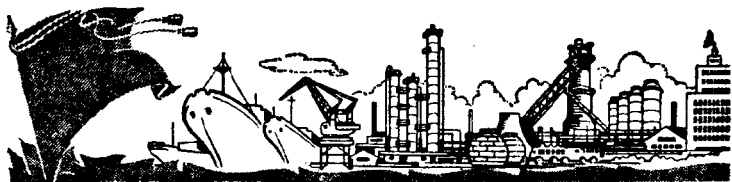


MC 尼龙轴承的制造与应用

东海船厂



工业技术资料

第119号

上海人民出版社

工业技术资料

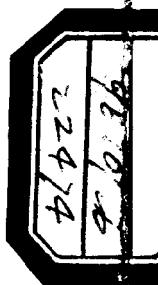
第 119 号

上海人民出版社出版
(上海绍兴路 5 号)

新华书店上海发行所发行 上海群众印刷厂印刷

1973 年 2 月第 1 版 1973 年 2 月第 1 次印刷 定价 0.03 元

印数: 1—17,000



MC 尼龙轴承的制造与应用

为了贯彻执行毛主席提出的“备战、备荒、为人民”的战略方针，我厂广大革命职工，高举“鞍钢宪法”的旗帜，大搞技术革新，几年来，在应用工程塑料代替有色金属及其他贵重材料方面取得了一些经验。尤其是 MC 尼龙的应用，进展较快，使用较广。据统计，一年里，我厂应用 MC 尼龙制造轴承就节省了铜、铅等有色金属约 7 吨，并全部代替了用昂贵的进口材料——铁梨木制造船用轴承。

经过数年的实际使用，我们认为 MC 尼龙可作为轴承的新材料。

MC 尼龙是单体浇铸尼龙 6 的简称。它是用己内酰胺单体通过简便的聚合工艺，再在浇铸模内聚合成型的一种新颖工程塑料。目前，造船、汽车、冶金、机械等工业部门，都在广泛地应用。

MC 尼龙具有如下优点：

1. 聚合成型工艺简便，设备和模具简单，可以自行浇铸。
2. 零件可以直接浇铸成型或再经过少量切削加工制成。我厂已浇铸过 20 多公斤重的舰轴承。
3. MC 尼龙聚合的分子量较高，故其机械物理性能比一般尼龙 6 要好。

MC 尼龙同其他热塑性工程塑料的性能比较见表 1。

由表 1 可看出，MC 尼龙的吸水性比尼龙 6 小；硬度比较高；抗拉强度和刚性超过大部分热塑性工程塑料；抗冲强度比其

表 1 MC 尼龙同其他热塑性塑料性能比较

性能	单位	聚酰胺				聚甲醛	聚碳酸酯	ABS
		MC 尼龙	尼龙 6	尼龙 66	尼龙 1010			
物理性能	比重	1.16	1.13	1.14	1.04	1.43	1.20	1.05
	吸水率	0.9	1.9	1.5	0.5~1.0	0.25	0.24	0.3
机械性能	抗拉强度	970	750	830	550	700	650	500
	伸长率	20~30	150	60	100~200	75	60~100	
	抗弯强度	1520~1710	1045	1100	800	910~980	950~1000	620~970
性能	抗压强度	1100~1300	840	1200	970	1260	830~880	385~490
	抗冲强度 (缺口) (无缺口)	>500	8	3.9	4~5 不断	7.6 90~110	64~75 不断	7
	硬度 (洛氏) (布氏)	R118 M87~90 14~21	R114	R118	7.1	R120 M94	R110 M75 9.7~10.4	R115
	疲劳强度	~200	~120			270	70~100	
			(10 ⁷ 周)					

(续表)

性 能	单 位	聚 酰 胺				聚 甲 醛	聚 碳 酸 酯	ABS
		MC 尼龙	尼龙 6	尼龙 66	尼龙 1010			
热 性 能	热变形温度 (18.6公斤/厘米 ²)							
	(4.6公斤/厘米 ²)	94 190	55~58 180	66~86 182		110 160	135	89 98
	马 丁 耐 热	55	40~50	50~60	45	57~64	110~130	
电 气 性 能	膨 胀 系 数	8~8.3	8~8.7	9~10	14~16	11	7	9.5
	介 电 常 数 (10 ⁶ 赫)	3.7	3.4		3.6	3.7	3.0	2.4~5.0
	体 积 电 阻		10 ¹⁴	10 ¹⁴	>10 ¹⁴	10 ¹⁴	10 ¹⁶	10 ¹⁶
成 型 工 艺	击 穿 电 压	10	22	15~19	20	18.6	22	22
	介 电 损 耗	0.02	0.01	0.014	0.026	0.005	0.007	0.008
	成 型 温 度	(浇)140	220~230		220~230	170~190	250~300	204~230
	模 具 温 度	160~170				80	80~110	
	成 型 收 缩 率	径向3~4 高度8~10	0.8~1.5	1.5	1~2	2~3	0.6~0.8	0.4~0.6

他尼龙都要高；它的抗摩擦、抗磨损性能可与聚甲醛比美；与铜、巴氏合金相比，具有良好的自润滑性能，干摩擦的摩擦系数较稳定；马丁耐热比尼龙 6 和尼龙 1010 高，而与尼龙 66 及聚甲醛相近；MC 尼龙电气性能与耐腐蚀性能与其他尼龙相似；但由于它的吸水特性，一般不宜作绝缘材料用。

MC 尼龙可代替有色金属制成轴承、齿轮、蜗轮、滑块、密封圈等零件。我厂目前主要用于艉轴承、舵杆轴承、甲板传动机械的轴衬套、冷水泵、油泵的活塞环及各种密封垫圈等。MC 尼龙可直接代替铜合金做导缆器、舵机和锚机传动滚轮等的轴衬。还可代替橡胶、层压板、铁梨木制造开式艉轴承（走水），而且更为优越。但若用于闭式艉轴承，需要增设循环冷却、润滑装置。

虽然 MC 尼龙具有很多优点，但它本身也存在严重缺点：线膨胀系数很大，用 MDI 作助催化剂无填料的 MC 尼龙线胀系数约为铜的 5 倍多；导热系数极低，约为金属的几百分之一。以上两点是造成 MC 尼龙轴承烧坏的主要因素。如果使用稍为忽视，冷却、润滑不良，装配间隙不当（过小），MC 尼龙轴承就会抱轴烧灼，软化的 MC 尼龙被压挤溢出，阻塞水（油）管路。严重的轴承表面层会烧毁（碳化），如果继续运转，轴就可能被磨损。为了进一步推广 MC 尼龙的应用，必须提高 MC 尼龙的耐热性能和及时总结实际应用经验，使之合于客观外界的规律性。

聚合成型工艺

1. 原料

（1）己内酰胺单体：白色粉状或片状结晶体。比重 1.023，熔点 69°C 。手指接触有润滑感。易溶于水和乙醇、乙醚、氯仿、苯等溶剂，在空气中极易受潮。

(2) 催化剂: 常用为氢氧化钠(2~3 级试剂)。

(3) 助催化剂: 常用有 N-乙酰基己内酰胺、二苯甲烷异氰酸酯(MDI)、甲苯二异氰酸酯(TDI)及碳酸二苯脂(DPC)等。

N-乙酰基己内酰胺可以用己内酰胺单体醋酐制备。目前我厂已不采用, 制备工艺从略。

MDI、TDI、DPC 等由染料化工厂供应。MDI 和 TDI 是液体, 有强烈的刺激气味, 并有毒。DPC 是白色晶体, 气味小, 不溶于水, 称量操作方便, 故我们近来采用它作 MC 尼龙的助催化剂。

MC 尼龙的原料及用量关系见表 2。

表 2 MC 尼龙原料用量表

原 料	分 子 式	分子量	用 量 关 系		备 注
			克分子比	重 量 (克/公斤)	
己 内 酰 胺	$\text{HN}(\text{CH}_2)_5\text{CO}$	113	1	1000	
氢 氧 化 钠	NaOH	40	0.004	1.4	见 *
助 催 化 剂	乙酰基己内酰胺	$\text{CH}_3\text{CON}(\text{CH}_2)_5\text{CO}$	155	0.005	5.5
	TDI	$\text{CH}_3(\text{C}_6\text{H}_5)(\text{NCO})_2$	152	0.003	4
	MDI	$\text{CH}_2(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{NCO}$	214	0.003	5.7
	DPC	$(\text{C}_6\text{H}_5)_2\text{CO}_3$	214	0.0016	3

* 若用 DPC 作助催化剂时, 则催化剂氢氧化钠用量须增加, 由 1.4 改为 3 (克/公斤)。

2. 工艺流程、设备和模具

MC 尼龙的工艺流程见图 1。

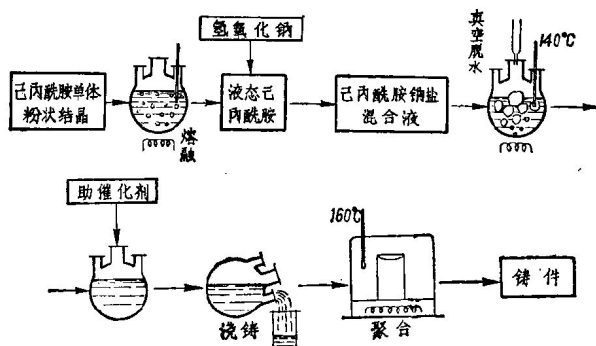


图1 MC 尼龙制造工艺流程

我厂的MC尼龙反应设备见图2。

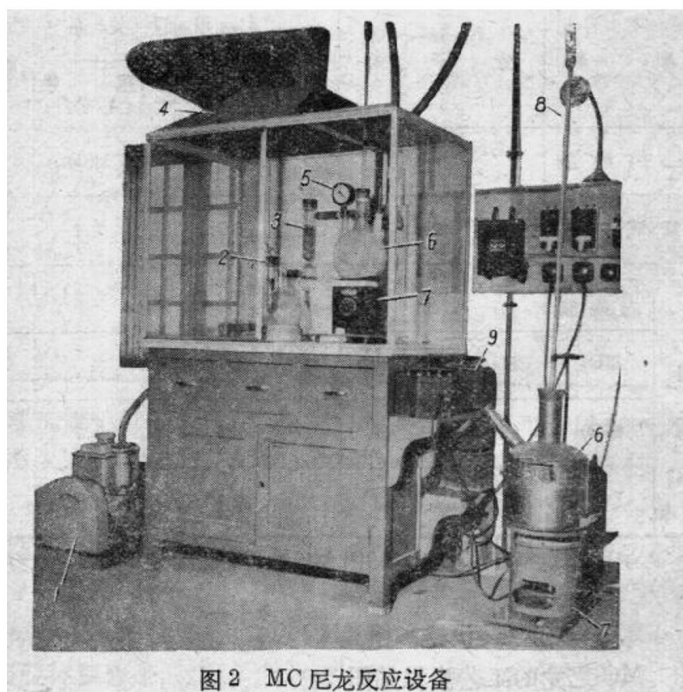


图2 MC 尼龙反应设备

(1) 真空泵, 2X-4 型, 抽气量为每分钟 480 升; (2) 放气阀; (3) 干燥塔, 内盛变色硅胶; (4) 通风罩; (5) 真空计, 0~760 毫米水银柱; (6) 反应锅, 容量 5 公斤以下常用三口玻璃烧瓶(用不锈钢制成更好)。我厂采用 1.5 毫米厚的不锈钢板焊成的反应锅, 容量为 20 公斤; (7) 电炉, 220 V 1000 W 和 380 V 3000 W; (8) 回流管; 玻璃管内径为 15 毫米以上, 长度为 1.5 米以上; (9) 调压器。

MC 尼龙离心浇铸设备比较简单, 主要由落地烘箱和一端夹持模具的短轴组成。短轴由一只 4 瓩、1440 转/分的电动机直接带动旋转。

我厂自制的离心浇铸设备见图 3。

(1) 落地烘箱, 电热丝为 380 V, 6000 W; (2) 控制箱, 旧设备利用; (3) 温度计, 可调式水银接点温度计; (4) 通风装置; (5) 浇注门; (6) 检视窗; (7) 漏斗。

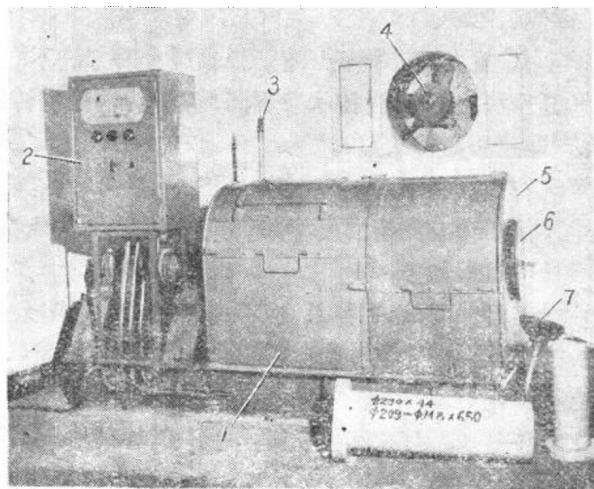


图 3 离心浇铸设备

MC 尼龙浇铸模具比其他塑料成型的模具简单。MC 尼龙浇铸模一般用薄铁皮卷成或用钢管焊成。如批量较多,可采用精密浇铸,以减少切削工时。圆筒形零件(轴承)用离心浇铸,可不用模芯,脱模便利,并且铸件质量有保证。

我厂离心浇铸模见图 4。

(1)模体;(2)抗热垫圈;(3)模盖。

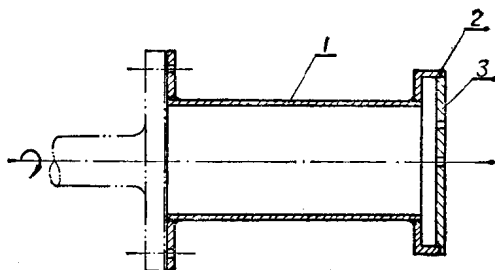


图 4 离心浇铸模具

3. 操作过程

目前,MC 尼龙聚合浇铸工艺,根据脱水的方法不同,分为氮气法和真空法。根据浇铸状态不同,又分为静态浇铸法和动态浇铸法(即离心浇铸法)。

我厂现在用真空法,此法简便、经济、质量可靠。其中圆筒形(轴承)零件用动态浇铸法成型,棒材用静态浇铸法成型。

简要操作过程如下:

(1) 根据零件图,选用模具,应考虑收缩率和加工余量。

(2) 按比重 1 来计算称取所需己内酰胺单体(比重=1.023),放入反应锅中。

(3) 加热熔融。待大部熔化时,就可初抽真空,这样做,可预先检查真空装置是否良好,并预先脱去一部分水份;同时在减压情况下,可加速熔化。

(4) 待单体全部熔化后, 温度升至 120°C , 再打开放气阀, 关掉真空泵。当真空计指到 0 位时, 再加入催化剂氢氧化钠, 加入量见表 2。

(5) 再抽真空, 此时应注意真空管路是否畅通, 如有阻塞, 要立即排除。正常情况下, 氢氧化钠与己内酰胺反应强烈, 象一群蝌蚪。当氢氧化钠作用完成后, 反应锅内就出现大量“气泡”, 发生所谓“暴沸”现象, 并发出嘎啞嘎啞的声音, 使反应锅跳动。此时温度应保持在 140°C 左右。脱水时间视脱水情况而定, 一般为 15~30 分钟。

(6) 脱水完毕, 停止抽真空。将助催化剂(重量比见表 2) 加入反应锅内, 再摇匀。

(7) 迅速倒入均匀预热($160\sim 170^{\circ}\text{C}$)的模具内。如用静态法, 则将装满熔体的模具放入烘箱中保温半小时左右取出脱模。用离心法, 必须将注入口封牢, 然后开发动机, 使其旋转, 待没有漏泄现象后再关闭烘箱门, 保温。旋转 20~30 分钟即行。若需连续浇铸, 可将铸件取出, 放入另一烘箱使它慢慢冷却; 若不再浇铸, 可让它冷却至室温再取出。这样做可以避免一部分残余应力的产生。

4. 缺陷

产生的缺陷主要原因是操作不当。现将我们曾遇到的缺陷和解决办法简述如下:

(1) 气泡

产生原因: 加入助催化剂后, 操作缓慢, 混合熔体变粘较快, 使模具下部气泡不能逸出。或由于熔体温度过高, 混在熔体内的微量分解物分解为挥发性产物, 形成气泡残留在聚合体内。

解决办法: 控制好熔体和模具的温度, 注入口可开在模具下端, 使熔体在模具内由下向上注入。

(2) 缩孔

产生原因：模具温度比熔体温度高得多，靠近模具下部和周围先聚合成固体，产生收缩，使上部和中央后聚合部分形成凹陷，成为缩孔。

解决办法：浇铸时，模具温度应接近熔体温度，模具必须均匀加热，烘箱应装有鼓风机。

(3) 表面不聚合

产生原因：催化剂加入量不足，脱水不充分，熔体中含有水、酸、醇等阻聚物。或模具温度过低、保温时间短。

解决办法：遵守操作规程，加入足量的催化剂和助催化剂，真空泵抽气量应足够大，并加长抽气时间。

(4) 光洁度不良(皱皮)

产生原因：熔体温度高于模具温度，由于聚合放热，中间处熔体与模壁处熔体同样很快聚合，向中间收缩时，模壁处已生成的固态聚合膜就形成皱皮。或模具内壁不清洁。

解决办法：模具温度应与熔体温度接近。模具内壁必须清洁，必要时可涂 210 甲基硅油。

(5) 聚合不均匀

产生原因：由于模壁处熔体先聚合，分子量较高，内部熔体后聚合，分子量就较低，因此聚合体的机械-物理性能由外向内依次降低。

解决办法：浇铸后，要有足够的保温时间。我厂在采用真空法脱水，离心浇铸成型工艺后，有足够的保温时间，基本上克服了浇铸缺陷。

5. 安全

(1) 防毒：由于异氰酸酯有毒，在称取 MDI 或 TDI 时，不要用手直接接触，或用鼻近嗅，以免中毒。同时在聚合过程中有

毒气逸出，所以必须装置良好的通风设备，操作人员应站在上风，并戴口罩。

(2) 灼伤：操作人员必须穿戴高温工种保护用品，防止熔液和模具灼伤。

(3) 燃烧：液体溅入电炉，或遇到电热丝，会引起燃烧。故应备有二氧化碳灭火器。烘箱必须有防爆装置。

设计 与 加工

我厂在1969年初到1970年12月间，先后在19条船（次）上应用MC尼龙艉轴承。到1971年2月，有的MC尼龙艉轴承已烧坏更新，其中绝大多数是前轴承（舱内），而且多是闭式油润滑结构。这主要因为MC尼龙散热性很差，加上润滑冷却不良，间隙过小，就很容易抱轴烧灼。因此MC尼龙轴承，在设计时必须注意下述尺寸。

(1) 壁厚：由于MC尼龙导热性差，原则上讲，轴承的壁厚越薄越有利于散热，同时膨胀量也越小。但实际上，船舶的震动性较大，且时常倒顺车，承受冲击载荷也大，因此艉轴承壁厚不能太薄。同时轴承过薄，在加工和安装中容易引起变形。我们认为艉轴承的壁厚应为艉轴径的10%左右较好。轴径大的，壁厚取偏小值，但不得小于6%。旧轴承改用MC尼龙轴承时，如原金属轴承座内径较大，可在MC尼龙轴承上镶金属背，使MC尼龙轴承壁厚限制在10%左右。

(2) 长度：据有关资料介绍，塑料轴承的长度与轴径之比为1:1最理想（一般以不超过1.5:1为原则），此时热量容易散发，摩擦系数最小。在考虑到船舶特点时，我们建议：MC尼龙轴承长度为轴径的1.5倍左右。一般旧船的艉轴金属轴承座的长度超过轴径的3倍，如改用MC尼龙轴承时，可将MC尼龙轴

承内部中间车空,分成两段,以减少轴承长度。这样做有利于冷却润滑液的流畅和贮存,同时使 MC 尼龙有膨胀的余地,减少抱轴烧灼的危险。

MC 尼龙轴承在装入轴承座后,应有一端能自由伸缩。

(3) 过盈量: 为了使轴承在压入轴承座后不致松脱, 故 MC 尼龙轴承外径比轴承座内径稍微大些。我们根据实际使用统计, MC 尼龙轴承外径过盈量大致在轴径的 0.15~0.4% 之间较好, 轴径大的取偏小值, 轴径小的取偏大值, 详见表 3。

表 3 MC 尼龙轴承过盈量

(毫米)

轴 承 内 径 名 义 尺 寸	轴 承 外 径 过 盈 量	轴 承 内 径 公 差 (正 值)	轴 承 与 轴 间 隙	加工光洁度
30 以下	0.08~0.12	0.40~0.48	0.30~0.33	$\nabla 5 \sim \nabla 6$
30~50	0.10~0.18	0.40~0.70	0.30~0.50	$\nabla 5 \sim \nabla 6$
50~80	0.15~0.24	0.65~1.00	0.48~0.75	$\nabla 5 \sim \nabla 6$
80~100	0.20~0.25	0.92~1.15	0.72~0.90	$\nabla 5 \sim \nabla 6$
100~150	0.22~0.30	1.00~1.50	0.80~1.20	$\nabla 5 \sim \nabla 6$
150~200	0.27~0.36	1.35~1.85	1.10~1.50	$\nabla 5 \sim \nabla 6$
200~300	0.30~0.36	1.60~2.25	1.30~1.90	$\nabla 5 \sim \nabla 6$

船舶艉轴承一般较长, 压配有些困难, 外径可分段车小, 但必须有 1.5 倍轴径的长度的外径过盈量不得小于表 3 所列。

(4) 间隙: 塑料轴承与轴的配合间隙, 不能用一般金属零件的动配合尺寸。这是因为第一, 由于塑料的膨胀系数较金属大得多, 当摩擦发热温度升高时, 会引起内径的收缩。第二, 塑料大都具有吸油性和吸水性。MC 尼龙轴承长期在油或水中工作, 引起体积膨胀, 以致内径收缩。第三, 塑料弹性模量较小, 蠕

变较大, 由于外径过盈压配, 引起内径收缩。据实际应用统计, MC 尼龙的内径收缩量一般接近过盈量。由于上述因素, MC 尼龙轴承间隙应比金属轴承间隙大些, 但也不能过大, 否则会影响运转性能。我们从实践中, 初步摸到轴径 $\phi 30 \sim 300$ 毫米的 MC 尼龙轴承装配间隙, 一般情况下为轴径的 $0.65 \sim 1.10\%$, 轴径大者取偏小值, 详见表 3。

MC 尼龙轴承内径加工公差(正值)一般等于外径过盈量加上装配间隙。

(5) 开槽: 由于 MC 尼龙轴承对热很敏感, 所以散热问题是主要问题, 为此在 MC 尼龙轴承内壁上开润滑冷却液沟槽。沟槽的深和宽均比金属轴承大一倍左右。我们认为在轴承内壁上开 3~5 条直线型槽比较好, 加工方便, 使用中也有利于排除磨屑和泥沙。

(6) 加工精度: 由于 MC 尼龙具有良好的耐摩擦磨损性能, 因此表面加工精度要求不高, 一般在 $\nabla 5 \sim \nabla 6$ 就可。

MC 尼龙虽然可以实现精密浇铸, 但浇口和油(水)槽还得切削加工, 对于精度要求高的零件, 还要精加工。

MC 尼龙容易切削, 但散热性差, 弹性大, 容易引起热变形。

机械加工中应注意以下几点:

(1) 要有足够的冷却措施, 切削时可用肥皂水或冷风进行冷却。

(2) 切削刀具材料宜用高速钢, 刃口要锋利, 车刀的前后角都比切削金属材料要大些, 车刀前角为 $15 \sim 25^\circ$, 后角 15° 左右。刨刀与车刀相似, 但后角要小, 约为 $6 \sim 8^\circ$ 。

(3) 加工 MC 尼龙可用高的车削速度, 小的进刀量。精车时, 切削速度为 $150 \sim 300$ 米/分; 进刀量为 $0.05 \sim 0.10$ 毫米/转; 吃刀深度为 $0.15 \sim 0.25$ 毫米。半精车时, 吃刀深度可加大至 $0.5 \sim$

1.0 毫米。粗车实心棒料的切刀深度一般不超过 1.5~2.0 毫米。

为了消除铸件在浇注过程中产生的残留应力,防止使用中产生裂纹,避免尺寸显著变化,或对变形零件进行矫正,需将 MC 尼龙进行后处理,MC 尼龙的后处理一般采用调湿,即将铸件放在水中或醋酸钾水溶液中,隔绝空气加热退火(同时又达到吸湿平衡)。调湿温度为 100°C 左右,时间约 4~5 小时,厚制件时间应长些。

我厂对于重要制品,或对变形控制严格的产品,进行调湿处理方法如下。将 MC 尼龙零件放在水箱中,用电炉加热,使水煮沸,保持沸腾状态 2 小时,然后降温,缓慢冷却至室温,再从水中拿出。

应 用 情 况

我厂曾调查过 MC 尼龙在船上应用情况。我们同船员都认为,MC 尼龙应用于各种常温工作泵的活塞环、衬套、舵杆轴承、艉轴承(开式)、导缆器等甲板机械传动件的轴衬等是合适的,可以大力推广。

应用实例:

(1) 某工作船油泵活塞环:原用酚醛层压板,半年后就得换新。现用 MC 尼龙,出油量比以前提高 20%。使用半年后,油泵压力仍未降低,目前继续使用。

(2) 某挖泥船冲水泵轴承:原用铜背浇铅轴承,工艺复杂,劳动量大。现用离心浇铸 MC 尼龙轴承,装配间隙为 1.2 毫米(见图 5),安装简便,每天工作 16~17 小时,已用了二年,仍在 使用。

(3) 某拖轮舵杆轴承:原用铜轴承,1970 年 3 月改用 MC 尼龙轴承(见图 6),使用情况良好。

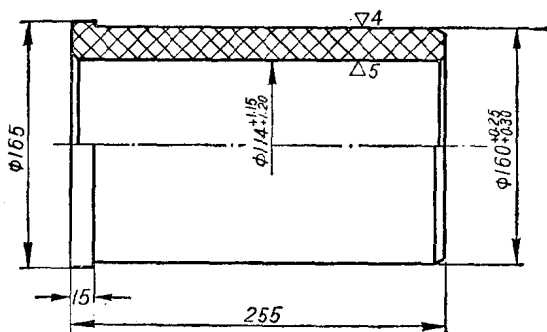


图 5 冲水泵轴承

(4) 某测量船艏轴承：原用铜轴承。1969年5月改用MC尼龙轴承，外轴承为开式水润滑（见图7），内轴承（舱内）闭式油润滑。1970年7月检查一次，情况正常。1971年7月再次检查，外轴承情况良好，但长度方向膨胀2~3毫米，现继续使用。内轴承由于局部磨损，故换新的MC尼龙轴承。

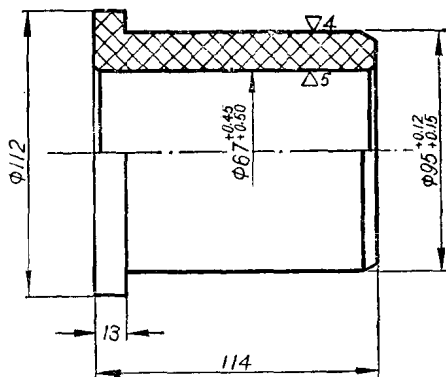


图 6 舵杆轴承

米，现继续使用。内轴承由于局部磨损，故换新的MC尼龙轴承。

(5) 某水文测量船用轴承：原为铜铅合金轴承，修理时，改用MC尼龙轴承，同时采用水润滑结构。使用2年后，MC尼龙轴承内孔磨损量为0.03~0.05毫米。目前继续在使用中。

(6) 某艇艏轴承：原用铜轴承，闭式油润滑，改用MC尼龙轴承后，仍用闭式油润滑，使用了六个月之后就抱轴烧灼（图8）。

我们总结了上述教训，在改装另一海轮艏轴承时进行了改进。例如：对MC尼龙进行了后处理，即在精加工前（留3毫米加