

模具材料及热处理

QPQ 盐浴复合处理技术及其应用

南阳市华骏电源技术有限公司(河南南阳 473006)

杨凌平

南阳理工学院

吴书芳

【摘要】概述了 QPQ 盐浴复合处理技术的发展和基本原理,阐述了 QPQ 盐浴复合处理渗层的力学性能及技术应用特点,介绍了 QPQ 盐浴复合处理技术在模具制造中的应用。

关键词 QPQ 盐浴复合处理 表面处理

1 概述

“QPQ”是英文“Quench—Polish—Quench”的缩写,从字面解释其原意为淬火(快冷)—抛光—淬火(快冷),而从专业技术角度来讲,是对工件(或制品)作了盐浴复合处理后,为降低工件的表面粗糙度值,对工件进行一次抛光,然后在盐浴中再作一次氧化处理。这对机械制造中的精密零件和表面粗糙度值要求较低的工件而言,无疑是必要的;同时,QPQ 技术的发展已成为机械零件表面改性强化的一种重要方法。在提高金属表面力学性能方面,它不但具有其它金属表面处理方法相似的作用,而且在某些方面还有其它方法所不能企及的优点。

QPQ 盐浴复合处理技术是一种新的金属盐浴表面改性强化技术。金属在两种不同性质的低温熔盐中作复合处理,使多种元素同时渗入金属表面,形成由几种化合物组成的复合渗层,从而使金属表面得以改性而强化。与提高耐磨性的单一热处理技术和提高抗蚀性的单一表面防护处理技术不同的是,QPQ 盐浴复合处理技术是一种可以同时大幅度提高金属表面的耐磨性和抗蚀性、而工件几乎不变形的新的金属表面改性强化技术。不仅如此,此技术还可作到全工艺过程无公害。

QPQ 技术主要用于要求高耐磨、高抗蚀、耐疲劳、微变形的各种钢铁及铁基粉末冶金件,常用于替代渗碳淬火、离子渗氮、软氮化等热处理和表面强化技术,以提高耐磨、耐疲劳性能和解决硬化变形问题。它也被用来代替发黑、镀铬、镀硬铬、镀镍等表面防护技术。

因此,QPQ 技术应该说是盐浴复合处理技术的完善和发展。为叙述方便,本文把不加抛光工序的盐浴复

合处理和增加了抛光工序的 QPQ 技术统称为 QPQ 盐浴复合处理技术。

QPQ 盐浴复合处理技术的核心是无公害盐浴配方,该盐浴配方原由德国迪高沙公司独家垄断。国内有关单位经过努力已开发出综合性能达到德国水平的配方,且成本低廉,被列为九五国家重点推广计划。

2 QPQ 盐浴复合处理技术的基本原理

下面按原理、用盐、规范顺序来叙述。

2.1 工艺原理

QPQ 技术的工艺过程大体如图 1 所示。它是在进行无公害盐浴复合处理后增加一道抛光工序,然后再作一次氧化处理。

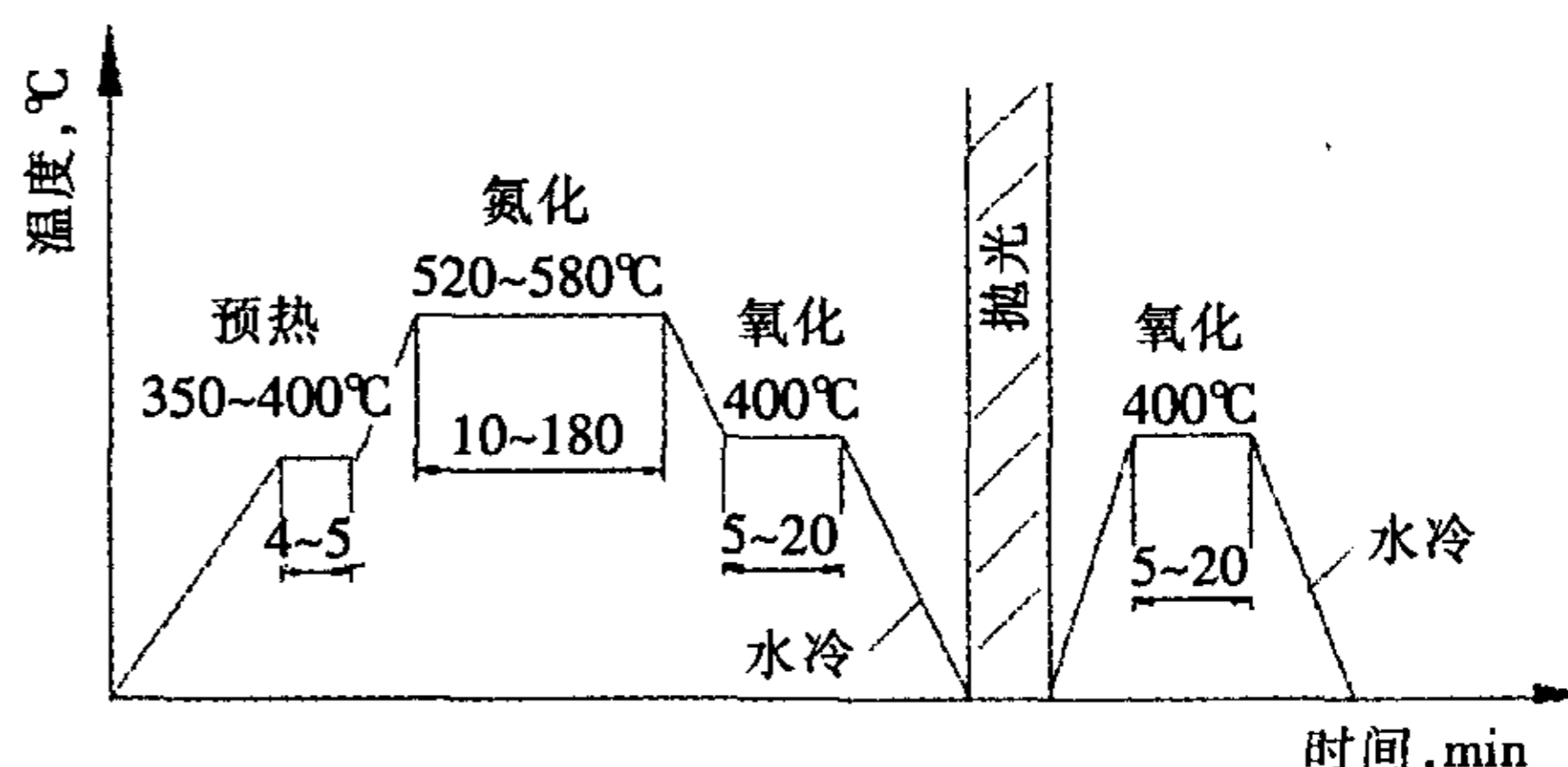


图 1 QPQ 盐浴复合处理的工艺曲线

这一工艺过程所增加的抛光和再氧化工序的目的在于去除氮化层外面的疏松层,并使工件表面补充含氧量,以便进一步提高金属表面的抗蚀性和耐磨性,同时达到美化工件外观之目的。

氰盐(浴)渗氮法、气体软氮化法和无公害的盐浴复合处理技术在工件表面形成的化合物层均不可避免会产生一层疏松层。正常情况下,这种不太致密的疏松层不超过化合物层总深度的 1/3。QPQ 盐浴复合处理技术中的抛光工序可去掉该疏松层。

氧化工序则可以提高化合物最外层的含氧量,这一含氧量的提高可使渗层表面形成数微米的氧化层。据介绍,这种氧化层对提高耐磨件的初期磨合性是有

利的。同时,正是这种具有一定含氧量的渗层具有很好的抗蚀性。

增加一道抛光工序,可使因盐浴复合处理(TF1-AB1)变得粗糙的表面粗糙度值大大降低(如图 2 所示)。粗糙度值降低的同时,抗蚀性有所下降。经过再次氧化(AB1)以后,抗蚀性又得到恢复,同时还保持了抛光后的光洁度。工件经 QPQ 盐浴复合处理后,抗蚀性大幅度提高,外觀光整。

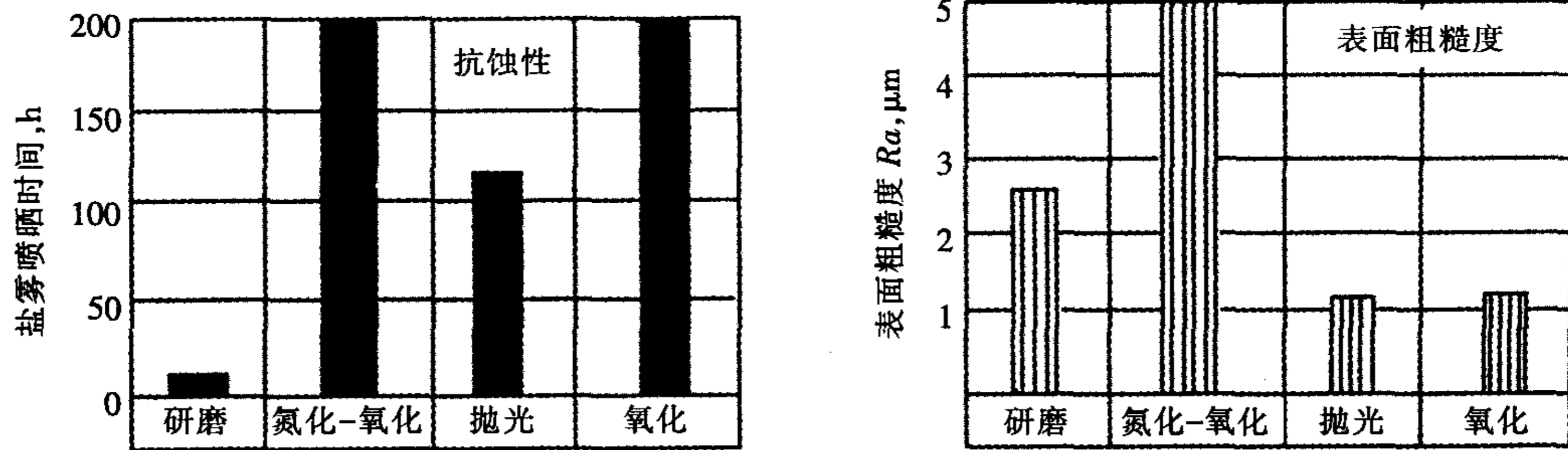


图 2 抛光和再氧化对表面粗糙度和抗蚀性的影响

QPQ 盐浴复合处理技术是以无公害的盐浴复合处理(盐浴渗氮或氮碳共渗)作为基本工艺过程,因此它保留了原有工艺的高耐磨、高抗蚀、耐疲劳、无公害、微变形等一系列优点;同时增加抛光和再氧化工序使抗蚀性大幅度提高,工件外观大为改善。

2.2 生产用盐

QPQ 盐浴复合处理技术的生产用盐有 3 种。

(1) 基盐(氮化基盐, TF1)

基盐在氮化炉内熔化后形成高氰酸根(CNO⁻)的氮化盐浴。基盐除首次开始生产时需熔化装满氮化炉以外,在正常生产中,还应及时补充消耗,以保持正常工作的液(浴)面。

(2) 调整盐(再生盐, REG1)。

在生产过程中,当氮化盐浴的氰酸根下降时,应定期向氮化炉加入调整盐,使盐浴中的氰酸根含量提高到规定的指标范围。

(3) 氧化盐(冷却盐, AB1)。

氧化盐在开始生产初期加入到氧化炉中熔化以后即可作为氧化工序时用。在生产中,也应视消耗情况及时补充。

2.3 常用钢铁材料的处理规范及渗层(见表 1)

表 1 常用材料的处理规范及渗层

材料种类	代表牌号	前处理	氮化		表面硬度 (HV)	化合物层 (μm)
			温度 ($^{\circ}\text{C}$)	时间 (h)		
纯铁			570	2~4	500~650	15~20
低碳钢	Q235-B, 20, 20Cr		570	2~4	500~700	15~20
中碳钢	45, 40Cr	不处理或调质	570	2~4	500~700	12~20
高碳钢	T8, T10, T12	不处理或调质	570	2~4	500~700	12~20
氮化钢	38CrMoAl	调质	570	3~5	900~1000	9~15
铸模钢	3Cr2W8V	淬火	570	2~3	900~1000	6~10
热模钢	5CrMnMo	淬火	570	2~3	770~900	9~15
冷模钢	Cr12MoV	高温淬火	520	2~3	900~1000	6~15
高速钢	W6Mo5Cr4V2(刀具)	淬火	550	5/60~45/60	1000~1200	
高速钢	W6Mo5Cr4V2(耐磨件)	淬火	570	2~3	1200~1500	6~8
不锈钢	1Cr13, 4Cr13		570	2~3	900~1000	6~10
不锈钢	1Cr18Ni9Ti		570	2~3	950~1100	6~10
不锈钢	0Cr18Ni12Mo2Ti		570	2~3	950~1100	总深:20-25
气门钢	5Cr21Mn9Ni4N	固熔	570	2~3	900~1100	3~8
灰铸铁	HT200		570	2~3	500~600	总深:0.1mm
球铸铁	QT500-7		570	2~3	500~600	总深:0.1mm

3 QPQ 盐浴复合处理渗层的力学性能

3.1 耐磨性

耐磨性在很大程度上取决于材料的硬度,但宏观硬度并不是衡量耐磨性的唯一指标。例如:硬度同样为

63HRC 的碳素钢和高速钢的手工用板牙,在不涉及红硬性的条件下,后者耐磨性比前者高许多倍,这是由于后者组织中含有大量碳化物硬质点所致,即由于金属组织结构不同所致。同样,经 QPQ 盐浴复合处理的 45 钢,其表面硬度虽然仅有 650HVC(57HRC),但它的耐磨性却比硬度为 63.5HRC 的渗碳淬火件高 9 倍以上,这也是由于组织不同所致。渗碳淬火件表面组织以含碳马氏体为主体,碳势高时还间有过剩碳化物。而 QPQ 盐浴复合处理的 45 钢,其表面为高浓度氮化物层,氮化物的耐磨性远高于碳化物(Fe_3C 或合金碳化物)和含碳马氏体,因而它的耐磨性并不完全取决于材料的宏观硬度。

QPQ 盐浴复合处理后,金属表面硬度比心部(基体材料)硬度大幅度提高,同时,它的表层组织富含氮化物,因而可以大大提高表面的耐磨性。不仅如此,处理后的金属疲劳强度提高、摩擦系数降低,这也对防止产生疲劳磨损和胶合磨损有一定的贡献。

合金钢经 QPQ 盐浴复合处理后表面硬度比碳钢高,合金元素含量越高则表面硬度越高,其耐磨性也越高。淬火态的高速钢经 QPQ 盐浴复合处理后,表面硬度可达 1500HV 以上,接近了硬质合金的硬度。

研究表明,QPQ 盐浴复合处理不仅大大降低了常规磨损,同时由于工件表面形成的渗层大大减小了工件间的亲合力,降低了摩擦系数,因而大大减少了工件间的摩擦热,故能降低热胶合的可能性。

3.2 抗蚀性

高抗蚀性是 QPQ 盐浴复合处理技术的另一大特点。它的抗蚀性远高于镀铬、镀镍等表面防护技术的水平,甚至高于一些不锈钢。这种抗蚀性主要源于在金属表面所形成的 $Fe_{2-3}N$ 化合物和致密层的 Fe_3O_4 氧化膜,使得金属件在大气中、盐雾中、弱酸、浓碱等条件下具有很高的抗蚀性,抛光并再次氧化以后,不仅使化合物层更趋致密,而且氧还深入到化合物层厚度的一半以上,并且延伸到更深的孔隙处。吸氧的化合物层进一步钝化,从而使金属表面具有更高的抗蚀性。

在按德国 DIN50905 标准进行的整体浸入试验中,碳素钢经 QPQ 处理后,其抗蚀性为镀硬铬的 15 倍,为装饰铬的 8 倍,为镀镍层的 3.4 倍,与铜—镍—铬三层复合镀相同。美国通用电器公司(GE)采用 QPQ 盐浴复合处理技术取代火车内燃机缸套镀硬铬工艺,不仅消除了六价铬的公害,降低了成本,还大大提高了缸套的

抗蚀性和耐磨性。

3.3 耐疲劳性

QPQ 盐浴复合处理技术可显著提高材料的耐疲劳性能。耐疲劳性能的提高主要依靠化合物层以下的扩散层作用。碳素钢疲劳强度的提高主要依赖于冷却到室温后从过饱和的含氮铁素体中沉淀出不稳定的 α'' (Fe_8N)氮化物;在合金钢中是由于渗氮时在扩散层中存在着微细合金氮化物沉淀。这两种类型的沉淀均会阻碍位错的移动,从而提高了材料的疲劳强度。QPQ 盐浴复合处理之所以能够提高材料的疲劳强度,目前较普遍的看法是因为提高了扩散层硬度,并保持高韧度,即疲劳强度的提高主要在于扩散层的作用。

QPQ 盐浴复合处理可以使钢、铸铁、烧结材料的疲劳强度提高 20%~200%。疲劳强度提高的程度受基体材料、预先处理状态、QPQ 盐浴复合处理的工艺参数和疲劳强度测试方法等因素的影响。

4 QPQ 盐浴复合处理技术的特点

除了获得上述的高耐磨、耐蚀、耐疲劳特性以外,QPQ 处理技术还具备以下效果。

(1)极小的变形。

QPQ 盐浴复合处理后工件的尺寸和形状几乎无变化。在最佳工艺状态下,工件尺寸的胀缩量仅仅为 0.005mm,工件形状的变化也极小。据介绍,对 508×457×1.5mm 的 2Cr13 不锈钢板进行处理,其平面度保证在 0.05mm。

(2)节能效果可观。

与常规热处理技术相比,该技术处理温度低,保温时间短,可以大幅度节能,与渗碳淬火相比,可节能 50%以上。

(3)用途广泛。

该技术适用于各种结构钢、工具钢、耐热不锈钢、纯铁、铸铁及各种铁基粉末冶金件。

该技术可替代高频淬火、渗碳淬火、镀硬铬和离子渗氮以及作为抗蚀技术的镀铬、镀镍、镀锌、磷化和高级发黑等加工方法。

5 QPQ 盐浴复合处理在模具制造中的应用

QPQ 盐浴复合处理广泛应用于各类模具,用于提高已经热处理模具的寿命或直接替代模具的热处理。

对用于金属成形的压铸模、热挤压模、热锻模及拉

伸模等承受较大压力的模具,为了保证模具有较高的整体强度,必须进行正常的热处理,然后再作 QPQ 盐浴复合处理,其目的在于提高模具的使用寿命。

5.1 热挤压模具

近年来,铝合金建筑材料的用量日益提高,用于铝合金成型的模具寿命亟待提高。这类模具多采用 H13 热作模具钢制造,该钢种回火抗力高,经 1020~1040℃淬火、550℃回火后,硬度仍可保持在 55HRC 以上。因此在进行 QPQ 盐浴复合处理后,模块心部硬度仍保持在 50HRC 以上。所以采用 H13 制造的模具应先淬火回火,然后再作 QPQ 盐浴复合处理。

铝型材模具失效多是因为模具内孔磨损和拉伤,采用 QPQ 盐浴复合处理后,在模具内孔形成厚度 10 μm 以上的化合物层,硬度达 900HV 以上,使内孔耐磨性大大提高,并减小了模具与铝材之间的摩擦系数,因而可以大大减轻内孔的磨损和拉伤。

5.2 热锻模具

作为金属锻造成形用的热锻模具,首先要求模具有较高的强度、硬度,具有抗压塌、抗变形和一定的抗磨损能力;同时还要求有较高的抗冲击破坏和抗高温金属粘模的性能。因此,锻模的硬度一般不宜太高,中小型锻模为 39~42HRC,大型锻模为 35~40HRC。常用的经济锻模材料为 5CrMnMo 和 5CrNiMo,这两种材料在 520~540℃回火后硬度均可保持在 35~40HRC,QPQ 盐浴复合处理对这类大型锻模较适用。如对中小型锻模或其它要求较高的模具可选用 4Cr5MoVSi (H11) 等热作模具钢,经 QPQ 盐浴复合处理,心部硬度可达 50HRC(1050℃淬火,600℃回火)。最外层为 Fe₃O₄ 氧化膜,向内为 10 μm 左右的化合物层,化合物层下的扩散层达 100 μm ,渗层表面硬度达 1100HV。

热锻模经 QPQ 盐浴复合处理后,减轻了锻模与锻件的摩擦,使相对滑动性更加良好,不易产生粘附、咬合、热胶着现象,提高了锻模的抗氧化性、耐热疲劳性及耐磨性,可使 4Cr5MoVSi(H11)热锻模寿命提高 3~10 倍。

5.3 压铸模具

压铸模以铝合金压铸模用量最大,其材料原来多采用 3Cr2W8V,近年来逐渐为 4Cr5MoV1Si(H13)所

取代。

无论是 3Cr2W8V 还是 4Cr5MoV1Si(H13),预先热处理均采用 1020~1050℃淬火,560~600℃两次回火(后者取下限),硬度在 40~45HRC,热处理后再作 QPQ 盐浴复合处理,表面形成了氧化膜,10 μm 左右的化合物层及一定深度的扩散层,表面硬度达 900HV,大大降低了粘模倾向,增加了耐磨性、抗蚀性和抗热疲劳特性,有效地降低了冷热循环时产生疲劳裂纹的几率。

5.4 橡胶、塑料模具

用于橡胶、塑料制品的成型压注模具,工作时由于受到压制坯料的摩擦,产生磨损。由于橡胶和塑料中均有填充剂等辅助材料,热状态下对模具均有一定的腐蚀性。模具工作温度可达 200~250℃,故易产生粘模、腐蚀、磨损等现象。但分析橡、塑模的服役条件及失效形式后可知,模具对整体强度要求并不高,其高硬度要求仅在于提高模具表面的耐磨性。因此,一般的橡塑模采用退火、正火或调质处理后再作 QPQ 处理就可保证所要求的高抗蚀性、耐磨性和良好的抗粘着性能。

5.5 玻璃模具

玻璃模具由于经常与红硬的高温玻璃相接触,很容易造成腐蚀、粘模、热疲劳等缺陷,使模具的使用寿命大大降低。

过去,玻璃模具多采用 T12A、9SiCr、Cr12MoV 等工具钢制造,不仅提高了材料成本,同时增加了加工成本。目前,有些厂家采用 45 钢等结构钢调质、直接加工成形并达到尺寸精度和粗糙度值要求,然后进行 QPQ 处理。这样的选择和处理使模具表面不仅没有氧化、脱碳层,而且由于形成了耐磨性极高的化合物层而使模具寿命大大提高。如成都某厂将玻璃模具材料由 4Cr13 改为 40Cr,进行 QPQ 处理后,表面抗高温氧化能力及抗锈蚀能力远高于淬火的 4Cr13,使玻璃模具寿命提高 2~3 倍,模具成本也大大降低。

参 考 文 献

- 1 李惠友等. QPQ 盐浴复合处理技术[M]. 北京:机械工业出版社,1997.
- 2 日本热处理技术协会. 热处理指南(上)[M]. 北京:机械工业出版社,1987.