



影响辊锻道次匹配因素的分析与研究

东风汽车公司锻造厂 (湖北十堰 442052) 刘安翔

Th3 A-

辊锻是逐步连续的变形过程,属于回转型塑性成形。在模具设计和辊锻成形时,辊坯的质量控制不易掌握,多需经过几轮调试修正才能稳定。主要原因是:

(1) 采用公式、曲线和图表计算的模具型槽本身精度有限,准确度较差,只有90%左右。

(2) 前滑值计算选取不准确。

(3) 伸长系数(或变形量)分配不合理,选取充不满系数与实际充不满系数相差较大。

(4) 辊锻时,锻辊的弹性变形及轴承的磨损使上下锻辊之间的间隙较大。

(5) 型槽为圆弧曲面,尤其是楔形段,制造精度低,检测手段差。

笔者多年来一直从事辊锻模具的设计和现场辊锻质量的控制,深知辊锻模具的设计和调整修理的质量主要在于辊制时的稳定性和辊坯道次的匹配。其中,稳定性在大伸长系数的零件上(如发动机连杆)表现明显,辊坯道次的匹配在大型辊锻制坯(如汽车前轴和发动机曲轴)上显得更为突出。前者主要在于型槽系的选择和截面轴长比的设计,而后者涉及的因素较多,本文重点分析研究。

制坯辊锻所用的坯料通常是圆钢和方钢,而常用的辊锻型槽系有:椭圆一方、椭圆一圆、菱一方、六角一方、箱一矩形等。我厂主要采用椭圆一圆和椭圆一方两种,三道次的辊锻在我厂为一组两道次辊锻加一道辊磨工步;四道次辊锻是由两组两道次辊锻组成。因此,只需分析计算两道次辊锻的变化,便可类推三道次和四道次等多道次辊锻的情形。

1. 伸长率分配的影响

在辊锻过程中,坯料在高度方向被压缩而移动下来的金属体积,移向长度和宽度方向。正确计算各道次截面形状尺寸(即压下量和宽展),对保证锻件长度和宽度方向轮廓形状的几何精度具有重要意义。若计算宽展大于实际宽展,则型槽充填不满,造成很大的椭圆度;反之,则型槽充填过满,形成飞边。宽展的计算很难精确,而这两种情况均

极易造成变形量分配差别,导致伸长率发生变化,辊锻道次不匹配,从而造成废品。

变形量的分配计算,采用[德]EUMUCO公司资料中的图表比较方便简洁,但在实际应用中也有出入。若采用[德]Eratz公司的VeraCAD Versio软件进行分析很方便,但仍需输入经验值。笔者根据设计过的多套前轴、曲轴辊锻模、辊坯的现场测量及调整修模经验,认为设计辊锻模采用EUMUCO图表方便简洁,但需对一些参数作以调整。这是由于设计计算出的第一道横截面面积与选取的横截面形状尺寸面积充不满系数不同,随横截面缩减率(或伸长率)的增大而增大,一般在0.95~0.99范围内。而且,在EUMUCO公司资料中伸长率的分配也有些不太合理。第一道变形量较少,尤其是高度压下量较小,造成第二道变形量较大,辊锻时易充满过量出现飞边,也易造成两道次纵向尺寸的不匹配。原因可能是我厂乃至我国的辊锻机使用太久,设备的维修保养不足,更新保养不及时,配合间隙大,精度达不到德国等发达国家的原有要求。

在《锻模设计手册》、EUMUCO公司的资料,以及VeraCAD Versio等软件资料中都没有修边角(VeraCAD Versio软件在大横截面缩减率中椭圆截面两侧的曲率半径加大以利于宽展,在小横截面缩减率中两侧的曲率半径减小以限制宽展),《回转型塑性成形工艺及模具》一书仅在圆形槽中引入了修边角。为了增大辊锻工艺的稳定性,我们在设计时常常增加修边角,以避免在辊锻时或辊距调整时等截面段充满过量出现飞边。一般椭圆形槽的修边角选取 15° 左右,且轴长比越大越取小值,圆形型槽选取 $20^\circ \sim 30^\circ$ (见图1)。

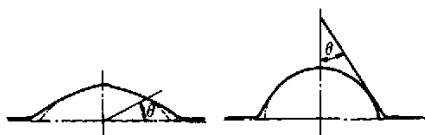


图1 修边角的结构设计

因此,在设计辊锻模时需将 EUMUCO 图表中第一道和第二道伸长系数的分配作如下调整:

(1) 在总伸长率分配时,将第一道伸长系数增大一级,依此计算第一道横截面面积和形状尺寸,即高度和宽度尺寸,确定轴长比。

(2) 计算第一道横截面面积与选取的横截面形状尺寸面积充不满系数。对充不满系数大于 0.97 (或总伸长率大于 1.75) 的横截面,设计时需考虑修边角,而对充不满系数小于 0.97 的横截面可以不考虑修边角。

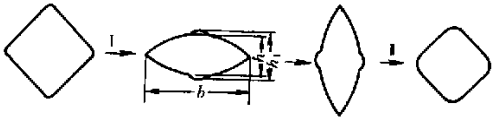
(3) 在公称辊距辊锻时,经过测量大量椭圆辊坯的高度和宽度,其横截面面积充不满系数一般可按 0.98~0.99 计算。

由此可以精确地计算出两道伸长系数 (即前面调整的伸长系数是一个虚值),并计算出第一道各段等截面区的辊坯长度。

当总伸长率大于 2.2,为避免第一道压下量过大造成的轴长比过大所导致的第二道翻转 90° 辊锻时失稳,两道伸长系数即轴长比可仍按 EUMUCO 表分配,或采取三道辊锻。当总伸长率小于 1.3,横截面减缩率很小,两道系数选取相等或第一道略大于第二道即可。

表 1 为 EUMUCO 公司方一椭圆一方型槽系辊锻成形宽展与压下量的比值,表 2 为修正后的辊锻成形宽展与压下量的比值。

表 1 EUMUCO 公司方一椭圆一方型槽系辊锻成形宽展与压下量的比值



λ_1	A_1	h	$b:h$	$h_1:h$	A_2	λ_2	$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2$
1.92	48%	$h = \sqrt{A/2.3}$	3.2	1.33	28%	1.39	2.66
1.82	45%	$h = \sqrt{A/2}$	2.85	1.25	26%	1.36	2.47
1.66	40%	$h = \sqrt{A/1.73}$	2.48	1.2	23%	1.30	2.16
1.61	38%	$h = \sqrt{A/1.65}$	2.3	1.15	22%	1.28	2.06
1.43	30%	$h = \sqrt{A/1.35}$	1.96	1.09	20%	1.25	1.79
1.39	28%	$h = \sqrt{A/1.32}$	1.88	1.08	19%	1.23	1.71
1.25	20%	$h = \sqrt{A/1.1}$	1.62	1.06	17%	1.19	1.49

注: A 为原始毛坯截面面积; λ_1 为第一道伸长率; A_1 为第一道截面面积; A_2 为第二道截面面积; λ_2 为第二道伸长率。

表 2 修正后的方一椭圆一方型槽系辊锻成形宽展与压下量的比值

λ_1	A_1	h	$b:h$	$h_1:h$	A_2	λ_2	$\lambda = \lambda_1 \cdot \lambda_2$
1.92	48%	$h = \sqrt{A/2.3}$	3.2	1.33	28%	1.39	2.66
1.82	45%	$h = \sqrt{A/2}$	2.85	1.25	26%	1.36	2.47
1.72	42%	$h = \sqrt{A/1.79}$	2.6	1.23	24%	1.32	2.27
1.72	42%	$h = \sqrt{A/1.79}$	2.6	1.23	20.2%	1.26	2.16
1.66	40%	$h = \sqrt{A/1.73}$	2.48	1.2	19.1%	1.24	2.06
1.61	38%	$h = \sqrt{A/1.65}$	2.3	1.15	17.7%	1.22	1.96
1.54	35%	$h = \sqrt{A/1.48}$	2.2	1.1	14.1%	1.16	1.79
1.43	30%	$h = \sqrt{A/1.35}$	1.96	1.09	16.5%	1.19	1.71
1.39	28%	$h = \sqrt{A/1.32}$	1.88	1.08	14.3%	1.17	1.62
1.33	25%	$h = \sqrt{A/1.2}$	1.75	1.06	10.5%	1.12	1.49
1.25	20%	$h = \sqrt{A/1.1}$	1.62	1.06	7.4%	1.08	1.35

注: A 为原始毛坯截面面积; λ_1 为第一道伸长率; A_1 为第一道截面面积; A_2 为第二道截面面积; λ_2 为第二道伸长率。

2. 前滑值的影响

坯料在轧制或辊锻时,在高度上受到压缩,在纵向获得延伸,而在横向产生宽展。在纵向延伸时,实际上金属是向着变形区的入口和出口两个方向流动的,与通常的锻造变形相似,也存在一个流动分界面。该分界面在轧制或锻造时通常称为中性面或临界面,它不是位于变形区中间,而是向出口端一侧偏移。在中性面前面的区域——前滑区,金属质点相对于锻辊向前滑动,因此金属的出口速度将大于锻辊线速度,此现象即为前滑;在中性面后面的区域——后滑区,金属质点相对于锻辊向后滑动,因此金属的出口速度将小于锻辊线速度,此现象为后滑。

前滑的大小与轧制或辊锻过程中的多种因素有关。到目前为止,尚很难说哪一个前滑公式能够反映所有工艺因素的影响,并取得准确的计算结果。因此,用公式计算出的前滑值,往往需经试验进行修正,工程实践中通常采用经验值选取。

在辊锻过程中,金属的前滑与多种工艺因素有关,如锻辊直径、变形温度、速度、接触摩擦条件、润滑及相对变形程度等。

随着变形程度的增加,金属的前滑是增加的;随着摩擦系数的减少,前滑是降低的。因此,在变形程度大的区段,可开设阻力沟以增加摩擦系数,提高前滑值。凡是有利于限制宽展变形的工具和坯料形状,均将有利于延伸和前滑。当坯料温度在 700℃ 以下,前滑随着温度的增加而增加,而在



700~1200℃范围内,前滑则随着温度的升高而减少。因此,减少辊锻过程中温度的波动,对稳定辊锻件的长度尺寸具有很大意义。而随着锻辊直径的增大,金属的前滑是增加的。

结合影响前滑的因素和生产现场的调试经验,前滑值的选取可遵循如下原则:

大辊径的($\phi 930 \sim \phi 1000\text{mm}$)辊锻机,其前滑值应取大值。第一道过渡楔形段大截面在前取12%,小截面在前取4%,等截面的长度区段平均取5.5%为宜。考虑到变形量的影响,需对第一道等截面段作调整,变形量大的细径取5%,变形量小的粗径取6%;第二道限制宽展变形有利于延伸和前滑,总体上前滑取小值,其楔形段大截面在前取10%,小截面在前取3%,等截面段取5%为宜。小辊径的($\phi 300 \sim \phi 500\text{mm}$)辊锻机,其前滑值应取小值。第一道楔形段大截面在前取10%,小截面在前取3%。等截面段平均取5%为宜,细径取4.5%,粗径取5.5%;第二道楔形段大截面在前取8%,小截面在前取2%,等截面段取4%~5%为宜。

另外,相应矩形法是计算宽展和型槽纵向尺寸很有效的方法。在设计辊锻模时一定要计算相应矩形,切不可简单地直接用型槽的高度和宽度尺寸计算,否则将会影响型槽的纵向尺寸,造成道次不匹配。根据相应矩形的定义,相应矩形的截面积和该坯料截面积相等,其轴长比也和该坯料截面的轴长比相等,可得相应矩形的高度和宽度尺寸。

确定了前滑值和相应矩形尺寸,辊锻型槽的纵向尺寸,即模具中心角按下式计算将比较准确。

$$\theta = \frac{l_K}{R_Z} = \frac{l_Z}{\frac{1}{2}(D_0 - h'_1)(1 + S)}$$

式中 θ ——型槽所对应的模具中心角

l_K ——由型槽作用半径 R_Z 决定的型槽区段长度尺寸

l_Z ——相应区段的毛坯长度尺寸

R_Z ——型槽作用半径,制坯辊锻时可取 $R_Z \approx (D_0 - h'_1)/2$

h'_1 ——辊锻后毛坯的相应矩形高度

D_0 ——锻辊公称直径

S ——前滑值

3. 辊距调整的影响

在新模具调试时和实际生产中,难免需要辊距调整和型槽修改,其目标是保证得到最后一道所规定的辊坯形状尺寸。尤其是辊距调整的影响参数较多,除了第一道比较直观外,后续几道的伸长率变化比较复杂,不易凭直观判断,调试和生产中常有因辊距调整不当,造成各道辊锻伸长率不匹配,在辊坯截面变化的楔形段出现小飞边(俗称辊锻耳朵)或充不满(俗称缺肉)现象(如图2所示),以致影响辊坯质量造成废品。为弄清辊距调整变化对道次匹配的影响,以30Q02—01011辊锻为例,对辊坯进行实际测量和计算,如图3所示。

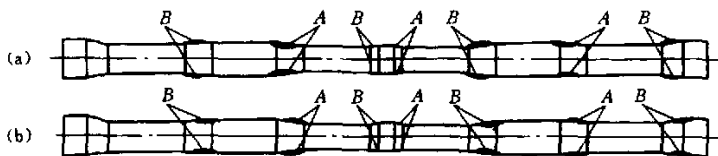


图2 辊坯楔形段的耳朵和缺肉

(a) 辊距增大 (b) 辊距减小

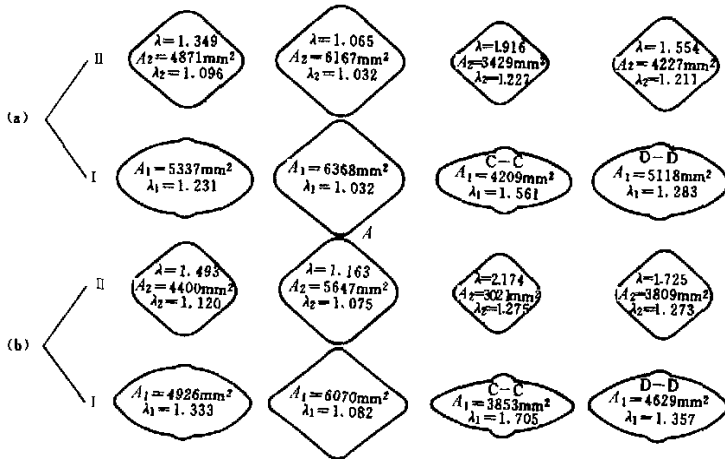


图3 辊距调整对各道次截面面积变化的影响

(a) 辊距增大2mm (b) 辊距减小2mm

由图3可知,当辊距减小(增大)时,辊锻的总伸长率和各道次的伸长率增大(减小)。正是由于辊距调整对伸长率的影响,由 $l_{n-1} = l_n / \lambda_n$ 可以看出,辊距调整减小(增大)时,实际生产中 λ_2



增大(减小)导致 l_1 减小(增大)。然而设计的辊锻模 λ_2 不变,即辊锻模型槽各段角度不变,从而造成了第一道相对第二道滞后(或超前),即图2中楔形段“A”区出飞边(或缺肉),楔形段“B”区缺肉(或出飞边),且越远离始辊位置(钳口端)道次越不匹配,甚至相差几十个毫米。另外,需要指出的是,辊距调整只影响道次匹配和未辊区段的长度,并不影响辊出的每道辊坯变形区段的长短。因此,正确而又适当的辊距调整可以满足辊锻道次的匹配。

我厂29Z33-04028连通轴的锻造成形工艺是在 $\phi 930\text{mm}$ 的辊锻机上辊锻两道后(总长1300mm、中间辊锻长度达620mm),直接压弯成形,没有模锻成形。因此对两道辊锻的道次匹配要求极严(仅3~4mm),以免造成大量的废品。该零件生产中必须严格调整好辊距,再辅以辊锻模少量的楔形段修正,便可保证辊锻质量。

另外,辊距调整时,从对辊坯的观察和测量还可以看到,变形量大的截面,在辊距调整减小时,第一道充不满系数明显增大,严重时整个等截面段出现飞边,而第二道则充不满;辊距调整增大时,第一道充不满系数变小,而第二道充不满系数增

大,严重时整个等截面段出现飞边,但第二道相对第一道影响变化不够明显。正是在型槽设计时增加了修边角,才避免了辊距调整时辊坯等截面区段飞边的出现。另外,辊距调整时充不满系数的变化,与伸长率以相同的规律影响辊锻道次的匹配,只是效果轻一些。当然,如果两边的楔形段都出现耳朵(或缺肉),此时调整辊距就没有意义,只能靠修改模具型槽来解决。

4. 结语

(1) 在辊锻模截面设计时,增设第一道型槽横圆截面修边角可以增加辊锻工艺的稳定性,相应地适当加大第一道的伸长率即轴长比,使得计算出的截面积与实际辊坯更接近,有利于道次的匹配;型槽纵向尺寸设计时,前滑值的选取要考虑各种影响因素,并一定要考虑相应矩形,使得计算出的尺寸更接近实际,辊锻道次匹配比较精确。

(2) 当辊距调整减小(或增大)时,辊锻的总伸长率和各道次的伸长率都增大(或减小)。第一道充不满系数增大(或减小),第二道充不满系数减小(或增大),第一道相对第二道滞后(或超前)。因此,正确而又适当的辊距调整可以协调辊锻道次的匹配。

(20020928)

(上接第55页)

中的扩散能力,有利于氢的析出。

3. 检验结果

(1) 化学成分 生产的两炉炉号分别为1-477和1-571,成分控制在钢的搭配范围内,电渣锭表面光滑,主要化学成分及电渣锭热送情况见表2。

表 2

炉号	C	Si	Mn	Cr	Mo	热送
1-477	1.6	0.24	0.28	11.05	0.41	正常
1-571	1.5	0.25	0.29	11.39	0.46	正常

(2) 超声波检测 共锻制9支电渣锭,锻造裂纹2支,轧辊坯7支,超探全部合格,合格率为77.8%。

(3) 低倍组织检测 低倍组织检测均符合技术标准要求(见表3)。

表 3

低倍组织	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
一般疏松(级)	0.5	0.5	0.5	0.5	1	0.5	0.5
中心疏松(级)	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
点状偏析	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5

(4) 高倍组织检测 高倍组织检测结果均符合技术标准要求(见表4)。

表 4

高倍组织	2°	3°	4°	5°	6°	7°	8°
珠光体	1	2	2	2	1	2	1
共晶碳化物	3	5	4	4	3	2.5	2

4. 结语

(1) 锭型对质量的影响 电渣锭与铸锭比顺序凝固好,表面状态较光滑,偏析轻,夹杂物不易聚集,满足了轧辊生产需要,保证了轧辊的质量要求。

(2) 锻造工艺对质量影响 Cr12MoV钢塑性低,在平砧上锻造易开裂,因而采用上平、下V砧拔长锻造。由检测结果可以看出,此方案对碳化物的击碎都达到标准要求,并有效地控制了裂纹的产生。

(3) 设备吨位对质量的影响 由检测结果看出,水压机上锻造Cr12MoV钢大轧辊,锻比 $k=2.58$,设置具有足够的吨位,锻件心部得到了充分锻透。

(20020930)