

新型环保纸模制品用不锈钢模具材料的开发

章秀凤

(广西职业技术学院机械系, 南宁 530226)

摘要 设计的试验钢(0.45C-12.5Cr-0.41Mo-0.22V 钢和 0.85C-10.5Cr-0.91Mo-0.25V 钢)由 50 kg 真空感应炉熔炼并锻造成试验用钢样。试验研究了淬火温度(950~1150℃)、回火温度(一次回火 200~400℃,二次回火 500~600℃)对钢的组织、强度、延伸率、硬度和冲击功的影响。结果表明,1050℃淬火+500℃二次回火处理后 0.45C-12.5Cr-0.41Mo-0.22V 钢的性能最佳:抗拉强度为 1712.3 MPa、屈服强度为 1476.5 MPa、延伸率为 7.8%、HRC 硬度值为 69.3 以及冲击功为 7.3 J。二次硬化会提升模具钢的硬度值,而回火过程中碳化物的长大以及分布不均匀容易造成冲击韧性的降低。试验的新型不锈钢模具的强度指标高于普通商用模具钢 42Cr3Mo2MnV1。

关键词 纸模制品 0.45C-12.5Cr-0.41Mo-0.22V 不锈钢模具 淬火 回火 力学性能

Development of Material of Stainless Steel Die for New Environmental Protection Pulp Mold Products

Qin Xiufeng

(Mechanical Department, Guangxi Vocational and Technical College, Nanning 530226)

Abstract The designed tested steels (steel 0.45C-12.5Cr-0.41Mo-0.22V and steel 0.85C-10.5Cr-0.91Mo-0.25V) are melted by a 50 kg vacuum induction furnace and forged to tested specimen. The effect of quenching temperature (950~1150℃), tempering temperature (once tempering at 200~400℃ and double tempering at 500~600℃) on structure, strength, elongation, hardness and impact energy of steels is tested and studied. Results show that the properties of steel 0.45C-12.5Cr-0.41Mo-0.22V quenched at 1050℃ + double tempered at 500℃ are best: tensile strength 1712.3 MPa, yield strength 1476.5 MPa, elongation 7.8%, HRC hardness value 69.3 and impact energy 7.3 J. The hardness value of die steel increases by secondary hardening, but during tempering process the carbides in steel grow up with uneven distribution easily led to impact toughness of steel decreasing. The strength index of tested new stainless die steels is high than that of normal commercial die steel 42Cr3Mo2MnV1.

Material Index Pulp Mold Products, 0.45C-12.5Cr-0.41Mo-0.22V, Stainless Steel Die, Quenching, Tempering, Mechanical Properties

随着社会的发展,模具在机械、汽车、以及军工等行业中的应用日益广泛,在轻工业中,通常 80% 以上的零件都是用模具制造的^[1-2]。纸模制品是一项新兴的绿色环保型产品,其产品具有生产工艺简练,无污染,易降解,可回收再生利用的特点^[3-5]。在整个纸模制品的生产过程中,纸模模具是一个关键性的部件,纸模模具的质量直接决定着纸模制品的性能,纸模模具成本约占纸模制品成本的 20%,纸模模具的价格和寿命直接影响到纸模制品的生产成本^[4,6]。目前可应用的纸模模具大致有合金工具钢模具、不锈钢模具、铝合金模具以及铜合金模具等^[7-9]。

随着纸模制品性能的不断提高,人们对纸模模具的性能要求已日益增强。模具从开发设计到使用过程由于周期较长且投入大,因而不断提高纸模模具的质量和使用寿命,成为人们关注的焦点,对于新

型环保纸模模具的研究成为必然趋势^[8-10]。

不锈钢中含 Cr 可以使得钢的表面形成薄膜,这一层薄膜可以有效隔离外界对钢内部组织的腐蚀,从而起到耐腐蚀的作用。由于纸模用模具通常需与一定酸碱度的浆液进行接触,因而,必须具有良好的耐腐蚀性能。本文在针对纸模制品用模具的要求,开发了新型纸模制品用不锈钢模具材料,并研究了模具的相关性能,为纸模模具的选用提供技术参数。

1 试验描述

本试验设计了 A1 和 A2 两组不锈钢模具用钢配比组成,Y4 模具钢为国产商用模具钢,其成分如表 1 所示。

试验用钢利用 50 kg 真空中频感应炉采用不氧化熔炼工艺进行熔炼,采用冲入法对钢液进行净化、孕育和变质处理。熔炼后的钢锭经锻造后,得到试

验用钢,再将试验用钢进行热处理得到最终的不锈钢模具样品。在锻造过程中,加热温度为 1 100 ~ 1 150 ℃,开始锻造温度为 1 040 ~ 1 080 ℃,终锻温度大于 860 ℃。热处理过程中的淬火温度分别为 950、1 000、1 050、1 100、1 150 ℃,保温时间为 25 min,然后油冷淬火到室温。淬火后采用一次回火和二次回火进行处理,一次回火温度为 200、300、400 ℃,回火处理 120 min,二次回火温度分别为 500、600 ℃,每次处理时间为 60 min。

试样的热处理均在 SKR-100 型高温箱式电阻炉中进行真空热处理;试样的拉伸性能利用 EK100 型电子万能试验机参照 GB/T228-2002 进行测试;试样冲击实验采用 JSR-300 型冲击试验机进行;采用 HRC-200 型洛氏硬度仪对试验样品的硬度值进行试验。采用 AM-200 型金相显微镜观察样品组织,采用 JSM-100 型扫描电子显微镜对样品的微观形貌进行观察分析。

2 结果分析与讨论

2.1 淬火温度对模具钢硬度值的影响

图 1 是不同淬火温度对 3 种模具钢硬度的影响曲线。图 1 中显示,随淬火温度从 950 ℃ 升高至 1 150 ℃,模具钢样品的硬度值均呈现先升高后下降趋势。当淬火温度为 950 ℃ 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品的 HRC 硬度值分别为 60.5、58.2、45。随淬火温度的升高,A1 和 A2 模具钢样品的硬度值均在淬火温度为 1 050 ℃ 时达到最高,HRC 硬度值分别为 67.5、65.2;而 Y4 模具钢样品的 HRC 硬度值在淬火温度为 1 100 ℃ 时达到最大,为 60.1。

当淬火温度升高时,模具钢中的奥氏体溶入的合金元素及碳元素含量均出现增多,此时,模具钢硬度值也同时增加。淬火温度进一步升高时,3 种模具钢样品的硬度值均出现急剧下降,当淬火温度为 1 150 ℃ 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品 HRC 硬度值分别为 53.6、49.4、50.2。这是因为,当淬火温度超过一定程度时,模具钢基体中由于溶入了过多的碳元素和合金元素,这使得基体中马氏体的转变临界点 M_s 和 M_f 降低,从而造成模具钢在室温时候残余奥氏体数量增加,硬度值下降。

从 A1、A2 以及 Y4 模具钢样品硬度值对比发现,试验开发的模具钢样品 A1 和 A2 的 HRC 硬度值均比 Y4 模具钢硬度值高。

2.2 回火温度对模具钢硬度值的影响

表 1 试验用新型不锈钢模具钢 (A1 和 A2) 和普通商用模具钢 (Y4) 的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of tested new stainless die steels (A1 and A2) and normal commercial die steel (Y4) / %

钢种	C	Cr	Mo	Si	Mn	P	S	V
A1 (45Cr12MoV)	0.45	12.5	0.41	0.62	0.32	<0.03	<0.03	0.22
A2 (85Cr10MoV)	0.85	10.5	0.91	0.95	0.35	<0.03	<0.03	0.25
Y4 (42Cr3Mo2MnV1)	0.42	2.85	2.11	0.42	1.02	<0.03	<0.03	1.01

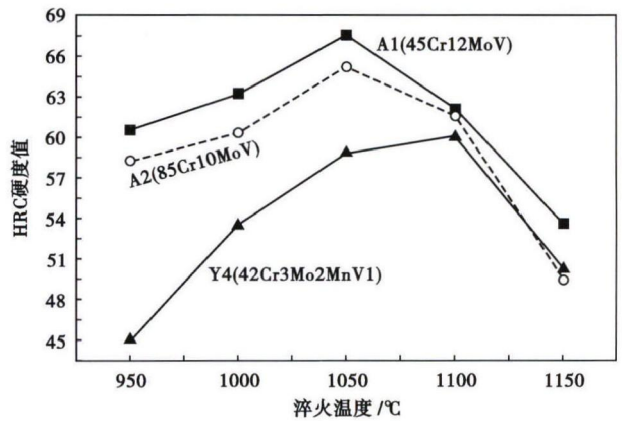


图 1 淬火温度对试验新型不锈钢模具钢 (A1 和 A2) 和普通商用模具钢 (Y4) 硬度的影响

Fig. 1 Effect of quenching temperature on hardness of tested new stainless die steels (A1 and A2) and normal commercial die steel (Y4)

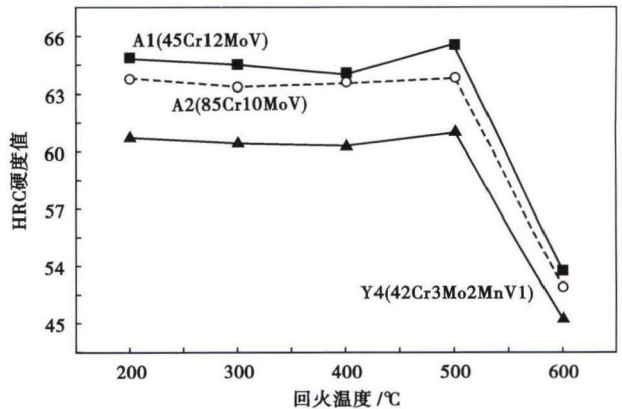


图 2 回火温度对试验新型不锈钢模具钢 (A1 和 A2) 和普通商用模具钢 (Y4) 硬度的影响, 1 050 ℃ 淬火

Fig. 2 Effect of tempering temperature on hardness of tested new stainless die steels (A1 and A2) and normal commercial die steel (Y4), quenched at 1 050 ℃

在模具钢淬火试验的基础上,选取了 1 050 ℃ 淬火处理后的 A1 和 A2 模具钢样品以及 1 100 ℃ 淬火处理后的 Y4 样品进行回火试验。

图 2 是回火温度对模具钢硬度的影响,从图 2 中可见,回火温度对 3 种模具钢样品硬度值的影响

基本一致,硬度值均出现先略有下降,随之升高,最后急剧下降。当回火温度为 200 °C 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品的 HRC 硬度值分别为 68.1、66.3、61.2;回火温度逐渐增加至 400 °C 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品的 HRC 硬度值分别降低至 66.7、65.9、60.4;当回火温度提升至 500 °C 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品的 HRC 硬度值分别回升至 69.3、66.4、61.7;当回火温度进一步升高至 600 °C 时,3 种模具钢样品硬度值出现急剧下降。

在低温回火阶段,样品回火后硬度值发生降低主要是因为回火之前的样品经淬火后冷却到室温,基体中存在过饱和的马氏体,在室温情况下,其为亚稳态,进行回火时,其会向稳定态发生转变形成回火马氏体,从而使得含碳量下降,最终导致样品硬度值的下降。当回火温度进一步升高时候,3 种模具钢样品内部由于合金元素沉淀析出 M_2C 和 MC ,并弥散在基体内造成二次硬化,从而使得样品的 HRC 硬度值出现峰值。

2.3 拉伸性能对比分析

通常,模具的硬度值反映的是模具表面抵抗压力变形的能力,而在模具使用过程中,其受力非常复杂,而其抗拉强度、屈服强度以及延伸率等指标是反映其力学性能的重要参数。试验过程中选取 1 050 °C 淬火 + 500 °C 二次回火处理的 A1 和 A2 模具钢样品以及 1 100 °C 淬火 + 500 °C 二次回火处理的 Y4 模具钢样品进行强度和塑性性能试验,试验结果如表 2 所示。

从表 2 中可以发现,A1 模具钢样品具有最高的抗拉强度和屈服强度,分别为 1 712.3 MPa 和 1 476.5 MPa。由于模具钢样品的强度通常与其塑性指标是一对矛盾体,其延伸率和断面收缩率值相对于 A2 和 Y4 模具钢样品最低,分别为 7.8% 和 28.5%。试验结果显示,A1 模具钢样品相对于 A2 和 Y4 模具钢样品综合力学性能较好。

表 2 试验新型不锈钢模具钢(A1 和 A2)和普通商用模具钢(Y4)的力学性能

Table 2 Mechanical properties of tested new stainless die steels (A1 and A2) and normal commercial die steel (Y4)

钢种	抗拉强度 (σ_b)/MPa	屈服强度 (σ_s)/MPa	延伸率 (δ)/%	断面收缩率 (φ)/%
A1 (45Cr12MoV)	1 712.3	1 476.5	7.8	28.5
A2 (85Cr10MoV)	1 662.5	1 367.4	8.1	30.6
Y4 (42Cr3Mo2MnV1)	1 532.7	1 275.6	9.3	38.6

2.4 冲击韧性对比分析

冲击韧性可在一定程度上反映模具钢抵抗外界冲击负荷的能力,试验过程中选取了 1 050 °C 淬火 + 500 °C 二次回火处理的 A1 和 A2 模具钢样品以及 1 100 °C 淬火 + 500 °C 二次回火处理的 Y4 模具钢样品进行冲击试验,试验结果如图 3 所示。

将模具钢样品回火后冲击功曲线(图 3)与回火后硬度曲线(图 2)对比分析可发现,模具钢样品的冲击功曲线与硬度曲线呈现相反的走势。随回火温度的升高,模具钢样品的冲击功先增加后下降再升高。当回火温度为从 200 °C 升高至 400 °C 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品冲击功分别增加至 11.7、11.9、12.4 J,此时由于硬度降低,冲击韧性值升高。回火温度逐渐升高至 500 °C 时,A1、A2 以及 Y4 模具钢样品的冲击功又分别减小至 7.3、8.4、9.7 J,主要是因为此阶段模具钢出现二次硬化,回火组织变成回火马氏体,导致硬度值升高,冲击韧性值下降。

2.5 组织结构分析

为了进一步分析模具钢的组织性能,试验选取了试验开发的经 1 050 °C 淬火 + 500 °C 二次回火处理的 A1 试样分别进行金相组织观察和断口形貌分析,如图 4 所示。

由图 4(a,b)可见,从淬火加回火处理后的金相组织可以发现,回火过程中马氏体的脱溶以及残余奥氏体的分解生成的碳化物不断长大,同时还存在回火马氏体。从图 4(c)断口显微结构中可以发现,A1 模具钢样品的断口比较平整,同时,存在少量的韧窝,造成此时模具钢的冲击韧性降低。结合金相组织和断口显微组织分析可知,模具钢冲击韧性降低的主要原因是回火过程中碳化物的长大以及分布

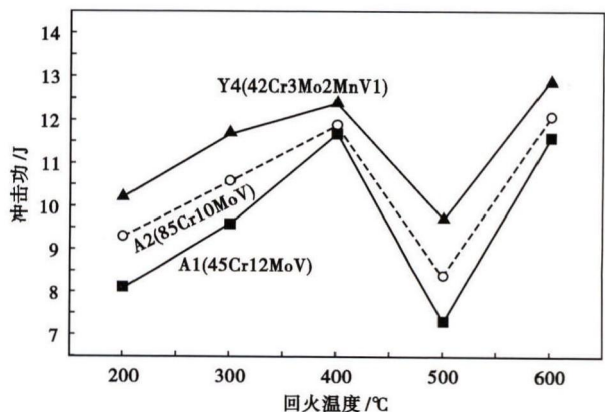


图 3 回火温度对试验新型不锈钢模具钢(A1 和 A2)和普通商用模具钢(Y4)的冲击韧性的影响,1 050 °C 淬火
Fig. 3 Effect of tempering temperature on impact toughness of tested new stainless die steels (A1 and A2) and normal commercial die steel (Y4), quenched at 1 050 °C

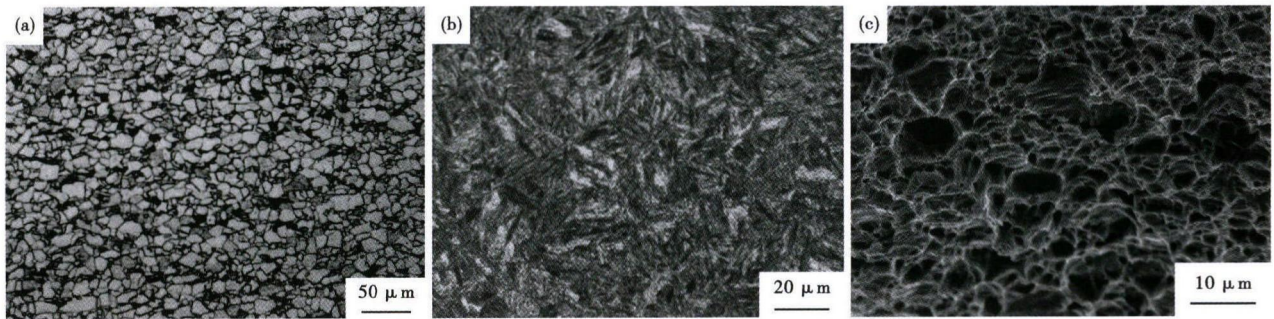


图 4 新型 A1(45Cr12MoV) 不锈钢模具组织形貌:(a)1 050 °C 淬火;(b)1 050 °C 淬火 +500 °C 二次回火;(c)1 050 °C 淬火 +500 °C 二次回火,断口,SEM

Fig. 4 Morphology of structure of new stainless die steel A1 (45Cr12MoV): (a) quenched at 1 050 °C; (b) quenched at 1 050 °C + double tempered at 500 °C; (c) quenched at 1 050 °C + double tempered at 500 °C, fracture, SEM

不均匀,这将使得模具钢内部产生缺陷。

3 结论

(1) 试验设计了两组不锈钢模具(A1 和 A2 钢)与国产商用 Y4 模具钢进行对比,研究了热处理工艺对不锈钢模具性能的影响规律。实验表明,A1 和 A2 不锈钢模具力学性能指标部分优于 Y4 模具钢。

(2) 模具钢硬度值随淬火温度的升高呈现先增加后减小趋势,随回火温度的升高总体呈现先减小后升高再降低趋势。最佳热处理工艺为 1 050 °C 淬

火 + 500 °C 二次回火处理的 A1 模具钢的抗拉强度为 1 712.3 MPa、屈服强度为 1 476.5 MPa、延伸率为 7.8%、HRC 硬度值为 69.3 以及冲击功为 7.3 J。

(3) 对不锈钢模具的微观组织分析表明,淬火 + 回火处理后模具钢的二次硬化能提升模具钢的硬度值,而回火过程中碳化物的长大以及分布不均匀容易造成冲击韧性的降低。

广西教育厅科研资助项目《新型环保纸模制品模具的研究与开发》(200103YB164)

参考文献

[1] 陈再枝,马党参. 我国模具钢发展的战略分析[J]. 钢铁,2006,41(4):5-9.

[2] 于影霞,何柏林,李力. 国内外模具材料的现状及发展趋势[J]. 热加工工艺,2009,38(2):45-48.

[3] 覃秀凤,黄勤芳. 浅谈纸模制品及其模具的国内外概况[J]. 轻工科技,2014,192(11):23-24.

[4] 曲晓晴,黄俊彦,高娟娟. 纸浆模塑模具材料的性能及其应用[J]. 中国造纸,2010,29(12):66-70.

[5] 张新昌,梁炬,周防国,等. 我国纸浆模塑工业包装的现状与发展[J]. 包装工程,2003,24(1):4-7.

[6] 尹恩强. 新型纸浆模塑通用平托盘的结构及其性能研究[D]. 无锡:江南大学,2009:10-29.

[7] 郭威. Cr14Mo4V 马氏体不锈钢模具的热处理工艺研究[J]. 铸造技术,2014,35(11):2567-2569.

[8] 邵严,吴晓春. 几种新型热作模具钢的性能对比研究[J]. 上海金属,2011,33(2):37-38.

[9] 陶勇. 0Cr18Ni10 模具钢热处理工艺研究[J]. 铸造技术,2014,35(6):1216-1217.

[10] 唐峰,管登高,夏冬,等. 热处理工艺对铸造 0Cr18Ni10Ti 不锈钢组织性能的影响[J]. 铸造技术,2016,37(5):908-911.

覃秀凤(1984-),女,硕士(2008年广西大学),讲师,2005年广西大学(本科)毕业,模具设计与制造的教学与研究。
E-mail:feng_xiuxiu219@163.com

收稿日期:2017-02-12