

- 一、化学热处理的特性及其新的实验数据……………(1)冶金專家格吉茲揚  
二、用鉛青銅澆注 A Ⅲ—62HP 航空發动机零件的工藝过程……(14)冶金專家格吉茲揚

## 化学热处理的特性及其新的实验数据

苏联專家 Л.Н.格吉茲揚

大家知道，金屬的化学热处理就是将金屬加热，并在高溫的活性气体、固体或液体介質中持續一定時間从而改变金屬的化学成份，組織及表面層的性能者。进行化学热处理的目的为了使金屬的表面强化，同时对大多数牌号的鋼來說能提高表面硬度，抗磨損强度、抗疲劳强度，热硬性而对某些鋼則能提高抗腐蝕性及抗氧化性。但是各种化学热处理均大大降低金屬的冲击韌性。疲劳强度的提高是由于金屬表面層的体积变化与中心部份不一致而产生殘留压缩应力的原故。凡在复杂負荷条件（弯曲、磨損、疲劳等）下工作的零件均須进行化学热处理，使材料具有軟的中心部份及硬的表

面層。

### I. 氮化

#### 1. 不銹鋼零件的氮化

为了加速氮化过程及得到均匀的氮化層，不銹鋼的表面氧化膜須用干燥細砂进行吹砂的方法（至得到均匀的非光澤顏色为止）或用酸腐蝕的方法加以破坏。同时零件的表面应是新經吹砂或腐蝕的，清潔而无斑点及其他缺陷的。在表 1 內列举了几种在航空工业上最常用的氮化用不銹鋼的牌号及其按技术条件所規定的氮化層深度及硬度。

表 1 氮化用不銹鋼

鋼 的 牌 号		氮化層深度	硬度 Hc/15 大于	用 途
按 标 准	厂 內			
4X14H14B2M	ЭИ-69	0.06~0.18	80	排气活門杆部
1X13	ЭЖ-1	0.1~0.3	84	噴气式發动机上的
X10C2M	ЭИ-107	0.1~0.3	84	噴嘴及燃燒室

由于氮化層深度小，故硬度須用威氏或苏洛氏硬度計进行測量（用 15 公斤的負荷）。由于不銹鋼的氮化进行得緩慢，故須采用高的溫度和長的持續時間。对上述各种牌号的鋼來說，氮化溫度在 550~650°C 的範圍內，而总的持續時間为 50~70 小时。如 ЭИ—69 鋼制的活門，其氮化溫度为 660°C，总的持續時間为 50 小时，氨气分解率为 60~80%，零件在氮化箱內于通氨气之下冷至 200°C。鑒于零件是在热

处理之后进行氮化的，故氮化溫度应比回火的溫度稍低一些。这种情况对 ЭИ—69 奧氏体鋼沒有意义，而对半鉄素体（1×13）及馬丁体（ЭИ—107）的不銹鋼來說，上述情况必須加以考虑，使金屬的中心硬度在氮化之后不致于降低。还應該注意的是，由于氮化層会降低不銹鋼的抗腐蝕性及抗氧化性，故在氮化时仅对零件需要抗磨損的部位进行局部氮化（如排气活門仅氮化其杆部的下部）。

## 2. 結構鋼零件的氮化

在航空工業上最常使用的氮化用結構鋼為38XM10A鋼。該鋼用作汽缸筒、齒輪、軸及其他零件的製造。所有的零件在氮化之前，均須進行最後的熱處理，而在氮化以後，不再進行任何熱處理。在氮化之前，零件的表面須于汽油中洗滌除油。38XM10A鋼，根據零件的設計及用途的不同，其氮化深度為0.1~0.5公厘，氮化溫度為510°C，持續時間則根據氮化深度的不同為15~50小時。氮化層的硬度，在研磨前為 $R_c/15 \geq 90$ ，研磨以後為 $R_c/15 \geq 88$ 。汽缸筒的氮化深度為0.5—0.7公厘。其氮化條件如下：

525°C—30小時及540°C—35小時，研磨前的硬度為 $R_c/3080$ ，在磨去0.15公厘以後，硬度為 $R_c/30 \geq 76$ 。

應該指出，在各種關於金相熱處理的數學書內往往有這樣的記載：由於零件氮化時，不進行高溫加熱，所以零件幾乎不產生扭曲，這是氮化處理的一個優點。但是這種說法是與實際不符的，因為零件經常是用最後加工的狀態進行氮化的，這樣零件會產生變形的，就是零件不用最後加工狀態進行氮化，也必須採用專門的方法來防止扭曲。比方在汽缸筒氮化時，汽缸筒的上部，即沒有凸緣的螺紋部份會產生變形的，這種變形須用預先的專門機械加工方法，即將汽缸筒的這個部位加工成特別的形狀，使氮化以後，該部位在研磨中被磨去的金屬能夠均勻，保持在容許的公差之內。

在高溫之下具有相當高的硬度，這是氮化層的一個主要優點。高溫硬度僅從450°C起才開始顯著的下降，比方在室溫時按威氏硬度若為 $H_V 800$ 公斤/平方公厘，則在450°C時約為 $H_V 600$ 公斤/平方公厘。

氮化的一般缺點如下：

(1) 為了防止氮化要進行鍍錫；

(2) 由於零件經常是以最後加工的狀態進行氮化，故零件容易產生扭曲，而敲修又是不容許的；

(3) 氮化以後必須除去錫層；

(4) 不容許在零件的個別部位上除掉氮化層，如進行鑽孔等，因為在這些部位上將形成應力的集中。

(5) 氮化以後，必須研磨去表面非常發脆的一層，即深度約0.05公厘的 $\epsilon$ 相區。

不需要氮化的部位用鍍錫加以保護之。但零件上的深凹部位鍍錫是困難的，鍍錫困難的部位，可補充塗以水玻璃以防止零件的表面被氮氣穿透，經氮化的零件不容許敲修以免產生裂紋，因為表面層是很脆的。氮化以後，必須仔細地除去零件上的錫層，因為殘留的錫層在發動機高溫工作下，（超過231°，該溫度為錫的熔化溫度）可能擴散到金屬的內部，而由於擴張作用的結果，引起零件的脆性破裂，除錫層最好是用機械方法進行，用此種方法除錫時，預先應考慮到加工余量。在氮化過程中，錫可能流到氮化的表面上去，因而引起軟點現象，為了防止這種現象，可將準備氮化的零件，在鍍錫後進行磷化處理。磷化時，將零件浸入磷化槽中，但是僅須磷化沒有鍍錫的部位，鍍過錫的部位不進行磷化。氮化時磷化膜即阻止錫的流動。磷化處理（指熱溶液的磷化）能使金屬的表面松疏，從而促進氮氣的吸附能力。這樣得到的氮化層要比沒有經過磷化的多0.05公厘，但零件的氮化表面將產生一些麻點，這種麻點須用研磨方法除去之。因此磷化最好只用於在氮化後需要研磨的零件。可以用冷磨液磷化進行試驗，看是否能避免麻點的產生。

為了得到均勻的氮化層，須採用裝有風扇的氮化爐。必須注意，不要將冷卻風扇軸承用的水漏入爐內，因為水漏入爐內會引起氮化層的脆性，並破壞錫層表面，從而使硬度不均勻。為了避免這種現象，必須嚴格地按檢修進度表進行軸承的修理和更換。而在每爐零件氮化之前，必須檢查風扇的封嚴圈是否漏水。

我們曾經將錫對38XM10A鋼的抗疲勞強度及抗拉強度所起的影响作過一些實驗，實驗的

表2 38XM10A 鋼用經過鍍錫的及未經鍍錫的試樣在不同的試驗溫度下所得到的機械性能

未經鍍錫的	經過鍍錫的	經鍍錫及氮化的	經氮化的	未經鍍錫的無缺口試樣, 20°C時
27	27	30	30	50

38XM10A 鋼的拉伸試驗數據

試樣狀態	試驗溫度	$\sigma_b$ 公斤/平方公厘	$\sigma_s$ 公斤/平方公厘	$\sigma$ %	40 %
未經鍍錫的	20	107	99	16	58
未經鍍錫的	300				
經過鍍錫的	300	92	76	10	20
經鍍錫及氮化的	300	90	—	13	48

結果列於表2內。

38XM10A 鋼的抗疲勞強度公斤/平方公厘 (是用帶缺口的試樣在 450°C 時進行試驗的)。

根據抗疲勞強度的數據可以看出, 在 450°C 時鍍錫並不降低帶缺口試樣的抗疲勞強度, 因此我們得出了這樣的假設, 即當試驗的溫度很高時, 鍍錫層馬上被燒掉而來不及發生擴散作用。還應該在較低的溫度下約 300°C 時進行抗疲勞強度的試驗。

根據在 300°C 時所進行的拉伸試驗來看, 經過鍍錫的試樣其塑性是降低的。這樣的試驗應繼續做一些, 尤其有必要用未經鍍錫的試樣進行拉伸試驗。

## II. 滲 碳

經常所採用的滲碳層深度最小為 0.3 公厘, 最大為 1.8 公厘。一般對航空發動機上的齒輪來說, 滲碳層的總深度最好約為平均齒厚的 1/3, 在特別情形之下才採用深度較大的滲碳, 如在坦克工業上裝甲板的滲碳層達 4 公厘厚。含碳量在 0.25% 以下的鋼, 一般約在 940°C 左右進行滲碳, 滲碳的速度為每小時 0.2 公厘, 滲碳之後, 零件須進行淬火及 160°C 的低溫回火。經過滲碳的零件, 其硬度在工作溫度超過 150°C 時, 便開始顯著的降低。滲碳零件在工作中最常見的一種缺陷就是冷作硬化現象。這種現象經常是由于有表面脫碳層或金屬組織中有大量殘留奧氏體所引起的, 消除這種缺陷的

方法如下:

防止脫碳層, 可將零件在具有中性氣體的爐內、鹽槽內或舊滲碳劑中進行加熱。而對消除殘留奧氏體來說, 則冷處理是一種有效的方法, 使奧氏體補充轉變為馬丁體。冷處理就是將零件在淬火後立即冷卻到相當於馬丁體轉變終點的零下溫度。冷處理時, 經常使用干冰。(固體二氧化碳的酒精溶液能達到 80°C 的溫度)。

一些作工具鍛模用的高碳鋼現在也有進行滲碳的, 當這些鋼滲碳時, (溫度 900°C, 時間 10 小時) 在其表面層中拆出球狀的碳化物 (含碳量增加到 3%), 這種球狀碳化物在 800°C 淬火之後能使工具的抗磨性大大提高。

近年來, 用 1050°C 的高溫滲碳獲得了採用。這種滲碳大大縮短了滲碳的持續時間。使用粉狀滲碳劑及局部圍框的滲碳方法也能加速滲碳的過程。

必須值得注意的, 在氣體滲碳時, 鍍銅並不是非常可靠的防止滲碳的方法, 因為銅層常被穿透, 故防止氣體滲碳經常採用多留機械加工余量的辦法。

應該指出, 對某些具有特別技術要求 (特別精確的尺寸, 不容許網狀碳化物及殘留奧氏體等) 的滲碳零件, 建議在滲碳前, 將零件進行粗加工, 然後進行正火及高溫回火 (650°C), 滲碳以後, 再進行高溫回火, 然後淬火及低溫回火。滲碳後的高溫回火, 其目的是為了使滲

碳層的碳化物加以分解和細化，因为碳化物在淬火加热时来不及完全溶解，而奥氏体由于合金元素及碳的含量不够，因而也是不够稳定的。

### III. 氰化

凡能渗碳的鋼均可进行氰化，零件氰化所采用的深度为 0.1~0.5 公厘，氰化的温度为 820°C，持續时间为 1~3 小时，因为没有防止氰化的方法，故零件只能整个进行氰化。零件在氰化以后，須进行热处理。零件从氰化槽内取出直接进行淬火，然后进行 160°C 的低溫回火。氰化具有下列一些优点：

- (1) 过程的持續時間較短；
- (2) 氰化的温度适合淬火的温度；
- (3) 氰化溶液为淬火的良好加热剂，淬火以后不需吹砂或机械打磨。

液体氰化的缺点，就是由于使用有毒盐类所带来的麻煩和在操作上实行机械化的困难，以及沒有防止氰化的方法。

氰化零件的硬度从 150°C 起开始降低。精致的零件如齿的模数較小的齒輪最好进行氰化以避免扭曲。

氮化層及氰化層的抗磨性比渗碳層要高。因为氮化时形成氮化物，氰化时形成碳化物及氮化物，而渗碳的仅形成碳化物。

氰化广泛使用于工具加工上。工具經常采用低溫氰化（540~560°C），氰化深度不大，为 0.015~0.03 公厘（根据工件的厚度选择）同时氰化时间为 6~50 分鐘。工具的氰化温度应与回火的温度相适应，可稍微低一点。

### IV. 經化学热处理的試样在不同温度下的硬度变化

在决定零件的工作能力时，測量其化学热处理層在不同温度下的真实硬度具有实际的意义。如果以渗碳的零件而言，根据在室温下所測出的渗碳層硬度可以决定零件在工作中的加热程度，因为馬丁体發生轉变而使硬度降低

了。但上述方法不适用于氮化的零件，因为氮化物是相当稳定的，且在冷却之后仍然得到最初的硬度。为了研究这个問題，我們曾在几种温度下檢查过各种渗碳及氮化試样上的硬度。在高温下所測得的硬度，在后面我們把它叫做热硬度。

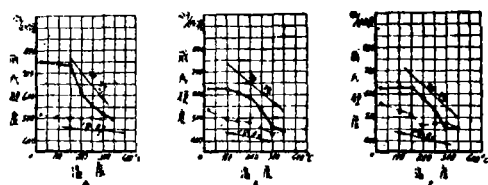


图1 12X22H4A 鋼在 800°C 油中淬火，在 160°C 回火，在不同温度下的硬度变化  
a. 表面硬度  
b. 深度 0.1 公厘  
c. 深度 0.5 公厘

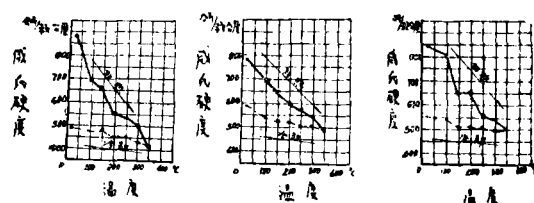


图2 12X22H4A 鋼在 800°C 油中淬火，在 160°C 回火，在不同温度下的硬度变化  
a. 表面硬度  
b. 深度 0.1 公厘  
c. 深度 0.5 公厘

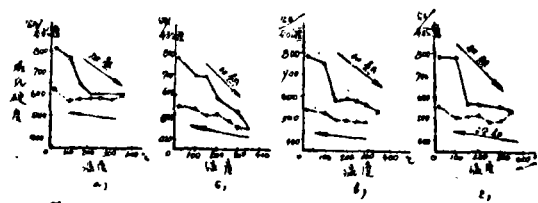


图3 12X22H4A 鋼在 800°C 油中淬火，在 160°C 回火，在不同温度下的硬度变化  
a. 表面硬度  
b. 深度 0.1 公厘  
c. 深度 0.5 公厘  
d. 深度 0.2 公厘

#### 1. 渗碳試样的热硬度

在温度 20~350°C 的范围内将热处理条件及研磨深度对經过渗碳的 12X22H4A 鋼的硬度影响进行过試驗。

試样按下列三种方法經过热处理：

- (1) 从 800°C 于 160°C 的盐槽内淬火，未經回火；
- (2) 从 800°C 于油中淬火，負 72°C 冰冷处理及 160°C 回火；

(3) 从800°C于油中淬火，負195°C冰冷处理及160°C回火。

研磨去的深度为0.1, 0.15及0.2公厘。

热硬度是在苏联科学院冶金研究所的專門自动仪表上用1公斤負荷在真空下进行測定的，試样的加热持續時間为1分鐘。試样在加热及冷却时均測量了硬度，試样沿其中心綫旋轉，仪表上的示度借專門的刻度盘換算成威氏硬度。

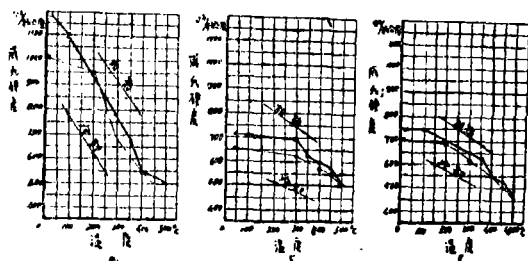


圖4 38XMI0A鋼氮化層下側條件溫度在20~500°C溫度範圍內的硬度變化  
a. 氮化時間20小時  
b. 磨去0.1公厘  
c. 磨去0.15公厘  
氮化條件溫度540°C  
氮化時間20小時  
氮化介質50-55%  
氮化深度0.33公厘

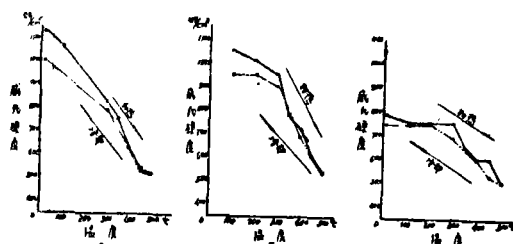


圖5 30X2H2BA鋼氮化層下側條件溫度在20~500°C溫度範圍內的硬度變化  
a. 未氮化的  
b. 磨去0.05公厘  
c. 磨去0.1公厘  
氮化條件溫度540°C  
氮化時間20小時  
氮化介質50-55%  
氮化深度0.33公厘

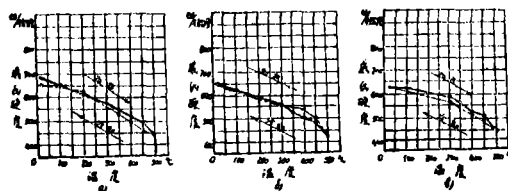


圖6 30X2H2BA鋼氮化層下側條件溫度在20~500°C溫度範圍內的硬度變化  
a. 未氮化的  
b. 磨去0.1公厘  
c. 磨去0.2公厘  
氮化條件溫度540°C  
氮化時間20小時  
氮化介質50-55%  
氮化深度0.33公厘

滲碳試样的試驗結果示于1~3圖內，根据这些圖綫可以得出下列的結論：

(1) 滲碳試样的热硬度与我們所采用的

各种热处理条件及研磨去的深度无关。

(2) 試样在加温时所測出的热硬度比在冷却时高得多，这証明在加热时有馬丁体的轉变。

(3) 从100°C起，随着試驗溫度的升高，热硬度剧烈下降。根据150时的热硬度水平(威氏硬度600~650公斤/平方公厘)，可将該溫度看作为滲碳零件在工作中的最大容許加热溫度。

## 2. 氮化試样的热硬度

在溫度20~500°C的範圍內加热及冷却时，将38XMIOA及30XHBA两种牌号的鋼进行过氮化層的热硬度檢驗。对38XMIOA鋼試驗过两个深度即0.33~0.5公厘，对30X2H2BA鋼試驗过一个深度，即0.55公厘。三种情况的試样均磨去了氮化層0.05至0.15公厘以試驗磨去的深度对热硬度的影响。

用氮化試样进行試驗的結果見圖4~6，从这些圖綫可以得出：

(1) 38XMIOA鋼氮化層的热硬度比30X2H2BA鋼高得多。

(2) 在加热及冷却时所測出的氮化層的热硬度，其相差并不大，因为氮化物是稳定的，而未进行分解。

(3) 0.33及0.5公厘的氮化層深度与研磨去0.05~0.15公厘后的深度一样，对热硬度值沒有显著的影响。

(4) 氮化層热硬度从300°C才开始显著的降低。根据450°C时的硬度水平(威氏硬度550~600~公斤/平方公厘)可将該溫度看作为氮化零件在工作中的最大容許加热溫度。

## V. 零件設計时对化学热处理种类的合理选择

首先应该指出，在采用任何表面强化处理时，金屬內部应具有一定的足够的硬度，使零件在工作中受到大的單位負荷时，薄脆的表面層不致被压伤。这一点在选择材料及热处理条件时必须加以考虑，作为在零件圖上規定鋼的牌号，表面層硬度及內部硬度的先决条件。

現在研究三種主要的化學熱處理即氮化、滲碳及氰化。

零件的表面強化處理是否選擇得合理，決定於一系列的因素，這些因素是：

- (1) 零件的工作溫度；
- (2) 本零件及其相鄰零件的工作條件；
- (3) 零件的外廓尺寸及其結構上的複雜性；
- (4) 零件的工藝性；
- (5) 加工上的可能性。

首先應指出，如果零件的工作溫度超過了 $150\sim 180^{\circ}\text{C}$ ，則不能採用滲碳及氰化，在這種情形下，必須採用氮化，其工作溫度能達到 $450^{\circ}\text{C}$ 。

其次應該注意的，最好不要將相鄰的互相摩擦的零件進行同樣的化學熱處理。比方，如果一個零件進行氮化，則另一個與它相接觸的零件就不能進行氮化，最好進行鍍鉻等。

如果遇有這樣的情況，即按零件的工作條件採用滲碳或者氮化均可以時，則須根據零件的加工性及工藝性加以決定。比方，如果在熱處理時有引起零件扭曲的可能性，而必須進行敲修或規定在格列松壓機上進行強制淬火時，則必須選擇滲碳作為表面層的強化處理。

如果零件是在磨損及變動負荷的條件下工作時，則最好採用氮化。同時必須考慮，經氮化的零件應有研磨方法除去深約 $0.05$ 公厘的脆性表面層，即 $\varepsilon$ 相區的可能。

應該考慮到，氮化層比滲碳層脆得多，所以如果按生產的條件零件必須進行敲修以矯正扭曲，或按使用條件零件要承受彎曲應力時，則在這種情況下，零件必須進行滲碳。經氮化的零件不能進行敲修，因為敲修將引起表面層的裂紋，而成為向內部發展裂紋的缺口。

應該指出，滲碳層的硬度，在整個深度上是比較均勻的，硬度的降低亦比氮化及氰化試樣來得平緩（見圖7），所以如果需要強化處理的零件具有複雜的外形，且金屬的研磨量按厚度不超過 $0.15$ 公厘時，則在這種情況下，必

須選擇滲碳。

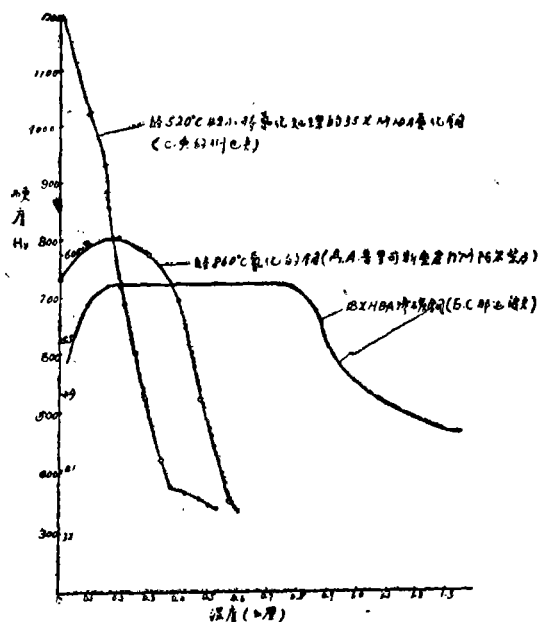


圖7 滲碳及氮化後硬度分佈情況

考慮氮化及氰化的零件，其硬度隨切面的減少而劇烈地降低，所以如果零件在工作中不僅要承受磨損，同時要承受大的表面單位壓力時，不宜採用氮化和氰化。按裝配條件在強化處理後需要局部鑽孔的零件，不能選擇氮化。因為鑽孔將會把氮化層除去，引起應力的集中。

如果尺寸不大，但結構非常複雜的零件，在工作中不承受大的彎曲負荷且容許整個零件進行強化者。則最好進行氮化。應該指出，氮化適用於小尺寸的零件，這種限制與氮化槽子的尺寸有關。氮化適用於深度不超過 $0.5\sim 0.6$ 公厘的零件。由於沒有防止氮化的方法，所以如果零件壁厚小且只要求一個表面強化者，則最好採用滲碳。

在選擇化學熱處理的種類時，還應考慮到經濟性及操作上的安全性。滲碳是最為經濟和安全的，滲碳時不需要專門的設備，除了普通的爐子及滲碳劑外，也不需要什麼特殊的材料。滲碳過程的速度約為氮化的 $10$ 倍，且氮化時需要專門的爐子設備及氨氣。氮化的速度差不多為滲碳的兩倍，但是氮化時須使用有毒的特种

氰盐，因而氰化須在装有抽風设备的单独絕緣的地点进行，且須遵守各种必須的技术安全規則。

在本报告內，不可能把实际当中各种可能的小例子都包括进去。化学热处理种类的选择是由設計員主要根据零件的工作条件进行，并在零件圖紙签署时与工艺員及冶金师在考虑零件加工性及工艺性因素的情况下进行协商。

## VI. 总的补充

凡經過化学热处理的零件，不容許补充鍍鉻，因为这样会引起零件的破裂。零件上經過化学热处理的表面不应鍍鋅或鍍錫，因为鍍鋅鍍錫会引起材料的裂紋。在这种情形下，須在圖紙的技术条件內注明局部鍍鋅或鍍錫，同时应注意，使局部的鍍層与經過渗碳或氮化的表面相距約 1 公厘以完全保証零件不發生破裂。

曾少潜譯

## 用鉛青銅澆鑄 АШ—62ИР 航空發动机零件的工藝过程

苏联專家 Л.Н. 格吉茲揚

### I. 緒 論

各种非常重要的襯套如主联杆襯套，減速器齒輪襯套，螺旋漿軸襯套及凸輪圓盘襯套等，均是用鉛青銅澆鑄的發动机零件。

發动机上用鉛青銅澆鑄的襯套共有九种計十四件。这些襯套均是在具有大的滑动速度及單位压力的磨損条件下工作的。所以对澆鑄鉛

青銅襯套工藝过程的認真貫徹應該加以特別的注意。因为各組合件以及整个發动机的正常工作决定于襯套工作的質量。

鉛青銅屬於抗磨的軸承合金一类，它的基体为比較硬的金屬——銅，而其夹杂物則由軟金屬——鉛所組成，这是与巴比特合金所不同的地方。巴比特合金的基体为軟金屬錫，而其夹杂物为比較硬的銻及銻錫化合物  $SbSn$  (見表1)

表 1 鉛青銅与巴比特合金化学元素的性能比較

合金名称	主要成份%		熔 点 °C	比 重	$H_B$ 公斤/平方公厘	元素名称
鉛青銅	Cu	70	1083	8.92	45	基 体
	Pb	30	327	11.3	6	夹杂物
巴比特合金	Sn	90	232	7.28	5	基 体
	Sb	10	630	6.62	30	夹杂物

表 2 我厂所用鉛青銅的化学成份 (主要元素)

青 銅 牌 号	Pb	P 不大于	Ag	Cu
БРС30或6820	27~31	0.08	—	余 量
БРСС3—30或6820 [А]	27~31	0.08	2.75~3.25	65~69.5

我厂所采用鉛青銅具有表 2 內所列的化学成份

所有襯套中，只有一个主联杆襯套，因受負荷最大，須用含銀的鉛青銅进行澆鑄，而澆

鑄其他的襯套，則不使用含銀的鉛青銅。

### II. 关于鉛的偏析

从銅鉛合金平衡圖上可以看出，鉛是不溶