



模具材料及热处理技术

国外模具材料的应用及发展

温州热处理厂(浙江温州 325027) 赵昌盛

【摘要】简要介绍了国外模具材料在产量、品种、质量的发展状况,并对今后的发展进行了展望。

关键词 模具材料 应用及发展 塑料制品

1 前言

世界工业经济和科学技术的发展带动了模具制造业的发展。目前国外工业发达国家,模具制造业发展很快,已经成为一个专门发展的生产行业,逐步实行标准化、专业化、商品化,模具已经是一种高技术密集型产品。市场竞争的激烈,加快了产品的更新换代,同时也加快了模具材料生产技术的发展。

2 模具材料产量的发展

模具材料主要是模具钢,模具钢的产量近 20 年增长很快,领先于其他钢类。据日本通产省调查统计的资料,日本从 1978 年到 1997 年钢年产量一直维持在 1 亿吨左右,而合金工具钢的年产量,却从 1978 年 6.79 万吨上升到 1997 年的 12.6726 万吨,上升了将近 1 倍。

3 模具钢钢种的发展

目前随着模具制造业的不断发展,对模具钢从冶金质量、数量、性能上要求不断提高,在国外出现高合金、高质、优化、低级材料强化及扩充材料领域等趋向。

模具材料由低级向高级发展,发展的趋向是碳素工具钢→低合金工具钢→高合金工具钢,相继出现一系列新型模具材料。

模具标准钢号的合金化程度也日趋提高,例如美国 15 种热作模具钢合金元素全部大于 5%;而合金元素大于 10%的有 10 种,用量占 80%。

目前各国使用量较大的集中在 10 多种通用型模

具钢上,现将 3 类模具钢的发展状况概述如下:

3.1 冷作模具材料

国外通用型冷作模具钢的代表钢种有低合金模具钢 $O_1(9CrWMn)$ 、中合金模具钢 $A_2(Cr5Mo1V)$ 和高碳高铬模具钢 $D_3(Cr12)$ 、 $D_2(Cr12Mo1V1)$ 等。

为了满足冷作模具的特殊要求,各国都发展了一批新型的模具钢,主要有:

(1) 高韧性、高耐磨性模具钢。

比较有代表的钢号有,美国钒合金钢公司早期发表的 VascoDie(8Cr8Mo2VSi) 钢、日本大同特殊钢公司的 DC53(Cr8Mo2VSi) 钢等,其碳铬含量均低于 Cr12 型模具钢,增加了 Mo、V 合金的含量,钢中形成大量 MC 型高弥散度碳化物,其耐磨性不低于或优于 Cr12Mo1V1 钢,韧性和抗回火软化能力则高于 Cr12 型钢。分别用于冷挤压模具、冷冲模具及高强度螺栓的滚丝模具,都取得了良好的使用效果。

(2) 低合金空淬微变形钢。

代表性钢号有:美国 ASTM 标准钢号 A4(Mn2CrMo)、A6(7Mn2CrMo)、日本大同特殊钢公司的 G04,日本日立金属公司的 ACD37 钢等。这类钢的特点是合金含量最低($\leq 5\%$),淬透性、淬硬性好,淬火变形小,工艺性好,价格低,主要用于制造精密复杂模具。

(3) 火焰淬火模具钢。

70 年代,国外开始发展了一些适应火焰淬火工艺需要的冷作模具钢,由于采取氧-乙炔喷嘴进行局部加热空冷淬火,难以严格地控制和测定温度,要求这类钢

塑成型模拟及模具智能设计技术研讨会论文,2003.

3 李善平,刘乃若,郭鸣. 产品数据标准与 PDM. 清华大学出版社,2002.

4 刘飞,张晓冬,杨丹. 制造系统工程. 国防工业出版社,2000.

5 模具设计与制造技术教育丛书编委会. 模具结构设计. 机械工业出版社,2004.

6 沈斌,陈炳森,张曙. 生产系统学. 同济大学出版社,1999.

具有淬火温度宽、淬透性好等特点。由于火焰局部淬火的工艺简便,可以缩短模具制造周期、节约能源、降低制造费用等特点,已经广泛地用于制造剪切、下料、冲压、冷墩等冷作模具,特别是大型镶块模具。

代表性的钢号有:日本爱知制钢公司SX5(Cr8MoV)钢、SX105V(7CrSiMnMoV),日本山阳特殊公司的QF3,日本大同特殊钢公司的G05,日本日立金属公司的HMD1、HMD5等钢,在生产使用中取得了良好的效果。

(4) 粉末冶金冷作模具材料。

采用粉末冶金工艺生产的高碳高合金模具材料,由于钢液雾化形成的微细钢粉凝固很快,可以完全避免一般工艺生产的高碳高合金冷作模具钢在浇铸后缓慢凝固产生的粗大碳化物和偏析等缺陷。如高碳高铬型冷作模具钢和高速钢采用粉末冶金工艺生产后,碳化物粒度减小到 $1\mu\text{m}$ 左右,可以完全消除一般工艺生产的莱氏体钢中的达几十微米的大颗粒碳化物和网状碳化物。因此,粉末冶金模具钢磨削性能好、韧性好、等向性好、热处理工艺性能好。

由于粉末冶金模具钢具有较好的特性,近20年来在国内外发展较快。代表性的钢号有美国发表的CPM10V、德国发表的320CrVMo13.5等,由于这些钢含有大量弥散度高、硬度高的MC型碳化物,其耐磨性能介于硬质合金和高合金冷作模具钢之间,由于韧性好,制成的模具寿命可以与硬质合金模具相似,由于其工艺性能好,宜于制造形状比较复杂、工作条件苛刻的长寿命模具。其使用寿命可比模具钢模具提高几倍到几十倍。

3.2 热作模具材料

热作模具钢要求钢在模具的较高工作温度下具有良好强度、硬度、耐磨性、抗冷热疲劳性能、抗氧化性和抗特殊介质的腐蚀性能,用于制造锻压、压铸、热挤压、热墩锻及高温超塑成型用模具。

国外通用的热作模具钢有3种类型:即低合金热作模具钢如55NiCrMoV6和56NiCrMoV7等,中合金热作模具钢如H13(4Cr5MoSiV1)和H11(4Cr5MoSiV),钨系钼系热作模具钢如H21(3Cr2W8V)、H10(3Cr3Mo3VSi)等。

为了热作模具发展的需要,国外相继开发了一些新型热作模具钢,主要可分为以下几种类型:

(1) 高淬透性特大型锻压模具钢。

代表性的钢号有国际标准ISO中的40NiCrMoV7,法国NF标准中的40NCD16等,适宜于制造模块截面较大的大型锻压模具,其淬透性能高于通用型锻压模

具钢。

(2) 高热强性模具钢。

由于热作模具的工作温度不断提高,工作条件苛刻,传统的高热强性模具钢如H21(3Cr2W8V)钢不能适应要求,国外陆续研制开发了不少新型热作模具钢,其代表钢号有以下几种类型:

a. 中合金高热强性热作模具钢。

该类钢一般是在H13(4Cr5MoSiV1)的基础上增加W、Mo、Co、Nb等元素,提高其高温性能。如美国的H10A(3Cr3Mo3Co3V)钢,瑞典的QR080(3Cr3Mo2VMn)钢,该类钢与3Cr2W8V钢比较具有更高的高温强度和抗回火软化能力,在生产中使用效果良好。

b. 沉淀硬化型热作模具钢。

代表性的钢号有:日本日立金属公司的YHD3、YHD26、YHD28,日本大同特殊钢公司的DH76(2Cr3Ni3V)等。

该类钢的碳含量很低,一般在0.2%左右,含有一些沉淀硬化的合金元素如钒、铌、镍、铝等,模具淬火后采用较低温度回火($\approx 400^\circ\text{C}$)硬度为40HRC左右,由于碳含量低,中温回火后的组织为板条状低碳马氏体,具有良好的韧性,而且具有良好的切削性。模具在使用过程中与高温工件接触的工作表面被工件加热到钢的沉淀硬化温度(500~600 $^\circ\text{C}$),模具的工作表面由于合金碳化物和金属间化合物的析出,模具工作表面的硬度可以上升到45~48HRC,提高了型腔表面的耐磨性而模具心部仍保持原有的组织和高韧性,从而提高了模具的使用寿命。

c. 低碳高速钢和基体钢。

低碳高速钢的代表钢号有美国ASTM标准钢号H42(6W6Mo5Cr4V2)、H26(5W18Cr4V)、H25(3Cr4W15V)等,该类钢将高速钢的碳含量降至0.3%~0.6%,在降低部分红硬性和耐磨性的情况下改善其韧性和抗热疲劳性能。

基体钢的代表钢号:如美国钒合金钢公司的Vasco MA(5Cr4W3Mo2V)等,其化学成分相当于淬火后的高速钢基体组织成分,所以淬火后过剩碳化物的数量少、细小均匀,使钢的韧性和抗冷热疲劳性能进一步得到改善。

低碳高速钢和基体钢的综合性能较好,既可以用于热作模具材料,也可以用于制造高性能的冷作模具。

d. 奥氏体型热作模具钢。

特殊钢公司的5Mn15Ni5Cr8Mo2V2钢,是为适应工作温度达700~800 $^\circ\text{C}$ 的热作模具的需要而研发的奥氏体型热作模具钢。这类钢经固溶时效后,在700~



800℃左右仍保持较好的强度,可以用于制造高温工作下的模具。

(3) 高温热作模具材料。

一些新的热加工技术的发展,如利用被加工材料在高温下超塑性进行等温锻造的锻压模具,模具加热到被加工材料的超塑性温度(800~1050℃)对材料进行锻压,因此,必须采用铁基高温合金、镍基高温合金和难熔合金做高温热作模具材料。

美国常用的钼基难熔合金 T2M、T2C、MHC 在 1000℃以上的高温下仍具有较高的热强性,但必须在真空或保护气氛下使用。

日本日立金属公司近年来研制的一种专门用于镍基高温合金材料等温锻造用的镍基铸造合金 Nimowal,在 1050℃下的高温强度可以与钼基难熔合金相近,而且抗氧化性良好,可用于在大气下对高性能镍基高温合金进行等温锻造的模具材料。

3.3 塑料制品成型材料

塑料制品的生产发展极为迅速,塑料模具用钢也取得迅速发展,国际上一些工业发达国家塑料模具的产值已上升到模具总产值的第 1 位,塑料模具钢也迅速发展成一个专用钢系列。如美国 ASTM 标准中的 P 系列包括 7 个钢号,其他国家的一些特殊钢生产企业也发展了各自的塑料模具用钢系列,如日本大同特殊钢公司的塑料模具钢系列包括 13 个钢号,日本日立金属公司则列入了 15 个钢号,日本大岗的 NAK 系列也有 4~5 个钢种。

国外新型塑料模具钢的发展趋势主要有以下几个方面:

(1) 主要发展方向是易切削、抛光性好的塑料模具钢。

美国的 412、422、M-250、M-300; 日本的 YAG、HPM38、MASCI; 英国的 EAB、SS3、PMS-30; 瑞典的 STAVAX-13 等。这类钢的杂质少、组织微细均匀、无纤维方向性,制模后,型面的表面质量高。

(2) 预硬化型塑料模具钢。

其代表钢号有美国的 P20、P21、4240、445; 瑞典的 718 钢; 日本的 PDS、NAK55、PSL、IMAX; 德国的 MOVTREX-A(2312)等。该类钢应用较广,以预硬化处理后的钢块供货,硬度达 23~48HR,加工型腔后不再处理,无变形,可缩短模具制造周期。

(3) 时效硬化型塑料模具钢。

一般碳含量较低,钢中加入 Ni、Al、Ti、Cu、Mo 等元

素,模具坯料先经固溶后,在低硬度下进行加工,成型后进行时效处理,由于金属间化合物的析出,使模具硬度提高到 40~50HRC,以满足使用要求。由于时效温度低,变形小而且具有规律,适宜于制造形状复杂、精度高、超镜面、大型塑料模具。

(4) 整体淬硬型塑料模具钢。

国外一般都是借用高耐磨性冷作模具钢和热作模具钢。如美国的 A2(Cr5Mo1V)钢、D3(Cr12)钢和 D2(Cr12Mo1V1)钢等冷作模具钢和 H13(4Cr5MoSiV1)钢等热作模具钢。

(5) 耐腐蚀塑料模具钢。

有些塑料制品如聚氯乙烯、氟化塑料、阻燃塑料等压制过程中对模具有腐蚀作用,一般采用马氏体不锈钢和沉淀硬化型不锈钢。代表性的钢号有国际标准 ISO 中的 110CrMo17,瑞典 ASSAB 公司的 STAVAX(4Cr13)等。

(6) 无磁塑料模具钢。

为了适应磁性塑料制品的生产,国外发展了一些无磁塑料模具钢,将奥氏体型模具钢通过时效硬化处理得到要求的硬度强度和低的导磁率。代表性的钢号有日本大同特殊钢公司的 NAK301 和日本日立金属公司的 HPM75 钢等。

4 国外模具材料的发展展望

国外模具制造业正在向通用化、标准化、系列化、高效率、短制造周期发展,CAD 和 CAM 的应用日益普及。为了适应模具制造业发展的需要,模具材料日益向多品种、精细化、制品化的方向迅速发展。

随着模具工作条件的日益苛刻,对模具的质量,特别是钢的纯净度、等向性的水平提出了更高的要求。为达此目的,国外普遍采用电炉+炉外精炼工艺生产纯净度高的模具钢,对于大截面锻压模块和大型的钢材规定采用真空处理。对于纯净度要求更高的模具钢,大部分采用电渣重熔,以进一步提高钢的纯净度、致密度、等向性和均匀性,减少偏析。因此,模具钢的质量有了较大提高。

为了加强竞争力量,适应经济全球化的发展趋势,国外模具钢的生产从分散趋向于集中,并多家公司进行跨国合并,为了更好地进行竞争,这些公司都建成了完善的技术先进的模具钢生产线和模具钢科学研究基地,形成几个世界著名的工模具生产和科研中心,以满足迅速发展的模具工业。