

新型热作模具钢 28Cr2NiMoWVSi

的性能和应用

黎明发动机制造公司 胡万玉

本文介绍了新研制成功的 28Cr2NiMoWVSi 锤锻模具钢的各项性能以及生产应用情况。与 5CrNiMo 钢相比, 在高温强度和高温韧性方面显示了突出的优势。

The Performance and Application of a New Type of Hot-working Die Steel 28Cr2NiMoWVSi

Hu Wanyu

(Liming Engine Manufacturing Company)

This paper introduces various performances of a hot-working die steel 28Cr2NiMoWVSi which is developed recently as well as its application. Compare with steel 5CrNiMo, it shows outstanding superiority in high temperature strength and ductility.

自本世纪 30 年代至今, 国内外用量最大最典型的锤锻模具钢是 5CrNiMo (或 5CrMnMo)。该钢韧性好, 但热强性差、高温强度低。80 年代起国内外发展了不少高强热作模具钢, 热强性有较大的提高, 但该钢种韧性仍难以满足冲击载荷大的要求。为寻求既有高强度又有高韧性、适合锤锻模具要求的钢种, 自 1986 年起由黎明发动机制造公司、大连理工大学、张家口煤矿机械厂三方共同开展高强韧性 28Cr2NiMoWVSi (以下简称 282) 锤锻模具钢的研制工作。该钢于 1988 年 6 月申请了国家发明专利 (专利号: 88106068) 并于 1989 年正式通过航空航天部鉴定。

一、282 钢的设计指导思想

1. 降低钢中碳含量, 淬火后得到以板条状马氏体为主的组织, 以保证材料的高强度。
2. 实施多元复合合金化, 以提高钢的热强性。
3. 研究实施合理的热处理工艺, 以保证热强度与韧性的良好配合。

按照上述思想, 新钢种加入的合金元素有: 铬、镍、钼、钨、钒、硅、锰等。

二、实验结果

1. 热加工工艺参数

(1) 锻造与退火

282 钢的锻造加热温度为 1180℃、终锻温度 > 900℃。在单相奥氏体状态下锻造, 具有很好的可锻性, 无锻造倾向。空冷后洛氏硬度大于 HRC44, 组织淬火马

氏体+贝氏体+残余奥氏体。锻后空冷没有发现白点与开裂倾向。

282 钢可用低于 A_1 温度的高温回火工艺进行软化处理。该工艺具有低温、短时、节能的优点。

(2) 淬火

从图 1 可以看出, 淬火加热温度低于 920℃ 时, 随加热温度上升, 淬火硬度不断提高; 淬火温度在 920~1000℃ 区间, 该钢淬火硬度达到最高值 HRC50~52; 淬火加热温度高于 1000℃ 时, 淬火硬度又趋下降。分析认为: 920℃ 以下加热时, 合金碳化物溶解不充分。随加热温度提高, 合金碳化物溶解逐渐增加, 奥氏体中的碳量与合金元素含量逐渐提高, 致使淬火硬度上升; 在 920~1000℃ 区间加热时, 合金碳化物溶解比较充分, 奥氏体中的碳及合金元素达到稳定, 获得最高的淬硬性;

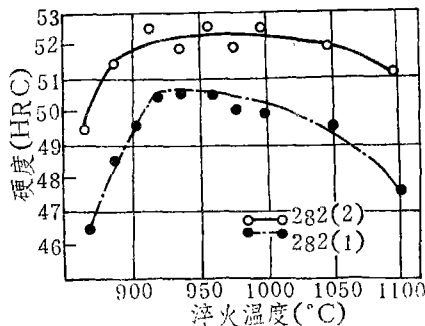


图 1 282 钢淬火加热温度与硬度的关系

282(1) 含 0.27% C;

282(2) 含 0.31% C。

高于 1000℃ 加热时, 淬火组织中残余奥氏体数量增加, 奥氏体晶粒长大, 又会导致淬火硬度下降。为了保证锤锻模具钢在淬火状态下的洛氏硬度大于 HRC50, 该钢的淬火加热温度范围定为 960~1000℃。

(3) 回火

282 钢 960℃ 淬火后的回火曲线如图 2 所示。300℃ 以下回火, 5CrNiMo 钢的回火硬度高于 282 钢, 300~600℃ 区间回火, 282 钢的回火硬度稳定在 HRC45 以上, 回火温度高于 480℃, 5CrNiMo 钢的回火硬度急剧下降。

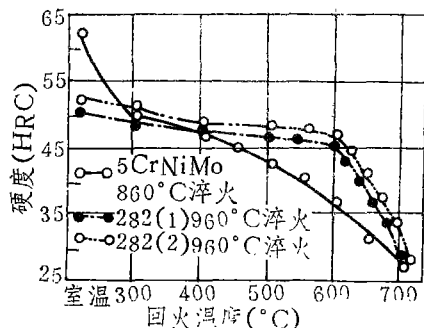


图2 282钢与5CrNiMo钢的回火曲线

锤锻模具一般要求模具回火温度比模腔工作温度高 50℃ 以上。据此推算, 5CrNiMo 钢模具能够承受的最高使用温度为 375~400℃, 而 282 钢则可承受高达 550~600℃。

2. 常温力学性能

(1) 常温拉伸

图3为282钢与5CrNiMo钢常温拉伸试验综合对比结果。由图3可知:

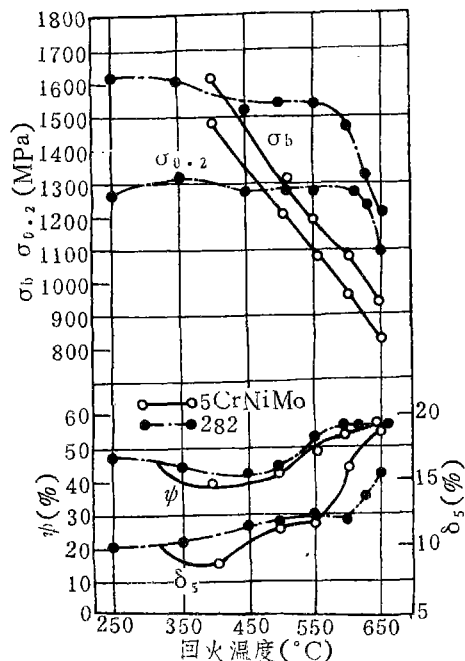


图3 回火温度对282钢及5CrNiMo钢常温拉伸性能的影响

1) 在高温回火条件（高于 475℃）下, 282 钢的 σ_b 高于 5CrNiMo 钢;

2) 在 475℃ 以上回火时, 282 钢的 $\sigma_{0.2}$ 明显优于 5CrNiMo 钢。在此温度以下回火时, 282 钢的 $\sigma_{0.2}$ 低于 5CrNiMo 钢;

3) 当两个钢种的回火硬度均为 HRC42~45 时, 它们的 σ_b 和 $\sigma_{0.2}$ 值基本相同, 只是 282 钢的回火温度比 5CrNiMo 钢的高 120~150℃。在强度水平相当的前提下, 282 钢的 ψ 值比 5CrNiMo 钢的高 10% 以上。这说明 282 钢具有更为优良的韧性。

(2) 常温冲击韧性

高韧性锤锻模具要求常温冲击韧性 a_k 值大于 39.4J/cm²。由图4可知, 回火温度低于 525℃ 时, 282 钢的常温 a_k 值明显优于 5CrNiMo 钢。回火温度高于 525℃ 时则相反, 但此时 5CrNiMo 钢的硬度已低于锤锻模具的要求, 这种高韧性已无实际意义。

从图5可知, 在锤锻模具使用硬度范围内, 282 钢的冲击韧性均高于 5CrNiMo 钢。在 HRC42~45 范围内, 282 钢常温冲击韧性比 5CrNiMo 钢提高 40~50%。282 钢对二次回火脆性不敏感。

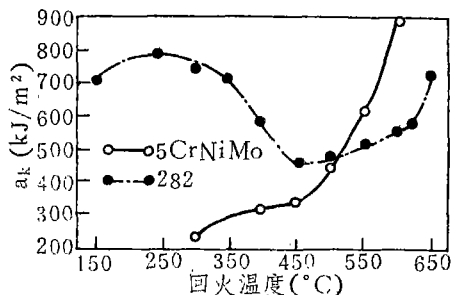


图4 回火温度对常温冲击韧性 a_k 的影响

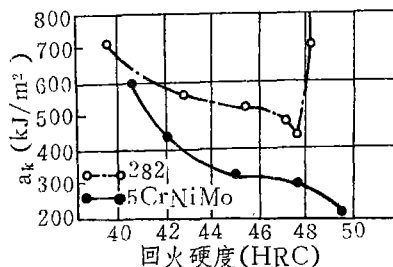


图5 282钢及5CrNiMo钢回火硬度与冲击韧性的关系

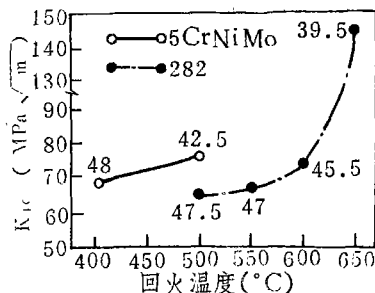


图6 回火温度对282钢和5CrNiMo钢断裂韧性 K_{IC} 的影响, 图中数字代表硬度值。

(3) 断裂韧性

从图 6 可见, 当回火后洛氏硬度为 HRC45~47 时, 两种钢的 K_{IC} 值基本相同。当 HRC 为 42~45 时, 282 钢的 K_{IC} 值明显优于 5CrNiMo 钢。

282 钢应用于大中型锤锻模具 (HRC40~42), 具有很高的韧性和抵抗裂纹扩展的能力。

3. 高温力学性能

(1) 高温短时拉伸

从所周知, 当锤锻模具钢的回火硬度为 HRC45 左右时, 可以获得最佳的强度、韧性和冷热疲劳性能的组合, 故此, 在进行 282 钢与 5CrNiMo 钢高温性能对比时, 两种钢的 HRC 均控制在 45 左右。测试性能对比列于表 1。

表 1 282 钢与 5CrNiMo 钢的高温短时拉伸和高温冲击韧性

试验用钢	淬火温度 (°C)	回火温度 (HRC)	试验温度 (°C)	σ_b (MPa)	ψ (%)	δ_5 (%)	a_k (kJ/m ²)
282	960	600 (45.5)	20	1469	55.6	12.0	539
			300	1268	54.9	12.2	931
			400	1226	56.5	12.8	911
			500	1114	60.1	13.0	833
			550	994	64.5	14.0	833
			600	897	66.9	15.1	833
			650	752	71.4	17.4	1470
5CrNiMo	860	450 (45)	20				333
			300	1305	52.5		412
			400	1210	60.0		402
			500	991	64.3		412
			550	706	67.2		510
			600	485	86.8		1480

从表 1 和图 7 可以看出, 当试验温度低于 400℃ 时,

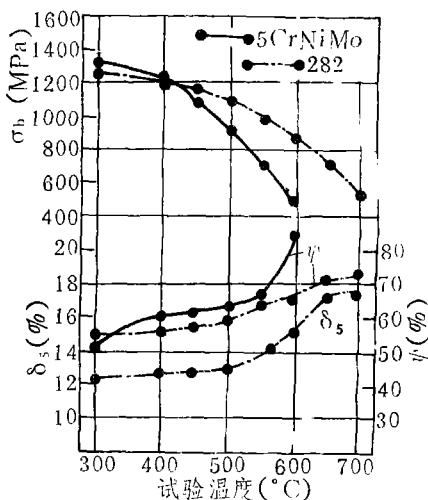


图 7 试验温度对 282 钢及 5CrNiMo 钢高温拉伸性能的影响

两种钢的高温拉伸强度大致相当。600℃ 时, 282 钢的 σ_b

比 5CrNiMo 钢的高 412MPa。同一高温强度的试验温度, 282 钢比 5CrNiMo 钢高 100℃ 以上。可见, 282 钢在高温强度方面具有明显的优势。

(2) 高温冲击韧性

锤锻模具工作时, 模腔表面温度在 500~550℃, 而心部温度大约为 300℃。从图 8 和表 1 可以看出, 300℃ 和 550℃ 时的冲击值, 282 钢比 5CrNiMo 高 64~126%。

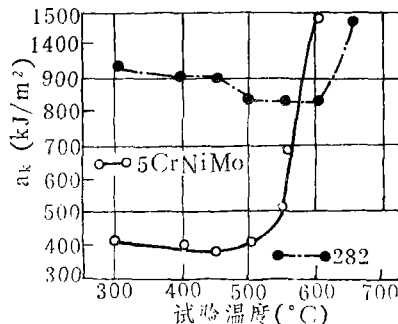


图 8 试验温度对冲击韧性 a_k 的影响

(3) 高温硬度

对于大型锤锻模具, 常把高温硬度 HV330 作为热锻模工作时必须具备的硬度值。由表 2 可知, 282 钢达到这一要求的工作温度可为 550℃, 而 5CrNiMo 钢为 450℃ 左右。由此可见, 282 钢制热锻模具的工作温度可比 5CrNiMo 钢的高 100℃ 左右。

表 2 282 钢和 5CrNiMo 钢的高温硬度(HV)

试验用钢	淬火温度 (°C)	回火硬度 (HRC)	试验温度 (°C)						
			20	300	400	500	550	600	650
282	960	47.0	473	429	399	363	362	334	281
		42.5	408	366	350	326	317	289	249
5CrNiMo	860	46.5	465	397	364	303	263	205	141

4. 回火稳定性

所采取的方法是, 将试验用钢进行淬火并回火到 HRC45±0.5, 在 600℃ 中每隔 2 小时把样品从炉中取出, 冷却后测定洛氏硬度值, 然后再加热保温, 重复 6 次。

从图 9 可以看出, 5CrNiMo 钢的原始硬度为 HRC45, 累计保温 12 小时降到 HRC30, 而 282 钢仍保持在 HRC40 以上。

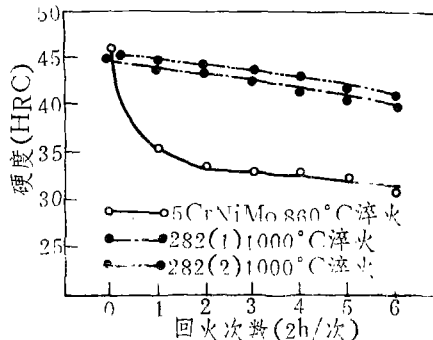


图 9 多次回火(600℃)的抗回火稳定性

5.冷热疲劳

冷热疲劳的试验数据列于表 3。

表 3 282 钢与 5CrNiMo 钢板材热疲劳试验数据

钢种	样品取向	原始HRC	试验温度℃		循环次数、裂纹长度(mm)				
			最高	最低	50次	100次	200次	500次	1000次
282	横向	45	650	20					0.55
	纵向	45	600	20	0	0.05	0.13	0.18	0.28
5CrNiMo	横向	45	650	20					1.50
	纵向	45	600	20	0.11	0.28	0.45	0.56	1.16

从表 3 可见，282 钢纵向与横向的冷热疲劳裂纹均明显地比 5CrNiMo 钢的短，产生的时间晚，而且裂纹扩展速率也比 5CrNiMo 钢的慢。

三、生产应用

本钢种自研制开始，共生产了 340kg 和 700kg 两个规格的钢锭 13 炉，在 6 个厂家 7 个锻造车间制成并使用了 120 多套模具，在锻锤和压力机上进行生产性试验。与 5CrNiMo 钢（或 5CrMnMo）等钢模具相比，282 钢模具的使用效果很好，详见表 4。

表 4 282 钢生产应用情况

序号	试锻单位	使用设备	锻件名称	锻件材料	原用模具材料	平均寿命(锻件数)	282 钢使用模具数(套)	平均寿命(锻件数)	HRC(回火)	失效原因
1	沈阳拖拉机制造厂	3 吨锤	二轴齿轮	20CrMnTi	5CrMnMo	1500~1800	1	2007	47	未损坏，任务已完
2	大连汽车配件厂	空气锤	汽车连杆盖	40Cr	5CrNiMo	2500	1	4000	39	模腔胀大
3	大连机车车辆厂	2 吨锤	进排气摇臂	42CrMo	5CrMnMo	1200	1	2770	49	还可锻 500~800
4	长春一三三厂				5CrMnMo	1300	1	4100		
5	张家口煤矿机械厂	1 吨锤	221 [#] 联接环	23MnVB	5CrMnMo	2000	30	6000		
		2 吨锤	214 [#] 联接环	23MnVB	5CrMnMo	900	5	2270		
		3 吨锤	锚链轮	45. 40Cr	5CrMnMo	500~800	2	未使用		
6	黎明发动机制造公司	8 车间	曲轴压力机	护刃器	60 [#]	5CrNiMo	3728	13	8446	注：外 34 套未统计
			曲轴压力机	一级涡轮叶片	GH37 GH49	4Cr5W2VSi	600	2	1300	
		10 车间	2 吨锤	护刃器	60 [#]	5CrNiMo	2324	3	8546	
			1 吨锤	锥形齿轮	20CrNiMo	5CrNiMo	2126	2	2980	
			1 吨锤	右曲柄	40Cr	5CrNiMo	885	2	2373	注：外 29 套未统计

四、经济效益

现以张家口煤矿机械厂和黎明公司为例，几种锻件使用 282 钢制模具后所取得的、可以直接计算价值的部分列

于表 5。

事实上，计算经济效益还应包括由于模具寿命延长后，减少模具试压、调整、修磨工时及提高生产效率，提高锻件质量，节约大量钢材和能源所创造的经济效益。

表 5 经济效益分析

使用单位	锻件名称	原用模具				282 模具		每套模具加工费(元)	年节约资金(万元)
		材料	模具重量(kg/套)	价格(元/kg)	年用量(套)	价格(元/kg)	年用量(套)		
张家口煤矿机械厂	221 [#] 联接环	5CrMnMo	80	6.97	1136	10.43	378	280	31.8
	214 [#] 联接环	5CrMnMo	130	6.97	70	10.43	28	682.2	2.5
黎明发动机制造公司	护刃器	5CrNiMo	75	8.3	304	10.43	152	1000	22.2
	摩托车锻件	5CrNiMo	125	8.3	202	10.43	101	600	13.9
	一级涡轮叶片	4Cr5W2VSi	75	10.7	58	10.43	30	2500	9.3

五、结论

1.282 钢采用多元合金化以提高热强度，降低碳含量以提高韧性和塑性的设计指导思想是正确的。

2.在生产性试验中，进行了包括冶炼、锻造、热处理、性能测试、寿命考核等试验研究工作。经部分厂家使

用考核证明，282 钢制热锻模的使用寿命比常用的 5CrNiMo 钢及 5CrMnMo 钢的高 2 倍以上。新研制的 282 钢已达到国际当前发展水平。

3.采用 282 钢制造热锻模可以大幅度提高锻造生产效率，降低模具成本，经济效益显著。