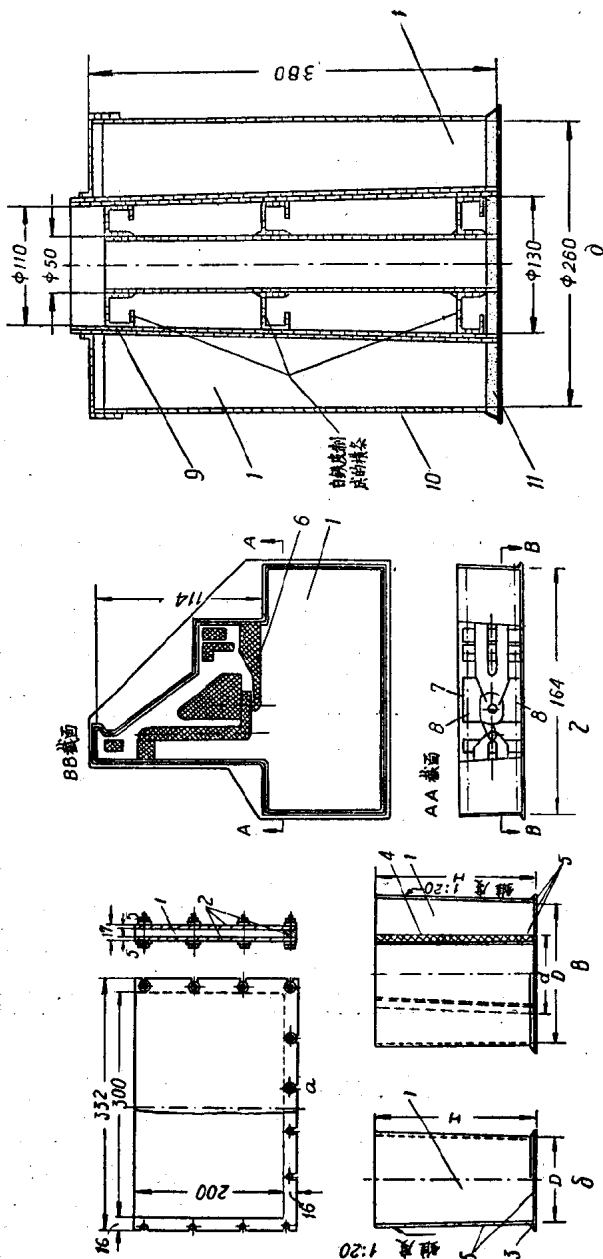


图1 铸造透明平板和块体用的模子

a——铸造透明平板的模子；6——铸造实心块体的模子；e——铸造筒形块体的模子；1——铸造具有封闭内腔模型的模子；
 1——注入D16-M材料的空间；2——红铜；3——焊接头；4——5—10毫米厚的海绵橡皮；5——保证树脂脱开的覆盖层；6——可
 溶解的盐；7——模片的水平面；8——模型加工表面；9——两层三乙酸甘油酯薄膜；10——白铁皮模子；11——变硬的伯醇胶层。

烘烤模子时不应把烘箱門关闭,以免溶媒蒸汽发生燃烧。

可用新鮮的 0.5—1% 的三乙酸甘油酯胶片溶于純丙酮(化学純)的溶液涂玻璃表面。将去油的玻璃浸沒在溶液中,然后在室温下风干;这样处理重复两次。在干燥后形成极薄的三乙酸甘油酯薄膜,这层薄膜并不影响玻璃表面的平整,同时也足以防止树脂与玻璃的粘結。

涂任一种溶液的工作都应在通风橱内进行。

材料的制造 把桶中的树脂 9Д-6 用烘箱或水浴加热到 70—80°C,取需要数量倒入瓷的、玻璃的或白鉄皮的容器中。把預先秤好的失水苹果酸酐在封閉的涂釉容器內利用煤气炉熔解。待失水苹果酸酐全部熔解后(在 51°C),立即很快地将其倒入預热的树脂中,并小心地攪拌。經過 5—7 分钟的攪拌后,将材料倒入热至 60—70°C 的模子里。把注有树脂的模子用盖子盖好,随后放到 40°C 的烘箱中硬化。

处理树脂及失水苹果酸酐的所有工作,必須在通风橱中进行;要戴胶皮手套。在制造大块鑄件时,若通风橱不能保証充分的防护作用时(由于失水苹果酸酐蒸汽的作用,立即能引起鼻子和眼睛粘膜的损伤)应利用防毒面具。

聚合 环氧树脂和失水苹果酸酐在聚合(硬化)过程中放出热,遇到顏色很暗的树脂时(是由低质量原料制成的),在其与失水苹果酸酐混合之后,不再加热即可使块体内温度增至 100°C,經過两小时即可硬化。純环氧树脂(淺棕色、透明)与失水苹果酸酐混合后,在烘箱中逐漸升温下进行硬化。当烘箱升温过快时,反应时放出的热会使块体内温度升得过高。可以采用 130°C 作为材料允許温度的上限。

作为例子,图 2, a 和 б 給出了二个块体材料在 1.5 昼夜期間聚合时外部及内部温度状态的图形,其内部温度升到 140°C。这样得到的材料发脆,也不透明。这两个块体如在較长的時間下(經過四昼夜)硬化,則便能获得很好的材料。应当极力設法使块体内得到較平緩的温度状态,尤其是大块体。为此在材料形成胶状

之前，必須使鑄塊保持在 $55-60^{\circ}\text{C}$ ，并且只有在形成胶状后烘箱才开始升温。

为得到坚固透明的光学灵敏材料，聚合速度必須用烘箱的温度加以控制，使得鑄塊内部的温度(用热电偶测量)緩慢上升，并且不要超过上限温度 130°C 。材料聚合的最好温度，不仅与采用的树脂性质有关，而且与块体尺寸也有关系，尺寸增大时聚合过程应

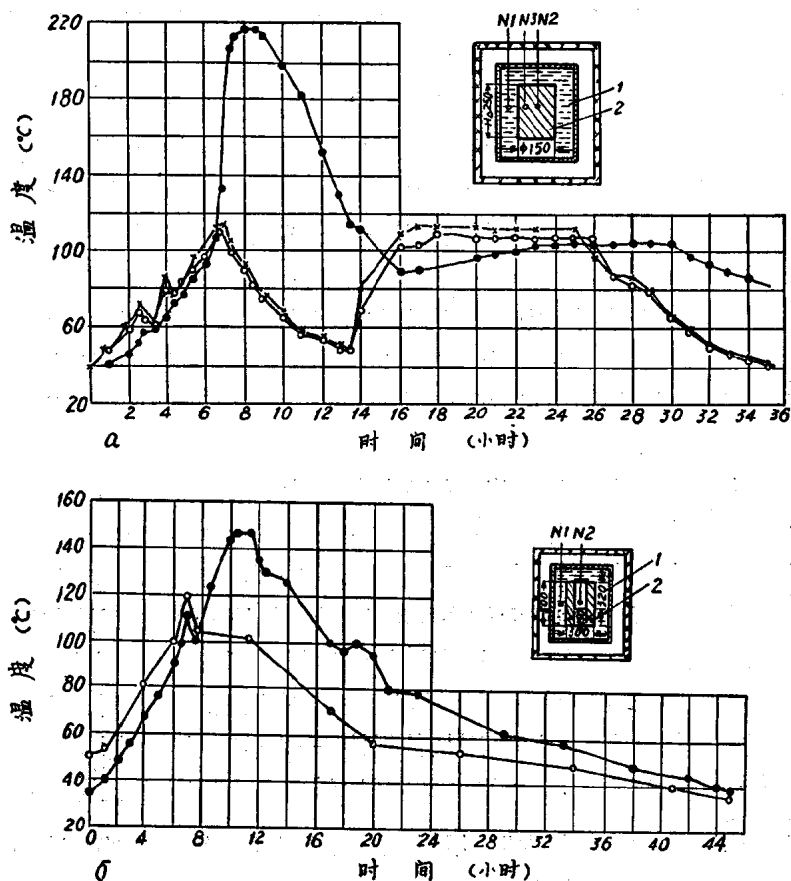


图2 大块体在聚合时的温度状态曲线

α ——圆柱试件，直径150毫米，高250毫米。

β ——杯状试件，外径300毫米，内径130毫米，高度500毫米。

該加长。

对純树脂 ДЛ-6 材料的硬化,烘箱內的大致温度控制可以推荐如下:

1. 厚度达到 10 毫米的板子:温度从 50°C 在 9 小时内平緩升至 100°C ; 在 100°C 保持 6 小时; 在 12 小时内从 100°C 平緩降到 25°C 。

2. 大块体(直徑达到 300 毫米): 在 50°C 使材料保持到胶状(約两昼夜); 从 50°C 以每小时 5° 的速度升温到 80°C ; 在 80°C 保持 2 小时; 再从 80°C 以每小时 5° 的速度升温到 100°C ; 在 100°C 保持 24—36 小时; 再从 100°C 以每小时 5° 升到 120°C ; 在 120°C 保持 10—12 小时; 然后从 120°C 按每小时 2.5°C 降温到 50°C 。烘箱停止給热使材料冷至室温。整个过程延續将近 6—7 昼夜。

在硬化过程中烘箱的温度允許在 $\pm 10^{\circ}$ 的限度內变动。为了使整个体积內的温度更为均匀, 以及使温度随时间的改变更为平緩, 可在油槽中[在“瓦波尔油”(вапор)¹⁾中]搅动油的情况下进行硬化。

退火 从模子取出的板和块体, 为了消除其殘余应力及稳定材料性能要經過退火。在退火之前, 将板边切去 5 毫米, 块体表层(外皮)切去的厚度不要小于 3 毫米。在烘箱中退火时, 把板平放在玻璃上, 块体的寬面放在玻璃上(最好将块体浸在“瓦波尔油”中)。对于平板, 烘箱中的温度按每小时 50°C 升温, 对于大块体按每小时 10°C 升温。为达到材料完全热透, 在温度 130°C 时, 对平板来说要保持 0.5—2 小时, 对块体保持 1—6 小时, 具体時間視板及块体的殘余应力大小、外形及其体积而定。降温应比升温慢, 慢到 $\frac{1}{2}-\frac{1}{3}$ 。在大块体退火时, 用鋸齿形式降温是有益的, 这样能使块体不同点的温差减小。

机械加工 由 ДЛ6-М 制成的板和块体, 和由其他光学灵敏

¹⁾ 瓦波尔油是一种过热蒸汽油——譯者注。

材料制成的板及块体，用相同的方法进行加工；象用手锯、車削、銑、钻孔、研磨和拋光等。硬化了的 $\Theta\Delta 6-M$ 材料，用这些方法可以很好加工。

粘結 按照莫斯科塑料研究所的推荐，模型各部件的粘結，可用由环氧树脂 $\Theta\Delta-6$ 或 $\Theta\Delta-5$ 与硬化剂多胺聚乙烯（重量是树脂的 6.5%）的合成物来粘結，此合成物在室温下硬化。用环氧树脂作成的胶在工业上已广泛采用，这种胶具有很高的强度，并且在粘結时也不需要加很大的压力。为使树脂較稀，可以加 10% 的丙酮。

冷硬化的粘結縫，經研究后指出它不产生初始光学效应，并且其断裂强度极限为 100—150 公斤/厘米²。热硬化粘結縫在断裂强度极限为 300—350 公斤/厘米² 时，在模型粘結附近产生初始光学效应，其值为 1 厘米厚的模型产生 1 級条紋。

在粘結处用丙酮或酒精擦洗。在热硬化情况下，将模型部件的粘結表面热至 60°C，在此表面上涂以同温度的液体胶层。被粘結部件用重物压住，并在 120°C 下保持 5—24 小时（随粘結部件的厚度而定）。在冷硬化情况下，涂胶的表面，在室温下保持到“脫胶”，然后再涂第二层，并重新使表面保持到“脫胶”，然后用重物或螺旋卡具使它們彼此压紧（压力 3—5 公斤/厘米²），并在室温下保持 24—36 小时。为提高粘縫的强度，粘接的部分在温度 50°C 下經過 2 小时的热处理是有好处的。

鑄出的块体或模型，当硬化时在其表面形成一层厚度小于 1.0—0.5 毫米的表皮，其性质与材料的其余部分有一些区别；从表皮到材料内部性质的转变是逐渐的。这层表皮影响到材料的初应力及材料的退火。从块体边缘切下尺寸为 140×30×7 毫米的試件（試件 A），经过实验检查，得到下列结果：当試件存在表皮时，在 135°C 經 6 小时退火之后，沿周界长边方向具有的干涉条紋从 3.0—3.5 級减低到 1.5—2.0 級；在試件中部条紋序数等于 1，实际上沒有改变，只是受力范围减小了。

从同一块体切出另一試件 B，在試件的长边銑去深度为 5 毫

米的一层。退火之前在試件的长边深度为 7 毫米的附近观察有 2.5 級条紋,而在中間部分观测有 1 級条紋,并且受力范围的宽度約为試件 A 的 1/2。在試件 B 中 $m=1$ 的区域的縮小是由于将表皮銑去后在材料内部引起应力的重新分配,而在边缘有較高的条紋是由于銑切时燒灼所致。試件 B 与試件 A 同时退火之后,其边界上的条紋降到 1.5 級,此时 $m=1$ 的条紋是在距边缘 0.5 毫米的距离处出現,这就是在加热时,ЭД6-M 材料表面出現的边缘效应。模型内部的条紋降到 0.7 級。

由上面所述可以得出:退火之前应适当地进行表面加工,因此在模具中鑄造模型时需要在表面給出 5—10 毫米的余量,此余量在以后机械加工时切去。

ЭД6-M 材料的性能

依靠改变失水苹果酸酐的成分,使由环氧树脂制造的光学灵敏材料的彈性模量在不大的范围内(到 1:2)改变是可能的。彈性模量較大幅度的改变可以在原成份中附加磷苯二酸二丁脂来达到,这可使彈性模量及“质量系数”降低。研究指出,含有 40% 的磷苯二酸二丁脂的材料在室温时和橡皮类似。

光学-力学性质 材料 ЭД6-M 满足在光学法研究应力时对于平面和立体模型材料所提出的基本要求。它具有下列性质:力学各向同性及均匀性;必要的透明度(对于散光法要用专门的方法净化原料);在室温和“冻结”时有很高的光学灵敏性以及应力、变形和干涉条紋之間有綫性关系;当室温时,板和块体的時間边缘效应极不显著,在“冻结”时此效应也很小,并且其初始光学效应也很小;具有高的“质量系数”;很好的机械加工性能。此外,材料 ЭД6-M 的机械的和光学的蠕变也比較小。它与其他型号的材料相比,在下列性质上具有根本的优点:有可能制成大尺寸板和块体;在室温下經較长的時間有較小的边缘效应;利用鑄造或粘結可以制造复杂形状的模型,甚至在光学机械性质稳定的情况下还能粘結具有不同彈性模量的部件。

材料 ЭД6-M 在空气內冻结时, 具有实际允許的时间边缘效应, 在甘油內冻结时, 时间边缘效应在 10 毫米厚度內可以降低到 0.5 級条紋。

ЭД6-M 在 60—70°C 时是彈性材料。温度从 60°C 到 110—120°C 时, 在抵抗变形的能力有很大降低的情形下, 其变形具有塑性性质。当温度在 120—150°C 时材料又重新变为彈性的, 但纵向彈性模量約降到室温时的 1/100。在温度高于 180—200°C 时树脂成为类似橡皮的材料 (在达到分解温度 300—320°C 之前)。对材料的上述評价是根据在模型和試件上完成的材料光学-力学性质的研究而作出的。下面給出研究的結果。

照射模型时为了得到必須的光学效应 (干涉条紋序数 m), 用于光学方法决定应力的彈性模型材料的比例极限 (σ_{m}) 应足够高。

在室温时力学比例极限 ($\sigma_{\text{m, max}}$) 及强度极限 (σ_{B}) 的数值是由悬臂弯曲試件的試驗得到的 (跨度、截面的高度、厚度在加工后是 100×12×7 毫米)。在鋸試件之前, 应在 120°C 下經過 0.5—1 小时的退火。分阶段給悬

臂試件增加載荷, 使最大应力每次增加約为 50 公斤/厘米²。加载 3 分钟以后讀出条紋序数及撓度值。当悬臂端的撓度 (用指示器測量) 与綫性关系偏离 3% 时, 所对应的应力定为力学比例极限 (图 3 的曲綫 I 是在温度 20°C 下的)。弯曲强度极限是由試件破坏的弯矩 (考虑了力臂的改变) 按最大应力公式来确定的。从 ЭД6-M 材料若干試件的試

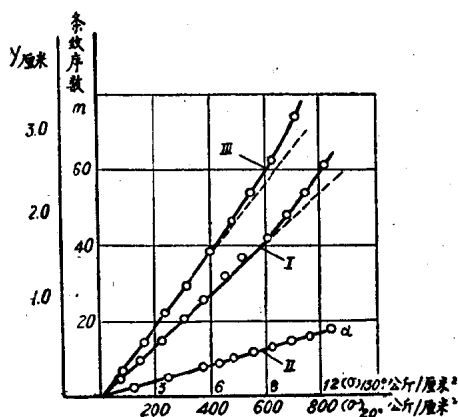


图 3 弯曲試件时条紋序数 m 和撓度 y 与最大应力 σ 間的关系
I——20°C 时的 σ - y 曲綫; II——120°C 时的 σ - y 曲綫; III——20°C 时的 m - σ 曲綫。
(α ——試件断裂)

驗得到的这些值为： $\sigma_{\text{пл.мех}} = 380-430$ 公斤/厘米²， $\sigma_{\text{в}} = 1300-1500$ 公斤/厘米²。

图 3 的曲线 II 给出了最大应力与最大挠度间的关系，这一关系指出在“冻结”温度下 $\sigma_{\text{пл.мех}} = \sigma_{\text{в}} = 12-14$ 公斤/厘米²。

在室温下，材料的弹性模量 E 和泊松系数 μ 是用标距 10 毫米的机械式变形计卡在悬臂弯曲试件上测量变形求得的：

$$E = ns \frac{\sigma}{\Delta_{\text{прод}}} ; \quad \mu = - \frac{\Delta_{\text{поп}}}{\Delta_{\text{прод}}} ;$$

此处 n 及 s 分别是变形计的放大比例尺及标距 ($ns \approx 10^4$)； $\sigma = \frac{M}{W}$ 是在变形计标距中间的截面（距固定端 15 毫米）按弯矩计算的最大应力； $\Delta_{\text{прод}}$ 和 $\Delta_{\text{поп}}$ 分别是沿着试件纵向和横向安装的变形计读数的增量。

由材料 ЭД6-М 的若干试件（失水苹果酸酐的含量为树脂重量的 30%）得到：

在室温下 $E = (3.3-3.5) \times 10^4$ 公斤/厘米²， $\mu = 0.38$ 。

在“冻结”温度下 $E = 260-300 \times 10^4$ 公斤/厘米²， $\mu = 0.5$ 。

在“冻结”温度时，在烘箱中，根据两端简支、中部受载荷的弯曲试件的挠度找出的 E 值和根据沿轴线受压圆盘^[8]的冻结模型测量其直径改变找到的 E 值，也都在上述范围之内。泊松系数是在“冻结”的悬臂梁上测量其纵向及横向变形求得的。

当变形在弹性极限以内时，模型材料的光学灵敏性是由常数 $\sigma_0^{(1,0)}$ 或 $\varepsilon_0^{(1,0)} = \frac{1+\mu}{E} \sigma_0^{(1,0)}$ 来表示的。它们分别是厚度 $t = 1.0$ 厘米的模型出现 1 级干涉条纹时的正应力及线应变（当单向受力状态时）。当已知 $\sigma_0^{(1,0)}$ 或 $\varepsilon_0^{(1,0)}$ 、被测点的模型厚度 t 和干涉条纹序数 m 时，该点主应力差和变形差为

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{\sigma_0^{(1,0)}}{t} m ; \quad \varepsilon_1 - \varepsilon_2 = \frac{\varepsilon_0^{(1,0)}}{t} m .$$

数值 $\sigma_0^{(1,0)}$ 和 $\varepsilon_0^{(1,0)}$ 是在室温和“冻结”温度时用承受载荷的纯弯试件确定的。材料 ЭД6-М 的光学比例极限 $\sigma_{\text{пл.опт}}$ 的数值用逐

漸加载的方法找到，其值相当于“条纹序数 m -应力 σ ”之间的关系偏离直线 3% (图 3, 20°C 时的曲线 III) 时的最大应力。

材料 ЭД6-М 的 $\sigma_{\text{пл.мех}}$ 和 $\sigma_{\text{пл.опт}}$ 值在室温时也象在冻结温度时一样，实际上是一致的。由材料 ЭД6-М 的若干试件得出应力光学常数¹⁾：在室温时， $\sigma_0^{(1,0)} = 10-11$ 公斤/厘米，在“冻结”温度时，

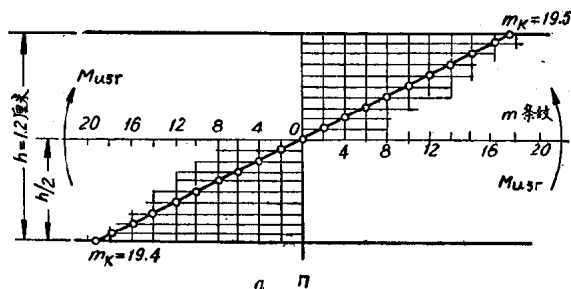


图 4a 纯弯梁横截面的条纹图；最大应力 $\sigma = 300$ 公斤/厘米²；材料条纹值 $\sigma_0^{(1,0)} = 10.5$ 公斤/厘米；弯矩 $M_{\text{уст}} = 52.5$ 公斤-厘米。

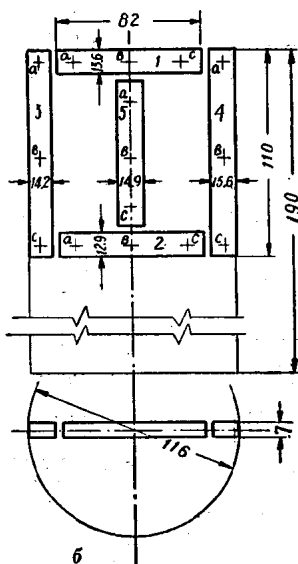


图 4b 检查材料在体积内的均匀性的试件布置图

¹⁾ 即指材料条纹值——译者注。

$\sigma_0^{(1.0)} = 0.30 - 0.34$ 公斤/厘米; 变形光学常数: 在室温时, $\varepsilon_0^{(1.0)} = (0.40 - 0.45) \times 10^{-3}$, 在“冻结”温度时, $\varepsilon_0^{(1.0)} = (1.6 - 1.9) \times 10^{-3}$.

对拉压应力来说 $\sigma_0^{(1.0)}$ 值是一样的, 这可由条纹图(图4)来说明, 该图是由塑料 ЭД6-М 制成的截面为 12.0×6.0 毫米的梁在纯弯下得到的。

材料的光学蠕变, 即在常载荷下表现出来的条纹序数随时间的增长, 当应力在弹性范围内时是很小的(图5)。模型加载后, 经过足够的时间间隔(5分钟或更多些)后读出条纹序数, 发现 $\sigma_0^{(1.0)}$ 保持常数(图5中向右倾斜的虚线)。

材料的“质量系数”

$$K = \frac{E}{\sigma_0^{(1.0)}} \cdot 10^{-3} = \frac{1 + \mu}{\varepsilon_0^{(1.0)}} \cdot 10^{-3}$$

是在“冻结”时为得到必须的光学效应对于模型变形程度的估计。ЭД6-М 在“冻结”时 $K = 0.88$, 在室温时 $K = 3.1$ 。

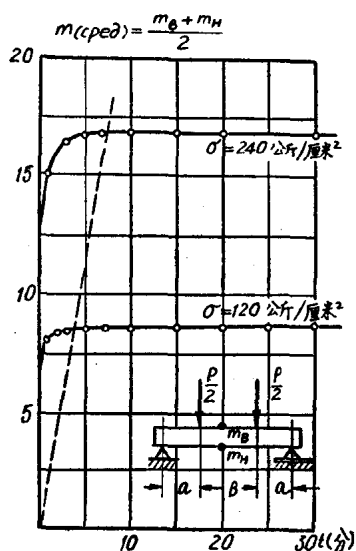


图5 纯弯曲试件上下边缘干涉条纹 m_p 随载荷作用延续时间的改变

“冻结”温度 $t_{\text{зам}}$ 是由观察梁试件上条纹图的改变来决定的, 当模型承受载荷后, 立即达到其全部变形时的最低加热温度作为冻结温度。对于材料 ЭД6-М 可以取 $t_{\text{зам}} = 120^\circ\text{C}$ 。按“冻结”法处理时, 将模型加热到“冻结”温度, 或略超过它 $5 - 10^\circ\text{C}$ 。由材料 ЭД6-М 制成的模型在“冻结”时加热温度不应超过 140°C 。

材料 ЭД6-М 在“冻结”时的光学-力学性质与失水苹果酸酐的含量有关。在室温下的弹性模量, 在所有情况下保持不变(参看表1)。

当失水苹果酸酐的含量少于 20% 时, 树脂在整个体积内不硬

表 1

硬化剂 (失水苹果酸酐的含量, %)	彈性模量 E (公斤/厘米 ²)	材料条紋值 $\sigma_0^{(1,0)}$ (公斤/厘米)	$\frac{E}{E_{30\%}}$	“质量系数” K
20	170	0.28	0.57	0.60
30	300	0.28	1	1.07
40	240	0.32	0.80	0.75

化,得到一种脆性材料,在加温时部分溶解。当失水苹果酸酐的含量高于 40% 时,材料的脆性也增大。

硬化状态与失水苹果酸酐的含量仍然无关。在所采用的成份下,彈性模量并没有較大的差别。其他光学-力学性质的差别也很小,并且这些性质十分稳定。

材料 $\Theta\Delta 6-M$ 的板及块体在力学及光学性质方面具有了必要的均匀性。

平均数值是: $\sigma_0^{(1,0)} = 10.7$ 公斤/厘米; $E = 2.94 \times 10^4$ 公斤/厘米²; $E_6 = 14.4$ 公斤/厘米²; $\sigma_6^{(1,0)}$, E 和 E_6 的最大偏差分别是 3%, 7% 和 18%。

材料 $\Theta\Delta 6-M$ 的主要物理常数如下:

比重	1.20—1.25 克/厘米 ³
折射率	1.65—1.60
每差 1°C 的温度膨胀系数 (在 20—100°C 时)	52×10^{-6}
馬尔金斯热稳定性	100

時間邊緣效应是一系列材料在应用光学方法时的根本缺点,由于時間邊緣效应在不受载荷的模型的邊緣上能观察到干涉条紋。在光学材料中,在室温下模型制出后的最初几小时内就形成邊緣干涉条紋;并且随時間的增长,干涉条紋从模型邊緣向深度方向发展。在“冻结”时,邊緣效应是在模型加温时及模型冷却时形成的,而主要是在冷却时形成的。

用 $\Theta\Delta 6-M$ 材料作成的模型,在室温下的時間邊緣效应很小,在模型制造后的头两天里,实际没有邊緣效应。当在空气中“冻