

在本丛书内叙述有电镀过程的基本知識，并总结有苏联和外国的技术經驗。

本丛书可供电鍍車間的技术工人、实验員及工长参考之用。

本分册内概要地叙述了电解鍍和电解鉄的性能、沉积过程，防护-裝飾性鍍层和耐腐鍍层的沉积工艺过程，鍍鉄和鉄鉄的基本方法，典型零件进行鍍鉄和鉄鉄的实例和这两种鍍层的使用范围。

М. Б. Черкез

ХРОМИРОВАНИЕ И ЖЕЛЕЗНЕНИЕ

Машгиз 1958

* * *

苏联电镀丛书

第六册 鍍鉄和鉄鉄

張銘勛譯

(根据机械工业出版社紙型重印)

*

机械工业图书編輯部編輯 (北京苏州胡同 141 号)

中国工业出版社出版 (北京修鵝閣路丙 10 号)

(北京市书刊出版事业許可証出字第 110 号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店經售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{32}$ · 印張 3 · 字数 66,000

1959 年 11 月北京第一版

1963 年 9 月北京新版·1963 年 9 月北京第一次印刷

印数 0,001—2,153 · 定价 0.33 元

*

統一书号: 15165 · 273 (一机-579)

296

目录

序言	2
第一章 电解铬的使用范围	3
1. 电解铬的性能(3)——2. 铬镀层的使用范围(8)	
第二章 电解铬的沉积条件	9
3. 电极上的过程(9)——4. 镀铬电解液的成分(10)——5. 电解规范(13)——6. 松孔铬的制取和性能(17)	
第三章 镀铬液的配制、校正和使用	22
7. 电解液的配制(22)——8. 电解液的校正(25)——9. 阳极(26)——10. 杂质的影响(26)——11. 镀铬槽的使用(27)——12. 铬镀层的退除(29)——13. 铬镀层的主要缺陷(29)	
第四章 镀铬工艺	31
14. 镀铬前零件准备工作的特殊性(31)——15. 防护-装饰性镀铬(35)——16. 乳白色镀铬(41)——17. 耐磨镀铬(44)——18. 零件在镀铬槽内的悬挂(45)——19. 镀铬的条件(49)——20. 零件镀铬的实例(51)——21. 松孔镀铬(55)——22. 不降低钢疲劳强度的铬镀层(67)——23. 铝上镀铬(69)——24. 镀铬发展的远景(69)——25. 安全技术(72)	
第五章 电解铁的性能和条件	72
26. 电解铁的性能(72)——27. 镀铁的使用范围(75)	
第六章 镀铁工艺	76
28. 镀铁前零件准备的特点(76)——29. 电极上的过程(78)——30. 镀铁电解液的配制(78)——31. 电解液的成分和电解规范(81)——32. 铁镀层的主要缺陷(89)——33. 零件镀铁的实例(90)——34. 在阴极上同时沉积铁和碳(镀钢)(95)	

序 言

首批用于生产的鍍鉻装备，創建于本世紀二十年代末。在这一段时期以来，鉻鍍层与其他电鍍层相比，获得了非常广泛地采用。这一情况說明着鉻具有宝貴的性能：不但鍍层具有美丽的外观，且鍍层又具有較高的硬度、耐磨强度和抗腐蝕性能。

鍍鉻主要用于防护-裝飾鍍层方面。除此之外，在机器制造业中，用鍍鉻方法来提高机器新制零件和工具的耐磨强度、以及翻新已磨損零件，也获得了广泛地采用。特别是由于松孔鍍鉻工艺的建立，在修理內燃机方面，用鍍鉻翻新已磨損零件这一方法，更具有特別重大的意义。

尽管如此，用鍍鉻翻新机器已磨損零件的方法，却受着磨損深度的限制。当磨損量达0.7~1.0毫米时，鍍鉻将成为不合理的修理方式，因为較厚的鍍层，不但沉积过程時間太长，且沉积出的金屬又具有易脱落的傾向。

此时可采用鍍鉄，但电解鉄的硬度和耐磨强度与鉻相比，非常低。因此，鍍鉄的零件还应进行附加鍍鉻或渗炭。

本小册子扼要地叙述了鍍鉻和鍍鉄的电沉积过程、电解进行的条件和鍍鉻及鍍鉄的主要类型。

作 者

第一章 电解铬的使用范围

1 电解铬的性能

电解铬是一种微带银色的银白色金属。铬的最主要性能如下:

原子量	52.01
比重	6.9~7.1
熔点	1830°C
导热率(20°C时)	0.165卡/厘米 ² ·秒·度
线膨胀系数(20°C时)	45×10 ⁻⁶
电阻系数	3.85×10 ⁻⁶ 欧姆·厘米
电化当量	0.323克/安培·小时
标准电位:	
Cr/Cr ²⁺	-0.56伏
Cr/Cr ³⁺	-0.41伏

在电解铬的其他一些性能之中,应当提出铬镀层的高度抗腐蚀性能、较低的摩擦系数、较高的硬度和耐磨强度。铬镀层除具有优点外,还具有一系列的缺点:如铬镀层的脆性、铬镀层潤油性能不良及其他等。铬镀层具有裂纹,在某种情况下是铬镀层的优点,而在另一种情况下,却是铬镀层的缺点。

抗腐蚀性能 上述标准电位值说明铬属于电位为负值和非常活性的一种金属,铬在空气和氧化介质中易于钝化,因此铬具有贵重金属的性能。

铬对许多种酸、碱和盐来说,均具有抗腐蚀性能。如有机

酸、硫、硫化氫、稀硫酸、硝酸、碳酸盐和其他一些物质，对鉻均不起作用。鉻易溶解于盐酸和加热的濃硫酸中。

鉻表面上的鈍化膜很薄，但具有高度的透明性，能很好地保护鉻层，而不使其表面变暗。因此鉻鍍层在空气中才能保持自己的光澤。在高温作用下，鉻的氧化性增快不大；仅当温度 500°C 时，鉻鍍层表面才呈现退火色。

尽管鉻本身是一种化学稳定的金属，但它却不能有效地防护鉄免受腐蝕。因为在鉄-鉻电偶中，鉄是阳极，鉻是阴极。所以当鉻鍍层具有孔隙时，鉄将遭受到腐蝕。

結合性 如鍍前零件表面经过仔细地准备，同时又严格地遵守全部电解条件时，鉻与鋼、鉄、鎳、紫銅或黃銅的接合性非常牢固。

剪切試驗时，鉻与鋼的接合强度达 30公斤/毫米^2 。但仅当鉻沉积在这些金属之上时，鉻与这些金属的接合强度才能达到可靠的程度；当将这些金属沉积在鉻上时，便不能获得令人满意的接合性。

电解鉻的强度 当鉻鍍层厚度增加时，鉻的抗張强度极限急剧地下降。如在各种不同电解规范条件下沉积出的、厚度为 0.1毫米 的鉻鍍层，其 $\sigma_b = 50 \sim 60\text{公斤/毫米}^2$ ，当将鉻鍍层厚度增大至 0.5毫米 时，抗張强度极限下降到 $16 \sim 30\text{公斤/毫米}^2$ 。

鍍鉻后鋼的疲劳强度，随鉻鍍层厚度的增加而降低。当鉻层厚度不超过 0.2毫米 时，疲劳强度降低 $20 \sim 25\%$ 。在温度为 $100 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 条件下热处理三小时，疲劳强度将多少恢复一些。

在温度为 $500 \sim 600^{\circ}\text{C}$ 条件下进行热处理之后，疲劳强度极限将有显著地恢复。通过各項研究工作証明，鉻层厚度为 $0.05 \sim 0.06\text{毫米}$ 的 45号鋼 和 35号鋼 鍍鉻試样，由于在 600°C

溫度下回火兩小時的結果，疲勞強度極限恢復到85~99%。

鍍鉻零件疲勞強度極限的降低，是由于電解鉻層內產生大量剩餘抗張應力所造成。隨着鉻鍍層厚度的增加，剩餘抗張應力的值也愈大。當鉻鍍層厚度達30微米時，剩餘抗張應力的值達37公斤/毫米²。

電解鉻的硬度和脆性 電解鉻的硬度，以布氏硬度計單位計時，達1000~1100H_{Bo}。

供製造一系列重要機器零件用的結構材料與電解鉻相比，具有較低的硬度。例如製造內燃機氣缸用的灰口鐵（CY24~CY48），其硬度為150~275H_B；滲碳鋼的硬度約為600H_B左右；滲氮鋼的硬度為700~750H_{Bo}。電解鉻具有高硬度的本性，主要是由於鉻沉積物金相組織顆粒細小和鉻在陰極上沉積機理的特殊性所造成。現有文獻中所進行過的研究證明：當沉積物在陰極形成過程中，初期所形成的不穩定性的鉻結晶，然後轉變成較穩定的結晶。伴隨此現象產生的是沉積物體積減小，因而引起結晶相互間的冷作硬化，造成電解鉻具有較高的硬度和脆性。

評定鉻的使用性能時，應估計到鍍鉻零件工作介質的溫度，因為介質溫度可能影響鉻的硬度。

根據研究數據證明：當將電解鉻加熱到250~300°C時，電解鉻的硬度降低不大；當高溫時，硬度卻顯著地降低。圖1所示的數據表明：當溫度達370~390°C時，電解鉻的硬度開始明顯下降；在恆溫條件下加熱，僅當處理的前1.5小時，鉻的硬度數值有所改變；繼續在該溫度下處理，對鉻的硬度毫無影響，而使鉻的硬度實際保持恒定不變。

在承受動負荷條件下工作的鍍鉻零件，應在150~200°C溫度條件下進行熱處理。通過處理能將鉻內的氫除去2/3，且能

降低鉻鍍層的脆性。

应当注意：電解鉻的塑性在很大程度上取決於電解條件。在這一方面，電解液的温度更具有特別重要的意義。

當改變電解液温度時，可獲得由脆性到能承受很大變形而不破損的韌性電解鉻。當低溫和高

電流密度時，獲得脆性的鉻沉積物；當相對高溫和中等電流密度時，則獲得韌性的鉻沉積物。

摩擦係數 電解鉻具有較低的摩擦係數。由於鉻沉積物具有細小顆粒的金相組織，已經很明顯地說明了這一點。

下面列舉八種摩擦偶在有機潤滑油工作條件下的滑動摩擦係數：

鉻對鉻	0.12
鉻對鋼	0.16
鋼對鋼	0.20
鉻對生鐵	0.06~0.08
多孔鉻對生鐵	0.06
生鐵對生鐵	0.09~0.10
巴氏合金對鉻	0.13
巴氏合金對鋼	0.20

從上列數據中可以看出鉻鍍層能夠降低相互配偶工作零件表面的摩擦係數，因而也減少了因摩擦而產生的熱能。

電解鉻的潤油性能 普通鉻鍍層的潤油性能不良。例如滴

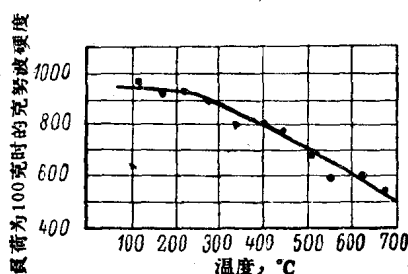


圖1 電解鉻硬度與持續一小時熱處理時温度的關係。

在鉻表面上的油滴，不能流散開來。因此，在單位面積壓力較大條件下工作的摩擦鍍鉻表面，將處於半干摩擦工作條件下。

通過在鉻鍍層表面上製造出各溝紋彼此相連的溝紋網，便能克服上述缺陷。這種鉻鍍層被稱為松孔鍍鉻。

電解鉻的耐磨性 電解鉻的基本特性是硬度高、摩擦系數低、抗熱及抗腐蝕性能高，因而保證了鍍鉻零件的高度耐磨性能。當正確地選擇電解條件時，由於鍍鉻的結果，能使零件的耐磨性提高到5~10倍。

儘管如此，耐磨鍍鉻的使用還應受着工作表面單位面積上所承受負荷的限制。當在中等負荷（即約達25公斤/毫米²）條件下工作時，採用鍍鉻才能獲得最大的成效。

因為普通鉻鍍層僅在具有足夠數量潤滑油的工作條件下，才能正常地工作。因此對承受負荷較大的機器摩擦零件，便不能採用普通鉻鍍層。例如大功率的內燃機在試驗台上經過試驗之後，其鍍鉻氣缸表面上呈現了圖2所示情況的損壞，鍍鉻氣缸工作表面上出現了很深的划痕。由於划痕的產生而使發動機不能再繼續使用。當遇到類似情況時，就應採用松孔鍍鉻來代替普通鍍鉻。



圖2 經試驗台試驗後鍍鉻氣缸工作表面的情況。

2 鍍鉻層的使用範圍

鍍鉻用來進行制件的外部修飾、提高耐磨強度、防止腐蝕及其他一些情況。

裝飾性和防護-裝飾性鉻鍍層的特点是壽命長久。因此許多制品，特別是在惡劣條件下工作的制品，均進行裝飾性鍍鉻。如汽車、飛機、車廂、儀表等的零件、工具和生活用品。

經拋光後的鉻鍍層具有很好的反光性能。鉻的反光係數達70%，僅稍低於銀的反光係數。但由於鉻在空氣中不會變暗，因此在生產各種不同型號大燈和不甚重要的反光鏡時，均採用鍍鉻。與此同時，用鉻酸電解液還能沉澱出黑鉻，用來降低反光係數。

耐磨鉻鍍層用於承受摩擦的許多工具和機器零件，當新零件須要鍍復以及由於摩擦而失去尺寸的磨損零件須要修復時，一般均求諸於鍍鉻。因此用鍍鉻方法來修復因尺寸而報廢的零件，更具有重大的意義。

為了提高耐磨性能而進行鍍鉻的零件項目非常多：如量具零件、界限量規、刀具（絲錐、鉗頭、鉸刀、銑刀、拉刀、插齒刀等）、冷沖壓工具（拉絲模、沖制鋼板零件的上模、下模、冷鍛模及其他等）。

由於鍍鉻的結果，不僅能提高零件的使用期限，還經常能提高產品的質量。這一點在壓紙機軋輥、沖模和非金屬及橡膠壓模經過鍍鉻之後，便完全可以看出。這主要是由於鉻具有較高的化學穩定性和較差的潤油性，因而保證了拔模容易和壓制件的光澤。

利用耐磨鉻鍍層來復新機床和內燃機的磨損零件，如機床

主軸、曲軸軸頸、凸輪軸、氣門推杆、活塞銷、各種不同機件的軸頸及其他零件等，能使這些零件的使用期限提高許多倍。

使用耐磨鉻鍍層的主要領域，是內燃機的气缸和活塞環。但對這些在潤滑油不足和單位面積壓力較大條件下工作的零件來說，僅當進行松孔鍍鉻時才能獲得良好的效果。

鉻鍍層同樣也用於防腐蝕上，在一定電解條件下沉積出的鉻鍍層，當其厚度達40~50微米時，便能保證鉻鍍層無孔隙。因而才能防護鋼製品不受大氣和海水腐蝕。

第二章 電解鉻的沉積條件

3 電極上的過程

為了在陰極上析出鉻，鉻的六價化合物溶液獲得了實際上的採用。工業部門用來進行裝飾-防護性鍍鉻和耐磨鍍鉻所採用的電解液，是鉻酐(CrO_3)和少許硫酸(H_2SO_4)的溶液。中等濃度的鉻酐水溶液是一種強酸($\text{H}_2\text{Cr}_2\text{O}_7$)。當降低溶液內鉻酐濃度時，同樣也會呈現離子 CrO_4^{2-} 。

在鉻酸溶液內進行電解時採用不溶性陽極。由於鍍鉻時，陽極電流效率比陰極大5~7倍，因此不能採用可溶性的鉻陽極。除此之外，如採用可溶性陽極，當鉻陽極溶解時，進入溶液內的除有六價鉻外，還有三價鉻。因而溶液內鉻的總濃度繼續不斷地增高，且集聚大量影響正常電解過程的三價鉻。

陽極用鉛或鉛銻合金製造。用鉛銻合金製造的陽極在鍍鉻電解液內具有非常高的化學安定性。

為了能夠正確地控制鍍鉻的電解過程，對鍍鉻槽內所產生

的全部过程具有概念，这是非常重要的。

由于电解铬沉积时电极上所产生的全部过程的复杂化，因而还不能认为这一问题已研究彻底。阴极上所产生的过程，主要是铬酸的逐步还原。伴随这一过程的是在阴极上析出金属铬和氢，而在阳极上析出氧。

阳极上一部分放电的氧与铅发生反应。由于反应的结果，在阳极表面上形成过氧化铅，而其余的氧则呈气态析出。

单用一种铬酸溶液，不能沉积出电解铬来。其原因是：当在纯铬酸溶液内进行电解时，阴极表面上形成一层由铬的碱性铬酸化合物组成的坚实胶体薄膜。这一层薄膜起了隔绝的作用，因而阻碍了在阴极上铬的沉积过程。往铬酸溶液内加添少许硫酸，能促使薄膜松开，同时又能保证铬酸能自由地还原成金属铬。起此种作用的除硫酸外，尚有硫酸盐及氟化物（NaF及KF）。

电解铬的沉积发生在电位非常负和氢的超电压很低的条件。因此电解过程中产生大量氢气。这主要是由于镀铬电解液内阴极电流效率太低（10~16%）的原故。

这样一来，镀铬时用于沉积铬的仅是电力的一小部分，而其中的大部分（75~80%）却消耗在辅助过程（电解水）；约10%的电力消耗在六价铬还原成三价铬（即消耗到用于补偿在阳极上发生的将三价铬氧化成六价铬的相反的过程）；仅10~15%的电力直接用于析出金属。

4 镀铬电解液的成分

各种不同镀铬电解液的成分，一般仅是其主要成分（铬酐和硫酸）的浓度彼此不同。但此时应注意到，影响铬镀层质量

的不是电解液成分内铬酐和硫酸的绝对数量，而主要是铬酐和硫酸的相对含量。最适宜的比值是 $\frac{\text{CrO}_3}{\text{H}_2\text{SO}_4} = 100$ ，也就是说电解液内铬酐的含量等于硫酸含量的 100 倍。

镀铬时， $\frac{\text{CrO}_3}{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 比值变化的容许值应界于 99~120 限度内。

当 $\frac{\text{CrO}_3}{\text{H}_2\text{SO}_4}$ 的比值保持恒定不变时，电解液内铬酐含量可以在很大范围内变动，对镀层质量并无显著的影响。

电镀中采用铬酐含量由 150~350 克/升的电解液。经常采用最广的是铬酐含量为 250 克/升的电解液。

尽管如此，当改变铬酸浓度时，对电解液的导电性、电流效率、分散（着落）能力和遮盖能力将起一定影响。

增高电解液内铬酐的含量，能使电解液的导电性多少提高一些，因而降低了镀槽电压和电力的消耗。

与此同时，当增高电解液内铬酐含量时，如图 3 所示，电流效率也将下降。

铬酸电解液的特点是着落能力非常低。

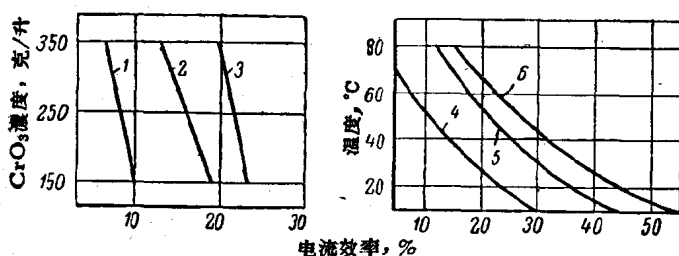


图 3 在各种不同电流密度条件下，电解液浓度和

温度与电流效率的关系：

1—15 安培/分米²；2—45 安培/分米²；3—120 安培/分米²；4—10 安培/分米²；5—45 安培/分米²；6—85 安培/分米²。

当提高电解液内铬酐浓度时,电解液的分散能力随之降低。原因是采用低浓度铬酸时,电流效率较高,更主要地是当提高电流密度时,电流效率改变很小。与此相反,当提高电解液内的铬酐浓度时,镀铬电解液的遮盖能力却随之提高。铬酐含量约为300克/升的电解液具有最良好的遮盖能力。

选择电解液时,一定要估计到用低浓度电解液进行工作,能减少铬酐的多余损失。这部分多余损失是当零件出槽被零件所带走的部分电解液和被电极析出气体所带走的部分电解液所组成。

工业中最常采用的是下列镀铬电解液:

1. 含低浓度铬酐的电解液:其内含150克/升铬酐和1.5克/升硫酸。此种电解液与其他电解液不同之点是:此种电解液具有良好的分散能力、较高的电流效率(平均约为16%)和电解过程中铬酐损失较少。用此种电解液所沉积出的铬镀层硬度也最高。使用此种电解液的缺点是电解过程中电解液成分改变较快。含低浓度铬酐的电解液主要用于耐磨镀铬(或称硬镀铬)。

2. 含高浓度铬酐的电解液:其内含300~400克/升铬酐和3.0~4.0克/升硫酸。此种电解液的特点是分散能力较低、电流效率非常低(10~12%)和较高的工作稳定性。由于此种电解液具有较高的遮盖能力,因而用于进行装饰镀铬。

3. 含中等浓度铬酐的电解液:其内含200~250克/升铬酐和2.0~2.5克/升硫酸,其电流效率为13~15%。按此种电解液性能来说,它是1及2两种电解液中间的一种。

此种电解液在工业中获得了最广泛地采用。主要用来进行耐磨镀铬和防护-装饰镀铬。因此,铬酐含量为200~250克/升的电解液,被称为万能电解液。

5 电解规范

镀铬过程和铬沉积物的性能取决于阴极电流密度，也特别取决于电解液的温度。温度对铬沉积物的金相组织、性能和外观影响非常大，因此在电解过程中，温度的偏差不得超过规定温度 $1\sim 2^{\circ}\text{C}$ 。

較低的电流效率和供給在阴极上析出铬的铬化合物的高原子价，决定了铬在零件上生长的緩慢性。

镀铬时所采用的电流密度，界于 $10\sim 100$ 安培/分米²。目前具有采用高电流密度（达 200 安培/分米²或更高）的趋势。

平均电流效率为13%时，沉积厚1微米，铬层所需的时间列于表1。

表1 铬层沉积的持续时间

阴极电流密度 D_k (安培/分米 ²)	10	15	20	25	30	40	50	60	80	100
时间(分)	9.8	6.5	4.9	3.9	3.3	2.5	2.0	1.6	1.2	1.0

镀铬时的电解规范对电流效率影响很大。例如提高镀铬时的阴极电流密度和降低电解液的温度，能使电流效率提高。如图3所示，当降低电解液温度时，电流效率急剧地增高。但当温度降低太甚时，将使铬层的脆性急剧地增大。因此镀铬时电解液温度的下限，应保持不低于 45°C 。镀铬时电解液的最高温度不得超过 75°C 。

硬度是电解铬主要性能之一，电解规范对铬沉积物的硬度有很大的影响。图4内所列的数据说明：铬沉积物的硬度同时取决于阴极电流密度和电解液温度。在各种不同电流密度条件下，如提高电解液温度，可获得硬度最高和最低的铬镀层。如

在較高溫度條件下增大電流密度時。最高硬度和最低硬度的獲得將變得雜亂無章。通過改變電解規範，能獲得由 $500 \sim 1000 H_B$ 之間各種不同的硬度。

鉻沉積物的外觀，取決於電解時的溫度和陰極電流密度。改變電解規範，可獲得出所謂的乳白、光澤和烏光鉻鍍層。由於鉻本身不易拋光，所以用於裝飾鍍層時，採用光澤鉻鍍層較佳。在一定的電流密度和溫度範圍內，可獲得有光澤的鉻鍍層。圖

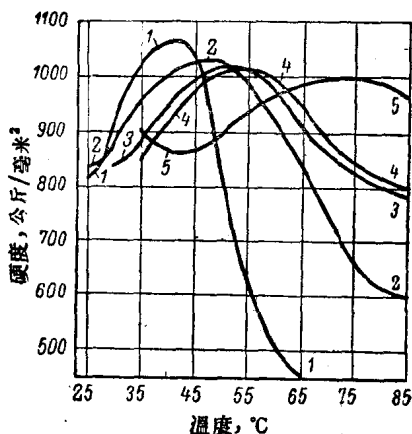


圖 4 鉻沉積物硬度與鍍鉻時溫度和電流密度的關係：

1—10安培/分米²；2—20安培/分米²；3—50安培/分米²；4—100安培/分米²；5—500安培/分米²，電解液成份： CrO_3 —250克/升； H_2SO_4 —2.5克/升。

5 示有獲得烏光（灰色）、光澤和乳白鉻鍍層的典型電解規範範圍。

當低溫（約 $35 \sim 40^\circ\text{C}$ ）時，不論採用何種電流密度，陰極上均會沉積出烏光鉻鍍層。但當提高電流密度時，能使沉積烏光鉻鍍層的溫度範圍擴大。在此種電解規範條件下所獲得鉻鍍層的特性是脆性高。

光澤鉻鍍層是在中等溫度（ $45 \sim 65^\circ$ ）和較寬電流密度範圍條件下獲得的。在較高溫度條件下也可能沉積出光澤鉻鍍層，但須採用濃度較稀的電解液和較高的電流密度。光澤鉻具有很高的硬度，與零件母體金屬的結合性亦良好，而且脆性較低。

乳白鉻鍍層是在較高溫度（65°以上）和較寬電流密度範圍條件下沉澱出來的。乳白鉻鍍層與其他鉻鍍層相比較，具有不高的硬度和韌性，有最低的孔隙率和較高的化學安定性。

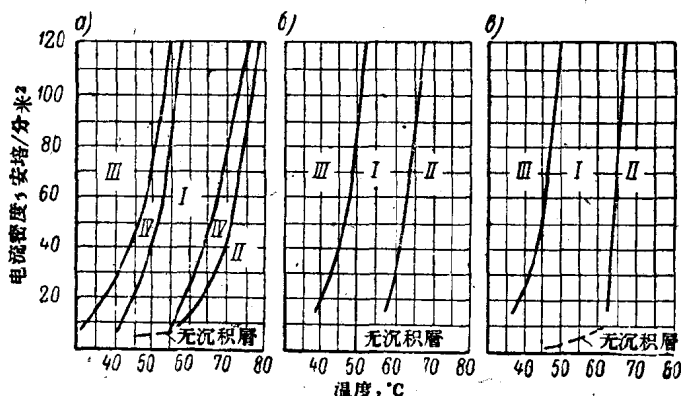


图 5 获得各种鉻鍍層的区域范围:

I—光澤鉻；II—乳白鉻；III—灰色鉻；IV—过渡沉澱层区域；電解液內 CrO_3 的濃度：a—150 克/升；b—250 克/升；g—350 克/升。

当電流密度值很低，平均約为 4~5 安培/分米² 时，陰極上不能沉澱上金屬。在此种条件下产生两个过程：1) 六价鉻还原成三价鉻 ($\text{Cr}^{6+} + 3e \rightarrow \text{Cr}^{3+}$)；2) 析出氫气 ($2\text{H}^+ + 2e \rightarrow \text{H}_2$)。

電解规范对鉻沉澱物的金相組織影响很大。由于電沉澱条件的不同，鉻的結晶主要呈两种形式：体心立方体晶格的鉻（安定結晶）和六角形晶格的鉻（不安定結晶）。

当陰極上沉澱物形成时，六角形晶格的鉻变成立方体晶格的鉻。与此同时，从晶格中还将析出一部分霧状氫。轉变过程中还将使結晶体积縮小。結晶体积的縮小是陰極金屬壓縮和鉻鍍層內产生剩余抗張應力的結果。当金屬內形成的應力值超过鉻的强度极限时，鉻鍍層将产生破裂。表面上产生如图 6 a 所