

冷作模具钢 LD 钢的加工及精密磨削*

丰 忠 焕

(华侨大学精密机械工程系, 泉州 362011)

摘要 介绍 LD 钢的热、冷加工及精密磨削工艺, 以促进新型模具钢的推广和应用.

关键词 冷作模具钢, 砂轮, 精密磨削

分类号 TG 580.612

我国模具钢的消耗量很大, 其中模具寿命低是主要原因之一, 而模具材料的性能及其加工工艺是影响模具寿命和产品质量的两大因素. 合肥标准件厂和上海标准件模具厂采用 LD 钢代替常用的合金工具钢来制造 12 种冷作模具, 据介绍其模具使用寿命平均提高 6 倍左右^[1]. 如能正确选择加工工艺和进一步降低模具表面粗糙度 (R_a 0.05), 提高表面质量, 则模具的使用寿命和产品质量还会有更大的提高.

1 LD 钢的热加工工艺

1.1 LD 钢成份及其机械性能

LD 钢 (7Cr7Mo3V2Si) 为中铬型合金工具钢. 强度高 (σ_b 为 2 600 MPa), 冲击韧性好 (a_k 为 $110 \text{ J} \cdot \text{cm}^{-2}$), 抗弯强度高 (σ_{bb} 为 5 500 MPa). 它不含贵重和稀有元素, 合金总量与 Cr12MoV 钢相当, 成分较为经济合理. 它与 Cr12MoV 钢相比, 抗弯强度高出将近 1 倍, 挠度和冲击韧性高出 2~3 倍, 是目前较为理想的冷作模具钢.

1.2 毛坯的锻造

LD 钢的碳化物偏析一般小于二级, 但钢材直径大于 $\varnothing 60 \text{ mm}$ 的棒料, 其碳化物偏析也会出现大于 3 级的不均匀度. 因此, 受力较复杂的模具, 对钢材应进行缓慢的加热, 三墩三拔, 反复锻造, 使碳化物的不均匀性得到改善. 锻造后应将毛坯放入草木灰中缓冷, 以减少内应力. 始锻温度 $1\,100 \sim 1\,120 \text{ }^\circ\text{C}$, 终锻温度控制在大于 $850 \text{ }^\circ\text{C}$, 就不会出现锻造裂纹.

1.3 毛坯的热处理

1.3.1 退火 LD 钢锻造后应及时进行球化退火, 退火后硬度在 HB180~200. 其金相组织为均匀的球状珠光体+细小的均匀分布的粒状碳化物. 球化退火工艺曲线如图 1.

1.3.2 淬火与回火 LD 钢淬火温度较宽, 一般在 $1\,100 \sim 1\,180 \text{ }^\circ\text{C}$ 范围内. 回火温度范围也较宽, 可在 $510 \sim 620 \text{ }^\circ\text{C}$ 之间选择. 淬火与回火温度的选择与 LD 钢的硬度、晶粒度、残余奥氏体数量和机械性能的要求有关. 淬火温度提高, 硬度也提高, $1\,150 \text{ }^\circ\text{C}$ 时淬火硬度达到 HRC62

* 本文 1995-01-21 收到; 福建省自然科学基金资助项目

~64,但随着淬火温度的提高,晶粒也随之长大,到 1 210 ℃时达 7.5 级,残余奥氏体的含量也随之增加.因此淬火温度选择 1 100~1 150 ℃为宜.

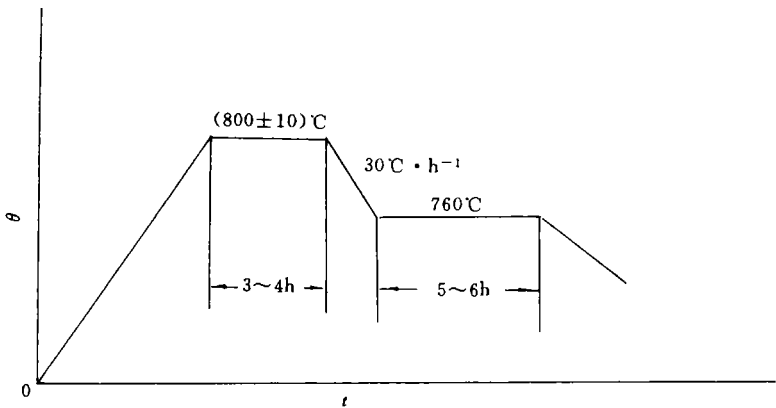


图 1 球化退火工艺曲线

当锻锻力较大,要求模具有很高强度时,应采用 1 150 ℃淬火,550 ℃回火.如冲击载荷较大,要求模具有良好的韧性和较高的强度时,应采用 1 100 ℃淬火,550 ℃回火.

淬火后变形程度一般在 3‰~5 ‰范围,内孔缩,外园膨涨.由于 LD 钢含有较高的钼,在高温下有脱碳倾向.因此,在淬火加热时,应严格控制盐浴中氧化物的含量,以防模具氧化脱碳,如能采用真空热处理效果会更好^[2].

2 LD 钢的切削加工工艺

2.1 LD 钢的车削

2.1.1 刀具几何角度的选用 LD 钢强度高,韧性好,加工硬化的趋势较强.切削负荷大,导热性差,它的导热率只有中碳钢的一半左右.热量更易集中在切削刃上,影响刀具磨损的热效应作用比较明显.前角 γ_0 应稍大些,以减少变形和加工硬化的趋势;后角 α_0 也应略大些,以减少摩擦和由此而引起的加工硬化趋势.取较大的刀尖角 γ_r ,以改善散热条件.刀具材料及几何角度见表 1. K_r, K'_r, λ_r 分别为主偏角、副偏角、刃倾角; γ_r 为刀尖圆弧半径.

表 1 刀具材料及几何角度^[2]

工序名称	刀具材料	$\gamma_0/(^{\circ})$	$\alpha_0/(^{\circ})$	$K_r/(^{\circ})$	$K'_r/(^{\circ})$	$\lambda_r/(^{\circ})$	γ_r/mm
粗车	YT ₅ YT ₁₅	10~15	5~7	75	10	0~5	0.8~1.5
精车	YT ₁₅ YT ₃₀	13~18	6~8	60	6~8	0~5	0.5~1.2

2.1.2 切削用量的选择 (1)粗车.先选吃刀深度,其次选走刀量,最后选切削速度,以保证生产率.(2)精车.先选切削速度,其次选走刀量,最后则根据工件成品尺寸及精磨余量来确定切削深度.

由于车内孔时,刀杆尺寸受到限制,车刀的刚性比车外园的要差,车刀容易振动.所以车内

孔时选择的切削用量,要比车削外园时小,在车削刚性较差的工件时,常会产生较大的变形及振动. 所以,选择的切削用量也不宜过大. LD 钢工件外园车削的切削用量见表 2.

表 2 外园车刀削用量⁽³⁾

加工表面粗糙度要求	$V/\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$	$f/\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$	a_p/mm
$R_{\text{a}}12.5$	<50	$0.4\sim0.5$	>1
$R_{\text{a}}3.2$	$50\sim70$	$0.12\sim0.15$	$0.2\sim0.6$
$R_{\text{a}}3.2$	$70\sim90$	$0.14\sim0.2$	$0.2\sim0.6$
$R_{\text{a}}3.2$	$90\sim120$	$0.18\sim0.25$	$0.2\sim0.6$
$R_{\text{a}}1.6$	$90\sim100$	$0.10\sim0.15$	$0.15\sim0.5$
$R_{\text{a}}1.6$	$100\sim120$	$0.12\sim0.16$	$0.15\sim0.5$
$R_{\text{a}}1.6$	$120\sim140$	$0.15\sim0.18$	$0.15\sim0.5$

LD 钢工件内孔镗削时,在不同切削深度(a_p)下的进给量(f)见表 3,其中 D 为圆形镗刀直径, L 为刀杆伸出长度.

表 3 内孔镗削进给量($\text{mm} \cdot \text{r}^{-1}$)⁽⁴⁾

D/mm	L/mm	a_p/mm		
		1.5	2.5	4
10	50	0.08		
12	60	0.10	0.08	
16	80	$0.1\sim0.2$	~0.15	0.10
20	100	$0.15\sim0.30$	$0.15\sim0.25$	0.12
25	125	$0.25\sim0.50$	$0.15\sim0.40$	$0.12\sim0.2$
30	150	$0.35\sim0.60$	$0.2\sim0.5$	$0.12\sim0.30$

车内孔的切削速度为车外圆的 0.9 倍. 车削 LD 钢的切削用量,比车削一般中碳钢类工件略小一些. 特别是切削速度不宜过高,否则易产生粘刀现象,使刀刃磨损加剧,而走刀量相应可取大一些.

2.2 LD 钢的磨削加工

2.2.1 砂轮的选择

- (1)磨料的选择. 因为 LD 钢属高强度韧性大的材料,故选用铬刚玉 PA(GG)较为合适.
- (2)砂轮硬度的选择. LD 钢含有钼、钒,易堵塞砂轮,故要求磨料自锐性要好. 砂轮的硬度一般为:粗磨时 J(R_s);精磨时 K(ZR₁).
- (3)结合剂的选择. 选用陶瓷结合剂 V(A),该结合剂适用范围很广,能制造多种磨具.

2.2.2 磨削参数的选择 一般磨床的磨削速度 V 是固定不变的,不能任意选择. 由于磨削深度对磨削表面质量影响最大,因此选择磨削用量时要先选较大的工件速度 V_w ,再选磨削进给速度 V_f ,最后选磨削深度 a_p .

磨削参数选择原则是:粗磨时应选较大的磨削深度 a_p 和进给速度 V_f ,但必须使用粒度较粗(如 46 号)或修整得比较粗糙的砂轮;精磨时应选择较小的 a_p , V_f 及适当增大 V_w 以免工件烧伤. 工件的刚性好,则可选较大的 a_p 和 V_f ;若工件的刚性差,则应适当降低 a_p 及 V_w . LD 钢

的导热性差,强度和硬度高,磨削时要供给足够的冷却液,使加工表面及时冷却,以避免烧伤.磨削表面粗糙度为 $Ra0.4\sim0.2\text{ }\mu\text{m}$ 的工艺参数见表 4^{〔6〕},其中 $V_{\text{fx}}/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$ 为砂轮修整时工作台速度; a_{px} 为砂轮修整时的切削深度.

表 4 LD 钢粗磨参数的选择^①

磨削参数	外园磨削	内园磨削	平面磨削
砂轮粒度	46~60	60~80	36~60
$V_{\text{s}}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	20~30	20~30	20~30
$V_{\text{fx}}/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	6.67~10	1.67~3.33	5~8.33
a_{px}/mm 横向 垂直	0.01~0.02	0.005~0.01	0.01~0.02(双行程)
$V_{\text{w}}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.33~0.45	0.33~0.67	
$V_{\text{i}}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	0.016~0.04	0.026~0.04	0.23~0.4
a_{p}/mm 横向 垂直	0.016~0.04	0.004~0.008	1.6~4(双行程)
光修次数	1	2	1
光磨次数	2~3	3~5	2~3

① 修整工具为单颗粒金刚石和金刚石片状修整器

3 LD 钢的精密磨削

精密磨削的特点是:可以稳定地获得 $Ra0.2\sim0.05\text{ }\mu\text{m}$ 的粗糙度表面和高的几何尺寸精度,而且具有较高的生产率.经精密磨削加工的模具能较大地提高模具的疲劳强度及产品质量.

3.1 砂轮的选择

3.1.1 磨料的选择 LD 钢类零件进行精密磨削应选用刚玉砂轮,而不选用碳化硅砂轮.在刚玉磨料中,单晶刚玉磨料尤为合适,因其能获得较低的表面粗糙度,而微晶刚玉磨料所磨削的表面,其粗糙度较差,故不宜用于精密磨削.

3.1.2 粒度的选择 加工表面粗糙度为 $Ra0.05\text{ }\mu\text{m}$ 时,可选用粒度 60~80 目的砂轮.由于砂轮粒度较细,加工表面粗糙度均匀,拉毛划伤现象少,而且砂轮耐用度也较高.

3.1.3 结合剂的选择 精密磨削一般采用陶瓷结合剂,以利于充分发挥磨料微刃的切削作用,形成光滑的工件表面,对于成型表面的磨削,为了获得稳定的表面质量,也可以选用具有一定弹性的树脂结合剂砂轮.

3.1.4 硬度的选择 精密磨削可以选用 L(ZR₂)级硬度的砂轮,以利于充分发挥摩擦抛光作用,降低表面粗糙度.

3.1.5 组织的选择 精密磨削要求砂轮组织均匀而紧密,一般选用 1~3 号组织.

3.2 精密磨削的工艺参数及其选择

3.2.1 砂轮速度的影响及其选择 在精密磨削时,砂轮速度在 $15\sim30\text{ ms}^{-1}$ 的范围内,对工件的表面粗糙度无显著影响.这似乎与一般磨削时随着 V_{s} 的提高,工件表面的粗糙度会降低有矛盾.事实上,一般磨削时,由于砂轮速度 V_{s} 提高后,使单位时间内参加切削的切削刃数增多和切屑厚度变薄,从而能降低表面粗糙度.但是在精密磨削时,由于精细地修整砂轮,在砂轮的工作表面上造成了等高性好的微刃,使单位时间内参加切削的微刃数大大增加,这与普通磨削是有明显区别的.因为精密磨削的主要矛盾是砂轮微刃的等高性.砂轮速度提高,砂轮的切

削能力增强,这对提高生产率是有利的.

随着 V_s 的提高磨削热也增大,易使工件烧伤.此外,当 V_s 高时,机床的振动也增大,在工件上易产生振纹和多角形等缺陷.因此,为了保证工件质量,在精密磨削时,以采用较低的砂轮速度为宜,一般采用 V_s 为 $17\sim 20\text{ ms}^{-1}$.

3.2.2 工件速度 V_w 的影响及其选择 在进行精密磨削时,工件速度在一定范围内($0.3\sim 0.09\text{ ms}^{-1}$)对工件的粗糙度无明显的影响,但 V_w 对工件产生多角形和烧伤有影响.当 V_w 提高时,工件表面的多角形深度增大;当 V_w 减小时,工件表面多角形深度减少.但当 V_w 过低时,工件有可能产生表面烧伤并可能出现螺旋形等缺陷.

因此,选择工件速度 V_w 时,应根据加工情况综合考虑.在精密磨削 LD 钢时, V_s/V_w 的速比值在 $110\sim 140$ 较为有利,即工件的速度 V_w 要比中碳钢的工件略高一些.

3.2.3 磨削深度 a_p 和进给次数的影响及其选择 在精密磨削时,为了避免由于切深过大而使工件烧伤和产生螺旋形,并破坏砂轮的微刃,磨削深度 a_p 不能过大.特别是在第一次进刀时应严格控制,应使第一次进刀的深度尽可能小些.如果第一次进刀太大,不仅工件可能产生烧伤和螺旋形,而且有可能破坏砂轮的微刃,从而影响磨削效果.

LD 钢在精密磨削时,一般每次应使 $a_p\leq 0.003\text{ mm}$,由于精密磨削的砂轮切削能力较差,磨削主要用于提高工件表面光洁度.因此,对一般零件,其磨削余量不能留得过多,其直径上余量一般为 $0.01\sim 0.03\text{ mm}$,因此进刀次数为 $2\sim 5$ 次.如果磨削余量留得过多,则使磨削时间增加,生产率降低.而且砂轮在一次修整中所磨削零件的个数也将减少.LD 钢精密磨削的工艺参数见表 5.表中 a_{px} 为砂轮修整时,修整工具的切削深度.

表 5 LD 钢精密磨削工艺参数^①

磨 削 参 数	外 园 磨 削	内 园 磨 削	平 面 磨 削
$V_s/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	15~20	10~16	15~20
a_{px}/mm	≤ 0.005	≤ 0.005	$0.003\sim 0.005$
$V/\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$	$0.25\sim 0.833$	$0.4\sim 0.833$	$0.333\sim 0.833$
修整时进给次数	2~4	2~3	2~3
$V_w/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	10~15	7~9	
$V_{fx}/\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$	$1.3\times 10^{-3}\sim 3.3\times 10^{-3}$	$2\times 10^{-3}\sim 3.3\times 10^{-3}$	$0.25\sim 0.33$
a_p/mm	$0.001\sim 0.003$	$0.001\sim 0.003$	$0.001\sim 0.003$
进 给 次 数	2~3	3~5	2~3
光 磨 次 数	2~3	5~8	2~3

① 修整砂轮的工具有单颗粒金刚石;磨前对工件粗糙度的要求均为 $R_{a}0.4$

4 结束语

本文通过试验和理论分析,着重介绍了切削加工、磨削及精密磨削的工艺参数.它不但适用于 LD 钢,而且对其它钢种,尤其是合金工具钢的加工也有较好的参考价值.

参 考 文 献

1 合肥标准件厂.新型高强韧性模具钢(LD)在冷镦模具上的应用.紧固件技术,1985,(4):8~10

- 2 金属机械加工工艺人员手册修订组. 金属机械加工工艺人员手册. 上海: 上海科学技术出版社, 1982. 734~971
- 3 严锡藩. 新型高强韧模具钢 LD 在冷压模具上的应用效果. 模具技术, 1984, (2): 41~45
- 4 美国可切削性数据中心. 机械加工切削数据手册. 北京: 机械工业出版社, 1986. 26~398
- 5 机械加工技术手册编写组. 机械加工技术手册. 北京: 北京出版社, 1991. 553~580

Working and Precision Grinding of LD Steel as a Cold-Working Die Steel

Feng Zhonghuan

(Dept. of Precis. Mech. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract For promoting the spread and the application of LD steel, a description is made on the technologies of hot-and cold-working and precision grinding of this new type die steel.

Keywords cold-worked die steel, sand wheel, precision grinding