

模具实用技术丛书

模具精饰加工 及表面强化技术

模具实用技术丛书编委会 编

强调实用

图例为主

机械工业出版社

CG76
186

社

TG76
M86

449822

模具实用技术丛书

模具精饰加工及表面强化技术

模具实用技术丛书编委会 编



00449822



机械工业出版社

3

本书第1章至第4章较全面地介绍了模具各种表面强化方法,第5章至第7章介绍了模具精饰加工的各种方法。各章内容均以工程实际应用为目的,每种工艺方法均先简明地介绍必要的理论知识,使读者形成完整清晰的概念,再详细地介绍应用和操作方面的内容。每章都有许多实例,以帮助读者了解各种方法的应用范围、实用效果、操作方法,从而更好地付诸应用,解决实际问题。

本书可供从事模具生产的工程技术人员、工人阅读,也可供大专院校师生参考。

图书在版编目(CIP)数据

DY50/38 25

模具精饰加工及表面强化技术/模具实用技术丛书编委会编.

—北京:机械工业出版社,1999.10

(模具实用技术丛书)

ISBN 7-111-07373-8

I. 模… I. 模… II. ①模具-精细加工-技术

②模具-表面-强化-技术 N.TG76

中国版本图书馆CIP数据核字(1999)第45926号

机械工业出版社(北京市百万庄大街22号 邮政编码100037)

责任编辑:何月秋 版式设计:张世琴 责任校对:吴美英

封面设计:姚毅 责任印制:何全君

北京京丰印刷厂印刷·新华书店北京发行所发行

1999年10月第1版第1次印刷

787mm×1092mm¹/₁₆·17.75印张·426千字

0 001—4 000册

定价:28.00元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

本社购书热线电话(010) 68993821、68326677-2527

模具实用技术丛书编委会

主 编	许发樾				
副主编	王家瑛	肖振祥	陈锡栋	赵振铎	
	靖颖怡	雷 毅			

本书主编与编审人员

主 编	陈锡栋				
参 编	付 丽	齐卫东	周小玉	宋长津	刘 群
主 审	许发樾				

序 言

机械工业出版社出于对我国模具工业发展的关心和支持,委托我组织一批“老模具”以及对模具生产技术颇为熟悉并具有实践经验的专家、工程技术人员和高校教师,编写一套适用于模具工程技术人员、工人和院校有关专业师生参考使用的、实用性强的丛书。本人从事模具生产技术研究、模具标准化以及模具行业技术组织工作多年,对我国模具工业的情况还是多少了解一些的,觉得编写出版这样一套丛书,对推动模具生产技术的进步确有好处,也就不揣浅陋,欣然受命了。

这套书定名为《模具实用技术丛书》,顾名思义,每本书的内容和形式都必须强调实用性,编写格式主要采取“题例”形式,以实用为主,保持每本书相对的独立性、先进性及一定的系统性和完整性。

丛书的内容偏重模具制造中实用性的专门技术,如模具生产中常见与专用的工装夹具,凸、凹模型面精饰加工与强化技术,模具材料与寿命,模具零件失效修复技术等。由于模具设计和设计手册等综合性的书已经不少,再写设计方面易重复,因此本套丛书偏重补充或补漏,如冲模设计应用实例,简易、快速的经济模具设计与制造,组合冲模设计与制造等均专门写成书进行说明与介绍。

这套强调实用并以示例形式写成的丛书,第一批为六本。由于技术资料收集困难,文字水平不高,定有许多不尽如人意的地方,恳切希望同行们不吝赐教,提出改进意见。若认为这套书确实有助于读者解决有关生产技术中的问题,我们将感到非常欣慰。

本书第1、2、3章由陈锡栋编写,第4章4.1、4.2节由宋长津编写,4.3节由刘群编写,第5章由王丽编写,第6章由齐卫东编写,第7章由周小玉编写。全书由陈锡栋统稿。

主编 许发樾

目 录

序 言

第 1 章 模具工作零件的表面

强化 1

1.1 模具寿命对模具工作零件表面

强化的要求 1

1.1.1 模具的种类 1

1.1.2 模具失效的基本形式 1

1.1.3 模具工作条件对其工作零件

表面强化的要求 3

1.2 模具工作零件表面强化的方法 4

1.3 模具工作零件表面强化层

的特性 8

第 2 章 模具工作零件的化学热处理

表面强化 11

2.1 概述 11

2.2 渗碳 12

2.2.1 渗碳的化学过程 12

2.2.2 影响渗碳结果的主要因素 13

2.2.3 固体渗碳 14

2.2.4 气体渗碳 16

2.2.5 渗碳应用实例 20

2.3 渗氮 24

2.3.1 渗氮的理论基础 25

2.3.2 气体渗氮 26

2.3.3 离子渗氮 29

2.3.4 碳氮共渗 30

2.3.5 氮碳共渗(软氮化) 32

2.3.6 渗氮应用实例 35

2.4 渗硼 43

2.4.1 渗硼的理论基础 44

2.4.2 粉末固体渗硼 45

2.4.3 膏剂固体渗硼 47

2.4.4 盐浴渗硼 48

2.4.5 渗硼应用实例 50

2.5 多元共渗应用实例 55

第 3 章 模具工作零件的表面沉积覆层

强化 65

3.1 化学气相沉积(CVD) 66

3.1.1 化学气相沉积的概念 66

3.1.2 化学气相沉积 TiN 67

3.2 物理气相沉积(PVD) 72

3.2.1 真空蒸镀 73

3.2.2 空心阴极离子镀 75

3.2.3 多弧离子镀 77

3.2.4 物理气相沉积的工艺 79

3.2.5 用多弧离子镀膜机镀氮化钛 81

3.2.6 物理气相沉积应用实例 82

3.3 等离子体化学气相沉

积(PCVD) 85

3.3.1 设备与工作原理 85

3.3.2 工艺过程 86

3.3.3 TiN 涂层的性能与应用 86

3.4 TD 处理 88

3.4.1 TD 处理的工艺 88

3.4.2 涂层的质量控制 90

3.4.3 碳化物层的性质 91

3.4.4 涂层的各项性能 91

3.4.5 TD 处理应用实例 94

第 4 章 模具工作零件的其它表面强化

方法 98

4.1 激光表面强化 98

4.1.1 激光的原理与特点 98

4.1.2 激光表面强化的设备 100

4.1.3 激光表面强化的原理与工艺 101

4.1.4 激光表面强化应用实例 106

4.2 火焰表面淬火 108

4.2.1 火焰表面淬火的特点 108

4.2.2 火焰表面淬火用模具材料 109

4.2.3 火焰表面淬火的工艺及方法 111

4.2.4 火焰表面淬火应用实例 117

4.3 离子注入表面强化 119

4.3.1 离子注入表面强化的应用 119

4.3.2 离子注入的原理 120

4.3.3	离子注入的设备	121	6.1.2	磨料与研磨剂	203
4.3.4	离子注入对金属材料的改性作用	126	6.1.3	研磨工艺	205
4.3.5	离子注入应用实例	129	6.1.4	抛光	212
第5章	电镀与化学镀	132	6.1.5	研磨、抛光的机械化、自动化	215
5.1	电镀的应用与设备	132	6.2	超精研抛	224
5.1.1	电镀的应用	132	6.2.1	超精研抛的工作原理	224
5.1.2	电镀设备	132	6.2.2	超精研抛具	227
5.2	槽液配方和电化学原理	138	6.2.3	超精研抛液	229
5.2.1	镀铬液的配方和配制	138	6.2.4	超精研抛工艺参数	229
5.2.2	镀铬过程的机理	138	6.3	超声波抛光	230
5.2.3	镀铬过程的特点	139	6.3.1	超声波抛光的基本原理	230
5.2.4	镀铬过程的电极反应	139	6.3.2	超声波抛光机	232
5.3	电镀工艺过程及质量检查	144	6.3.3	超声波抛光工艺	236
5.3.1	镀铬工艺过程	144	6.3.4	超声波抛光效率及其影响因素	238
5.3.2	镀层的质量检查、缺陷及退除	153	6.3.5	手工研磨与超声波抛光的对比实验	239
5.3.3	电镀用工具	154	6.3.6	电火花超声复合抛光	240
5.3.4	镀镍液的配方及配制	157	6.3.7	超声清洗	243
5.3.5	镀镍的工艺过程	158	6.4	挤压珩磨	243
5.4	电镀应用实例	159	6.4.1	挤压珩磨的基本原理	243
5.5	化学镀镍磷合金	166	6.4.2	挤压珩磨的工艺特点	243
5.5.1	化学镀镍磷的应用	166	6.4.3	粘性磨料介质	244
5.5.2	化学镀镍磷的原理	166	6.4.4	挤压珩磨的夹具	244
5.5.3	化学镀镍磷的反应式	166	6.4.5	挤压珩磨的加工后处理	245
5.5.4	化学镀镍磷溶液的配制	167	6.4.6	挤压珩磨工艺参数和工艺规律	246
5.5.5	化学镀镍磷的组织结构	169	6.4.7	挤压珩磨的应用	247
5.5.6	化学镀镍磷的应用实例	170	6.5	电解修磨抛光	248
5.6	电刷镀及其应用	176	6.5.1	电解修磨抛光的原理	248
5.6.1	电刷镀的基本原理	176	6.5.2	电解修磨抛光的特点	248
5.6.2	电刷镀的设备	177	6.5.3	电解修磨抛光的设备	249
5.6.3	电刷镀的表面准备及温度控制	184	6.5.4	电解液	251
5.6.4	电刷镀溶液	185	6.5.5	电解修磨抛光的工艺过程	251
5.6.5	镀镍层起泡和脱壳的原因及预防	191	6.5.6	影响电解修磨抛光的主要因素	252
5.6.6	电刷镀工艺	191	6.5.7	电解修磨抛光应用实例	253
5.6.7	电刷镀应用实例	195	第7章	照相腐蚀	254
第6章	模具工作零件表面的研磨与抛光	201	7.1	概述	254
6.1	研磨	201	7.1.1	特点及其对模具工作零件的要求	254
6.1.1	研磨的工作原理	201	7.1.2	应用	256

7.1.3 工艺过程.....	256	7.4.4 修模及涂保护层.....	262
7.2 画稿和制版	256	7.5 腐蚀	262
7.2.1 选择图形和花纹.....	256	7.5.1 腐蚀液的配制.....	262
7.2.2 画稿.....	256	7.5.2 腐蚀原理.....	262
7.2.3 制版.....	256	7.5.3 侧面腐蚀.....	263
7.2.4 用于贴曲面的模具制版.....	258	7.5.4 腐蚀方法.....	263
7.2.5 阴阳版.....	259	7.5.5 腐蚀过程中应注意的问题.....	264
7.2.6 版的后处理.....	260	7.5.6 去胶.....	264
7.3 模具工作零件表面处理与涂胶	260	7.6 照相腐蚀应用实例	264
7.3.1 表面处理.....	260	附录	267
7.3.2 涂布感光胶.....	260	附表 A 压强单位换算表	267
7.4 显影	261	附表 B 布氏、洛氏、维氏硬度换算表	267
7.4.1 曝光.....	261	附表 C 日中钢号对照表	268
7.4.2 显影.....	261	参考文献	270
7.4.3 坚膜.....	262		

第 1 章 模具工作零件的表面强化

1.1 模具寿命对模具工作零件表面强化的要求

1.1.1 模具的种类

模具的种类繁多,各种模具的工作条件差异很大,失效形式也各不相同。为延长模具寿命应根据模具的工作条件和模具的失效形式寻找出最有效的模具表面强化方法。模具可以分为以下几类:

- (1) 冲压模具 包括冲裁模、弯曲模、拉深模、成形模以及复合模、级进模等。
- (2) 塑料成形模具 包括注射模、热固性塑料模、挤出成形模、吹塑成形模等。
- (3) 压铸模 包括有色金属压铸模、黑色金属压铸模。
- (4) 锻造成形模 包括锤锻模、压力机锻模。
- (5) 粉末冶金模。
- (6) 玻璃制品模。
- (7) 橡胶制品成形模。
- (8) 陶瓷模具。

(9) 经济模具(简易模具) 包括低熔点合金成形模具、薄板冲模、硅橡胶模、环氧树脂模等。

1.1.2 模具失效的基本形式

模具失效的基本形式有断裂与疲劳、塑性变形、磨损、咬合、冷热疲劳等几种。

1. 模具工作零件的断裂与疲劳失效 模具在使用过程中突然出现大裂纹或分离为两部分或数部分,使模具毁坏而不能使用,属于断裂失效。常见的断裂失效形式有:崩刃、劈裂、折断、脆裂等,模具的断裂可分为一次性断裂和疲劳断裂两类。

一次性断裂是指模具在工作时其工作零件突然断裂,它的主要原因是严重超载或模具零件材料严重脆化;模具结构设计不当;制造工艺粗糙或冲压时操作不当等。

疲劳断裂是模具经过较长时间的使用而发生的断裂,与一次性断裂不同的是疲劳断裂的断口可见到光亮区,即在断裂面上有一部分经过长期磨合而被磨得光亮的部分。疲劳断裂的发展过程:模具工作时,在其工作零件的应力最大处或应力集中处萌生微裂纹,在冲压力的作用下,微裂纹缓慢扩展,其有效承载面积逐渐缩小,直至外加应力超过零件材料的断裂强度,发生突然断裂。防止疲劳断裂的主要对策:一是降低工作应力,二是降低模具表面粗糙度值和采用模具表面的强化工艺,减少产生微裂纹的机会。

2. 模具因工作零件产生的塑性变形失效 模具工作零件在使用中出现型腔塌陷、型孔胀大、棱角倒塌,以及凸模墩粗、纵向弯曲而使模具不能用的情况,均属于塑性变形失效。

产生塑性变形的根本原因是模具工作时其工作零件的局部内应力超过了材料的屈服强度。对于冷作模具来说是因为工作零件的材料强度不足,或是热处理工艺不正确,未能充分

发挥模具钢的强韧性。

热作模具工作零件发生塑性变形的原因除上述外还有一个很重要的原因,即高温软化,在热锻作业中,模具的工作面与高温的坯料接触,往往使型腔表面温度超过模具钢的回火温度。在如此高的温度下,模具钢的强度仅为室温强度的 $1/2$ 或 $1/3$,很容易在外力作用下发生变形。

防止模具因其工作零件塑性变形而失效的方法,主要是提高材料的硬度,对于热作模具,要提高其工作零件在高温下的硬度,即红硬性。当进行表面强化或制定表面处理工艺时,须注意表面处理温度对工作零件基体材料及其热处理性能的影响。基体材料没有足够的硬度,将难以使优良的表面超硬层发挥应有的作用。

3. 模具因工作零件产生磨损失效 模具工作零件表面与被加工坯料相互摩擦,引起表面损耗,使其几何形状发生变化而不能继续使用,属于磨损失效。磨损失效可表现为:刃口钝化、棱角变圆、平面下陷、表面产生沟痕、剥落等。

模具因工作零件发生磨损失效的根本原因是摩擦,这与工作零件的表面硬度、摩擦因数、耐磨性以及表面粗糙度有直接关系。热作模具的型腔表面由于受热而软化,因而其耐磨性大为降低。此外,高温氧化腐蚀作用又会加速磨损。

在正确进行模具设计和选择模具工作零件材料的前提下,采用适当的表面处理工艺是克服模具磨损的有效措施。

4. 咬合失效 当冲件材料与模具工作零件表面接触时,在高压摩擦下,润滑油膜破裂,发生咬合。此时,被冲压件金属“冷焊”在其型腔表面,使工件表面被冷焊在型腔表面的金属瘤划出道痕。

在弯曲、拉深、拔管、冷镦、冷挤等作业中,咬合是常见的一种模具失效形式。

当工件表面出现划痕和拉沟后,就必须将模具工作零件卸下进行研磨抛光。在某些拉深作业中,有的仅拉深数十次就出现咬合现象,不得不对其进行修整。要求外观光滑的各种仪表、电器、汽车、轻工产品的拉深件,对咬合最敏感。这类模具中咬合是主要的失效形式。

被拉深材料的性质,对咬合现象有很大影响。镍基合金、奥氏体不锈钢、精密合金等对模具工作零件表面有较强的咬合倾向。因此在拉深上述材料时,应特别注意防止咬合失效。

模具工作零件进行适宜的表面强化处理后,可有效地防止模具的咬合失效。

5. 模具因工作零件产生冷热疲劳失效 在急冷急热条件下使用的热作模具,锻压数千次或数百次后,型腔表面会出现许多细小的裂纹,其形状有网状、放射状、平行状等。这些裂纹不会向纵深扩展。出现裂纹后,将明显影响工作零件的表面粗糙度。特别是金属压铸模和精锻模常因其工作零件表面冷热疲劳而使模具失效。因此这类模具的使用寿命,主要决定于工作零件表面出现冷热疲劳裂纹的时间。

冷热疲劳发生发展的过程如下:锻压的钢件或熔化的金属与模具工作零件表面接触时,模具工作零件表面迅速升温到 $600\sim 900\text{ }^{\circ}\text{C}$,而内层尚处于较低的温度。表层受热而膨胀,但受内层的约束,因而在表面产生压应力。压应力的数值一般均大于模具工作零件材料在该状态下的屈服强度,因而引起塑性变形。工件脱模后,由于向模具工作零件表面喷撒冷却剂,使模具工作零件表面急剧冷却而收缩。当模具工作零件表面收缩受到约束时,便产生切向拉应力。这样在其表面产生的循环热应力,是引起冷热疲劳的根本原因。高温汽化、冷却水的电化学腐蚀以及坯料的摩擦作用,加速了冷热疲劳的过程。因此,冷热疲劳过程是复杂的物理

化学过程。

选用合适的模具工作零件材料，并进行表面强化处理可以提高热作模具的寿命。

1.1.3 模具工作条件对其工作零件表面强化的要求

1. 冷作模具的工作条件及其对工作零件表面强化的要求 冷作模具的种类很多，主要用于完成金属或非金属材料的冲裁、弯曲、拉深、锻造、挤压等工序。由于加载方式及被加工材料的性质、规格不同，各种模具的工作条件差别很大，因而其失败形式也不相同。

冲裁模的工作部位是刃口，在冲裁厚板时，特别是在厚板上冲小孔时，凸模和凹模的应力很大。凸模在冲裁和从板料中拔出时，受到强烈的摩擦。因此，对冲裁模的要求是刃口表面要有很高的硬度和很好的耐磨性。对于细长的凸模还要求不变形、不断裂，因而要求基体具有足够的韧性。冷挤压模在工作时要使被加工材料的体内达到屈服点，使材料产生塑性流动，不仅凸模受到的应力很大，凹模也要承受巨大的拉应力，常被挤裂。由于金属在型腔中剧烈流动，使凸模和凹模的工作表面受到剧烈的摩擦。这种摩擦和金属材料的变形，将产生热量，使模具表面的瞬时温度达到 200~300℃。总之，冷挤压模要求表面有高的硬度、耐磨性和低的摩擦因数。

拉深模用于对软质板材拉深成形，模具的工作应力一般不大，主要失效形式是咬合和磨损，要求模具工作表面具有较低的摩擦因数，不发生粘附磨损和擦伤，具有较高的耐磨性能。

2. 塑料模具的工作条件及其对工作零件表面强化的要求 塑料制品中大量使用注射和压缩成形。按塑料制品的不同，塑料模具可分为两类：一类是热固性塑料压缩模。它的原料是粉状，如酚醛树脂、三聚氰胺树脂等胶木粉，模具工作时，将胶木粉计量后放入模具中，升温、加压、固化而形成塑料制品；另一类是热塑性塑料注射模，原料多为颗粒状，在注射机中加热熔化，以很大的压力注入塑料模具内而成形。

塑料模具的工作条件是受热（200~300℃）、受压力、受腐蚀性气体的腐蚀、摩擦等。

由于塑料制品经塑料模具加工成形后其表面不再进行任何加工，因而要求制品表面光滑、美观，其表面缺陷直接影响最终产品的质量，因而轻度的磨损和表面形态的恶化就会造成模具的失效。

因此，对模具表面的要求首先是容易获得良好的光滑表面，成形面要求抛光成镜面。光滑表面受到破坏的原因是磨损和腐蚀。塑料模具表面对强化的要求是耐腐蚀、耐磨损和容易抛光，并且适宜多次修整、抛光。

3. 热作模具的工作条件及其对工作零件表面强化的要求 热作模具可分为锤锻模、压力机锻模、热挤压模、压铸模四类。

热作模具在工作中与加热的坯料或熔化的金属材料相接触会使模具工作零件表面温度升高。各种金属材料的加工温度见表 1-1。钢件锻造时其型腔的温度可达 450~600℃，对于热挤压模具，其温度可达 600~800℃；铝合金压铸模工作零件型腔的温度可达 600℃。

表 1-1 各种金属材料的加工温度

金属材料	锻造工艺				压铸工艺				
	铝合金	铜合金	钢	高温合金	锌合金	铝合金	铜合金	铸铁	钢
材料温度 /℃	450~500	700~900	950~1100	1100~1200	400	650	900	1200	1600

热作模具工作零件表面每次使用后一般需用水冷却，在这样的条件下容易形成冷热疲劳失效。

锤锻模和热挤压模在工作中其工作零件表面将受到强烈的摩擦。在锤锻时，由于工件塑性变形引起金属流动，将导致坯料与模具工作零件表面间产生摩擦。热塑性变形时，摩擦力与压力之间不存在比例关系，所受摩擦力比弹性变形情况下复杂得多。热挤压模所承受的摩擦力比锤锻模还要剧烈得多。

摩擦对寿命有重要的影响，常常使模具工作零件产生磨损，使模具型腔尺寸超差而报废，这种磨损还因模具在工作过程中被氧化而加剧。

锤锻模和热挤压模的工作压力都很大，特别是热挤压模的凹模，由于受到流动金属的压力，而使凹模型腔的圆周切向受到很大的拉应力，会使凹模脆裂。

压铸模的工作条件主要有两个特点：其一是承受剧烈的温度变化，容易出现热疲劳现象，造成型腔龟裂；其二是铝合金容易粘附在模具型腔表面。这两个特点是决定模具寿命的主要因素。

1.2 模具工作零件表面强化的方法

模具主要用于工业产品批量和大批量生产中，因此，对模具精度和质量要求很高，而且要求其具有很高的使用寿命。提高模具寿命的关键措施为：合理选择模具工作零件的材料及其热处理工艺，如渗氮、渗硼、多元共渗等化学热处理工艺，这在提高模具寿命方面收到了很好的效果。模具工作时主要依靠工作零件表面的性能，因此，采用表面强化处理工艺，即采用一定的方法使模具工作零件表面形成特种合金，既能满足模具加工性能和提高寿命的要求，又能降低生产成本。

对模具工作零件进行表面处理的目的是在基体材料原有性能的基础上再赋予新的性能。这些新性能主要有：耐磨性、抗粘附性、抗热咬合性、耐热疲劳性、耐疲劳强度、耐腐蚀性等。模具工作零件表面强化的方法主要有三种：第一种是改变表面化学成分的强化方法；第二种是各种涂层的被覆法；第三种是不改变表面化学成分的强化方法。常用模具工作零件表面强化方法的分类见表 1-2，表中列出了从原始的镀铬到最新的 TD 处理法和 CVD、PVD 等多种处理方法。

表 1-2 中的（一）是以改变表面化学成分而达到强化的目的。渗氮、渗硼等化学热处理的方法可以有效地提高模具寿命。采用各种沉积方法将具有高硬度、高熔点、与基体钢材结合能力强的 TiC、TiN、VC、NbC 等碳化物被覆在模具工作零件表面，形成一层硬质薄膜，使材料得到高硬度、耐磨性和耐腐蚀性等优异的力学性能。当 TiC、TiN、VC 等化合物的被覆层具有 2~10 μm 厚时，可以使模具表面具有很高的硬度和耐磨性，使用寿命提高数倍至十几倍；还可以在制件材料和模具表面之间形成润滑膜，起到隔离和润滑作用；应用于冲模可提高模具使用寿命 4~10 倍，应用于塑料模具也有明显的效果。

使用这些被覆工艺可以使包括硬质合金在内的所有模具材料获得前所未有的高耐磨性和抗粘附性。所以凡有高性能要求的模具，生产量特别大的模具，制件为难加工材料的模具，以及在没有润滑等恶劣条件下工作的模具，都必须进行表面处理。

表 1-3 为模具生产中常用表面强化方法的主要参数和性能。部分表面强化方法的性能比较见表 1-4。

表 1-2 常用模具工作零件表面强化方法的分类

(一) 改变表面化学成分的强化方法	
1. 渗碳	气体、固体、液体渗碳
2. 渗氮	渗氮、液体氮碳共渗、气体氮碳共渗
3. 渗硼	固体、液体渗硼
4. 多元共渗	碳、氮、硫、硼等某些元素共渗
5. 离子注入	用离子注入机将铬等离子注入模具表面
(二) 在表面形成各种覆层的被覆法	
1. 电镀	镀镍、镀铬、化学镀等
2. 化学气相沉积 CVD	模具表面被覆 TiN、TiC 等涂层
3. 物理气相沉积 PVD	模具表面被覆 TiN、TiC 等镀膜
4. 等离子体气相沉积 PCVD	模具表面被覆 TiN、TiC 等镀膜
5. 碳化物被覆 TD	模具表面被覆 VC、TiC、Cr ₇ C ₃ 等
(三) 不改变表面化学成分的强化方法	
1. 火焰淬火	CO ₂ 激光器 喷丸硬化法
2. 激光强化处理	
3. 加工强化	

表 1-3 常用表面强化方法的主要参数和性能

表面强化方法	镀铬	镀镍磷	渗氮	渗硼	CVD	PVD	PCVD	TD
表面层成分	Cr	Ni-P	Fe ₂ N-Fe ₃ N Fe ₄ N	FeB、Fe ₂ B	TiN、TiC	TiN、TiC	TiN、TiC	VC、NbC Cr ₇ C ₃
热处理方式	电解液中电解	水溶液中浸渍	气体渗氮 盐浴渗氮 辉光离子 渗氮	粉末渗硼 盐浴渗硼 电解渗硼 气体渗硼	气体法、 加热工件气 体化学反应	气体法、 电极放电	输入反应 气体、电极 放电	盐浴法 电解法 粉末法
处理时模具 的温度/℃	50~80	60~100	500~600	600~1000	900~1200	400~600	200~500	800~1200
时间/h	1~5	1~5	20~100 或 1~8	1~4	4~8	0.5~4	1~2	0.3~8
硬化层厚度 /μm	20~50	20~50	10~20	50~500	5~15	2~5	2~5	5~10
变形倾向	小	小	中	大	大	小	小	大
局部处理	可能	可能	可能	可能	不可能	可能	可能	可能
与热处理工 序的关系	处理前	处理前	处理前	处理后或 同时	处理后	处理前	处理前	处理后或 同时
后加工必要性	有时必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要	不必要
硬化层均匀性	不好	好	好	好	好	较好	好	好
被处理件 的材料	各种金属 非金属	各种金属 非金属	钢 铁	钢铁、Ni 合 金、Co 合金、 硬质合金等	钢铁、Ni 合 金、Co 合金、 硬质合金等	钢铁、Ni 合 金、Co 合金、 硬质合金等	钢铁、Ni 合 金、Co 合金、 硬质合金等	钢铁、Ni 合 金、Co 合金、 硬质合金等

表 1-4 部分表面强化方法的性能比较

性能		表面强化方法	工具钢	硬质合金	镀铬	氮化	渗硼	CVD TiN TiC	PVD TiN TiC	TD 处理 (盐浴浸渍)	
										VC NbC	Cr—C
表层硬度	室 温		1	3	2	2	3	5	5	5	3
	高 温		2	4	1	3	4	5	5	5	5
	加热后室温		1	3	1	2	3	5	5	5	3
耐 磨 性			1	4	2	2	3	5	5	5	3
抗 粘 附 性			1	4	3	2	3	5	5	5	4
抗 氧 化 性			2	3	3	2	4	1	1	1	5
韧 性			5	1	4	2	2	5	5	5	5
抗 变 形 开 裂			—	—	1	5	3	3	3	3	3
疲 劳 强 度			4	—	5	5	3	3	3	3	3
耐 剥 落 性			—	—	1	5	5	5	3	5	5
热 韧 性			3	1	—	4	2	5	5	5	5

注：5~1 依次为好~差。

现将模具工作零件常用的各种表面强化方法简介如下：

(1) 镀硬铬 镀硬铬方法在一部分模具的表面强化中占有重要地位。它具有镀层摩擦因数小，硬度高（1100HV 左右），应用简便，并可反复处理的优点。但要注意，如果镀层厚度选择不合理，就会造成模具过早损坏。在模具承受强压或冲击时镀层容易剥落，造成模具过早损坏。所以冷镦模和冲裁模不可使用镀硬铬，它只适合于加工应力较小的压弯和成形等模具。

(2) 镀镍 无电解镀镍法与电极沉积镀镍不同，Ni 可以均一地析出，镀层均匀，使用还原剂时析出 Ni-P 合金，硬度为 500HV。在 400℃ 烘焙时，可达到 1000HV 左右。它与基体结合力为镀铬的 2~3 倍。所以像 SKD11（相当于我国的 Cr12MoV）等材料制成的模具（电镀前经 500℃ 左右回火）不会因烘焙而降低硬度，在铸造行业中多用于造型模具。但冲压模具很少使用，也不能用于冷镦模，可用于拉深一类的冷作模具。

(3) 化学热处理 化学热处理包括渗碳、渗氮、渗硼、多元共渗等。按处理方法可分为气体法、固体法、盐浴法。选用不同的渗剂和工艺参数就形成气体渗碳、固体渗碳、盐浴渗碳和气体渗氮、固体渗氮等。气体法是将工件置于炉中加热，通入反应气体，在高温下使活化的气体原子渗入工件表面。气体法较为简单，但是处理时间一般较长。固体法是将粉状的固体渗剂与工件埋装在箱内，放入炉中加热，其优点是简便易行，其缺点是渗层质量不很稳定，开箱时空气污染较大。盐浴法是将固体渗剂加热到熔融状态，将工件置于盐浴内加热，一般渗层质量较好，适宜用于渗硼。盐浴渗碳和盐浴渗氮需采用含氰的盐或反应中出现氰化物，这都属于剧毒品，应慎重选用。经盐浴处理的工件要仔细清洗，盐浴液有毒时，其清洗的废

水也有剧毒,所以应用很少。

以渗氮为主的气体氮碳共渗具有处理温度低,表层性能好的优点,在各种冷冲模、压铸模等模具中应用广泛。

渗硼工艺中采用固体(粉末)渗硼和盐浴渗硼最多,渗硼可得到效果显著的硬化层,适于冷冲模、压铸模和热锻模,在模具行业中采用渗硼进行表面强化的报导最多。

多元共渗是使模具具有多种渗层的性能,常见的有硼硫共渗、碳硼共渗、碳氮硼共渗、硫氮共渗、硫氮碳共渗等。多元共渗可分为一次法和多次法。一次法是将多种渗剂共同作用,同时完成几种元素的共渗。多次法是将各种工艺分先后进行。如硼硫共渗是先对工件做粉末渗硼处理,再对工件进行液体渗硫处理,这种方法也称为复合共渗处理。

(4) 化学气相沉积(CVD) 根据化学沉积原理进行表面被覆的方法,称为化学气相沉积法,简称CVD。将需渗层的模具工作零件在真空中加热到 1000°C 左右,然后通入 TiCl_4 、 H_2 、 CH_4 等反应气体,气体遇到高温的工件表面,在高温作用下可生成 TiN 、 TiC 等化合物,并牢固地粘附在模具工作零件表面,形成超硬涂层。由于必须通氢气使反应炉冷却,故一般情况下,被处理零件很难直接淬火,须在CVD处理之后,再在真空炉或气体炉中进行加热淬火处理。因此工件要两次升到高温,这时要特别注意模具工作零件的变形。由于 TiN 、 TiC 硬度高,并且与被加工的钢材亲和力差,所以即使在苛刻的条件下进行塑性加工,也能防止模具的损伤和出现咬合现象。

(5) 物理气相沉积(PVD) 与CVD方法相比较,PVD法属于物理气相沉积。各种PVD设备的工作原理有较大差异,它的基本工作原理是:在高真空镀膜室内通入一定量氩、氮等气体,并严格控制炉内的真空度,炉内的电极之间发生辉光放电或弧光放电,被镀件是负极,含有镀材金属的一极是正极。被镀膜的工件称为基板。镀膜时基板被加热到 $400\sim 600^{\circ}\text{C}$ 。镀材金属在放电的条件下烧蚀,逐渐蒸发为气体,并被电离。如镀材为钛,则金属钛电离成气相的钛离子。镀膜时通入炉中的氮等气体也被电离成氮的离子,于是在金属蒸气中生成 TiN 等化合物,在负电压的吸引下离子流向已加热的工件,在工件表面被沉积出由 TiN 、 TiC 等组成的超硬镀膜。镀膜一般只有 $2\sim 3\mu\text{m}$ 厚。尽管镀膜很薄,但它在刀具和模具表面能发挥出强大的作用,有效地提高了模具的性能。PVD与CVD相比具有沉积温度低的优点,但镀层薄,而且镀膜与模具的结合强度比CVD低。

(6) 等离子体化学气相沉积(PCVD) 它是将低气压气体放电成等离子体应用于化学气相沉积中的一项新技术。它的简要工作原理是:先向真空室内通入氢气和氮气,真空室为正极,工件为负极,接 $1\sim 2\text{kV}$ 的电压,接通电源后,产生辉光放电,再通入 TiCl_4 气体,在电离状态下生成 TiN 并沉积在工件上。沉积时工件的温度为 $200\sim 500^{\circ}\text{C}$ 。PCVD技术具有沉积温度低、镀层烧蚀性好、设备结构简单、操作简便等优点,是有发展前途的表面沉积技术。

(7) TD法 也称为熔盐浸渍法。它的设备采用一般的盐浴设备。将硼砂放入坩埚加热至 $800\sim 1000^{\circ}\text{C}$ 熔化,然后加入形成相应碳化物元素的粉末,把需要强化的模具工件放入盐浴中浸渍一定时间取出,在工件表面可形成钒碳化物(VC)、铌碳化物(NbC)、铬碳化物($\text{Cr}_7\text{C}_3+\text{Cr}_{23}\text{C}_6$)等涂层。从盐浴中取出后可直接进行淬火操作等处理。

TD法设备简单,操作方便,成本低,而其表面强化效果与CVD和PVD法相近,在国外是最受重视的表面强化技术。

1.3 模具工作零件表面强化层的特性

模具工作零件表面强化的方法很多，每种强化方法都有其一定的适用范围，因此要了解各种强化方法的特性，根据具体数据和应用实例来选择合适的表面强化方法。下面对各种强化层的硬度、耐磨性、抗粘附性、韧性做一下分析和比较。

1. 硬度 图 1-1 和图 1-2 分别为各种表面强化处理在室温和高温下的硬度比较图。

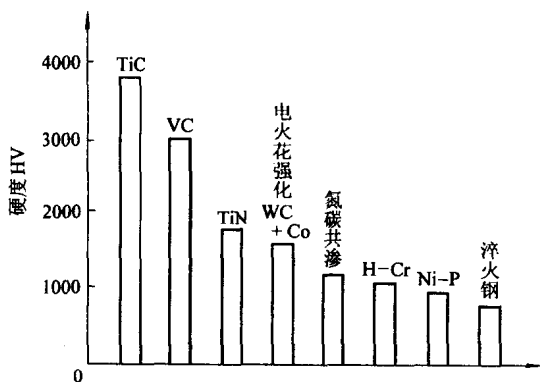


图 1-1 各种表面强化处理在室温的硬度比较

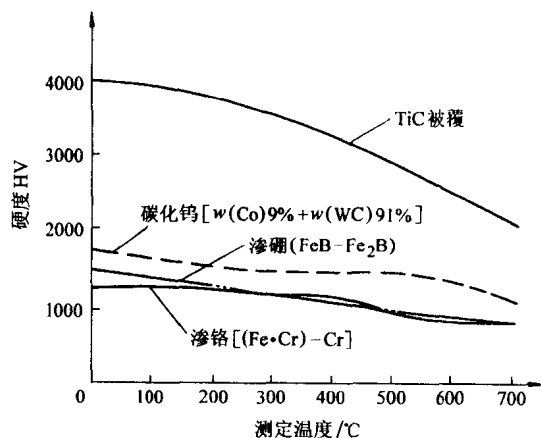


图 1-2 各种表面强化处理在高温的硬度比较

图 1-3 是各种表面强化后表层硬度的比较，由图 1-3 可知，硬质合金的硬度远远不及碳化物被覆处理的硬度。

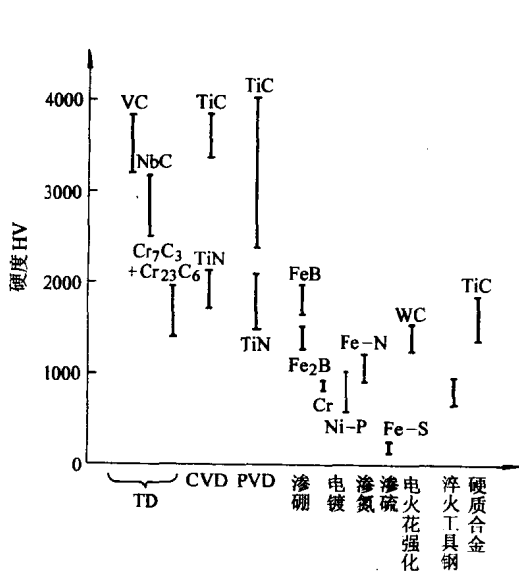


图 1-3 各种表面强化后表层硬度的比较

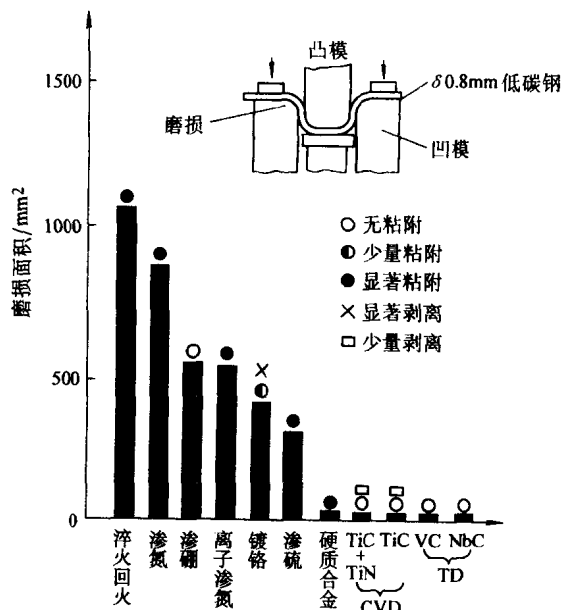


图 1-4 根据 U 形弯曲试验测得的耐磨性、抗粘附性、抗剥落性的比较

2. 耐磨性 测定耐磨性可采用模拟试验法，图 1-4 是根据 U 形弯曲试验，测得的各种涂层的耐磨性、抗粘附性、抗剥落性的比较。图中纵坐标是磨损面积，其数值越大，表示被磨

损的程度越严重。由图 1-4 可见, CVD 法和 TD 法涂层的耐磨性与硬质合金相近。

图 1-5 是根据切断试验测得的耐磨性比较。试验是在 200kN 曲柄压力机上进行的, 冲裁间隙取板厚的 4%, 冲裁次数为 161 次/min, 板材切断宽度为 5mm, 冲裁时用轻油润滑。由图 1-5 可以看出, 用 TD 法被覆 VC 试件的耐磨性略高于硬质合金。

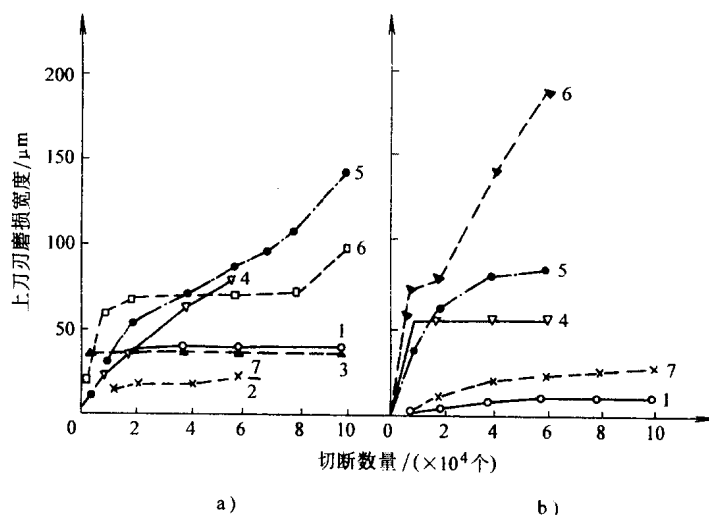


图 1-5 根据切断试验测得的耐磨性的比较

a) 以硬度为 240HV 的钢板为试验材料 b) 以硬度为 190HV 的钢板为试验材料

1—被覆 VC5 μ m, 基体为 SKD11 (日本钢号, 下同) 2—被覆 VC4 μ m, 基体为 SKT2

3—被覆 Cr₇C₃+Cr₂₃C₆5 μ m, 基体为 SKD11 4—被覆 NbC5 μ m, 基体为 SKD11

5—SKH9 淬火回火, 61HRC 6—SKD11 淬火回火, 62HRC

7—硬质合金 [w (WC) 91%+ w (Co) 9%]

3. 抗粘附性 模具表面抗粘附性低将导致模具因咬合而失效。抗粘附性也可称为抗咬合能力。拉深、挤压、拉拔等成形加工作业模具常见的失效形式为咬合、拉沟, 尤以中厚钢板或其它镍基合金加工用的模具更为严重, 抗粘附性与表层材质的摩擦因数有关。与调质钢的摩擦因数相比, 经气体氮化共渗处理的钢摩擦因数是它的 30%, 经碳化钛覆层处理钢的摩擦因数是它的 16%。

图 1-6 是以旋转滑动法测定的不锈钢及几种模具材料抗粘附性试验结果。旋转滑动法采用与模具工作零件相同的材料制成圆筒压子并使之在加压的条件下旋转, 然后以扭转力矩出现异常增高的时间长短来判断抗粘附性的好坏。由图 1-6 可见, SKD11 钢在不到 1s 的时间内就发生了粘附, 而有 TiC 覆层的 SKD11 钢在十几秒以后尚未发现粘附。

各种资料分析表明, 经氮化、渗硼、电镀等表面处理的材料与经淬火、回火的工具钢相比, 在抗粘附性方面虽然效果显著, 但仍以碳化物被覆法处理过的材料为最好, 甚至比硬质合金还优越。

4. 兼顾耐磨性与强韧性 模具工作零件既要具有高的耐磨性, 又要具有高的强韧性。如果不进行表面强化, 此两项很难统一。采用表面强化后, 模具工作零件基体材料仍能保持所具有的强韧性, 同时其表面具有很高的耐磨性。