采用压凸—冷挤复合工艺提高凸台强度

江西省新余市信达长林机械公司　(338029)　钟翔山

图1所示为可调式座椅上滑套机构中的关键件——锁扣。采用3mm优质碳素结构钢20制成，其上有一直径为ϕ12mm的圆凸台，在机构中该凸台外与外滑套配合滑动且绕其自身轴心线摆动，并承受交变载荷。由于功能重要，零件制成后，要求与外滑套配合进行一百万次的滑动试验而不失效。

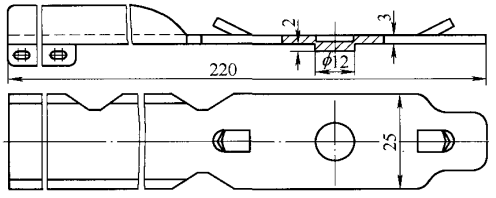

图1　锁扣零件简图

1. 工艺方案及压凸台模结构设计

该零件为成形弯曲，结构并不很复杂，由于成形的凸台与零件连接仅有1mm，该处的强度势必受到影响，如果行程调节不当或模具设计不合理都将直接影响产品质量，故凸台成形模的设计成为零件合格与否的关键。

经对零件进行工艺分析后，确定采用落料—弯曲—切舌—压凸台的工艺方案。分别设计落料模、弯曲模、切舌模、压凸台模等四套模具完成零件的制造。其中设计的压凸台模结构如图2所示。

整套模具由上模及下模两部分组成。工作时，半成品零件置于凹模6适当位置，随着压机滑块的下降，凸模4与凹模6共同作用开始对零件实施压凸，当导套与限位块1相撞，凸台即告完成。随着压机滑块上行，上、下卸料板分别在各自聚氨酯块弹力作用下将压好的凸台零件分别从凸、凹模上卸出，完成压凸台工序。

为避免压力机行程调节不当对零件成形凸台深度的影响，同时在两个导柱上设置限位块1控制压力机滑块下降的高度，以免造成零件冲断。根据零件工作性质，凸、凹模单面间隙取0.27～0.35mm，

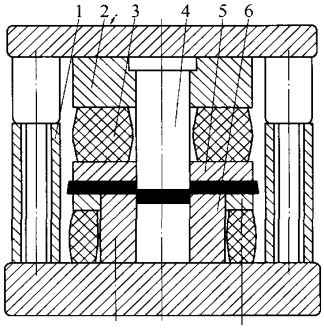

图2　压凸台模结构简图
1. 限位块　2. 固定板　3. 聚氨酯块
4. 凸模　5. 卸料板　6. 凹模

2. 零件失效原因分析及改进措施

按上述工艺方案及设计的模具生产出了外形完全合格的零件，然而在滑动试验中，在运行十几万次甚至几十万次时，圆凸台发生断裂脱落现象，多次更换零件再试验，结果依然。

对断口形貌进行仔细观察发现：断口粗糙，零件断裂口附近有三至五处裂纹，裂纹沿凸台周围呈发射状向外延伸；断口分析表明为脆性断裂。为找寻零件早期失效原因，有必要针对压凸台模具结构分析其凸台成形机理。

从压凸台模具结构可知，这种压凸成形是在具有尖锐刃口及间隙合理的凸、凹模作用下，经过压缩塑性变形、剪切、部分断裂分离三个阶段而完成的。材料的变形过程类似于冲裁变形过程，实际上是一种材料未完全冲断的不完全冲裁。

整个变形过程为：凸模接触材料，将材料压入凹模洞口，在凸、凹模压力作用下，材料表面受到压缩产生塑性变形，由于间隙的存在，使材料同时受到弯曲和拉深的作用，当凸模继续压下，压力增加，材料内部应力达到屈服条件，剪切变形区开始宏观的滑移变形，此时

凸模开始挤入材料，并将下部材料挤入凹模孔中，纤维组织产生更大的弯曲和拉深变形，由于所压凸台下陷较大，板料与凸模和凹模刃口接触处将分别产生裂纹，使板料产生部分分离，同时纤维组织部分被切割破坏。

由此可知，圆凸产生断裂脱落的本质是由于成形机理不合理，导致圆凸与原材料间的纤维组织遭到破坏，并使下陷的凸台口应力集中甚至出现微裂纹。要彻底解决，只有运用新的成形工艺。

在充分分析凸台各种成形方法的基础上，决定采取如下措施：使用压凸—冷挤复合工艺成形凸台，在不影响产品使用的情况下，对锁扣产品作如下改进，即在成形的圆凸上端面，压制深 0.3mm，直径 18mm 的浅痕。如图 3 所示。

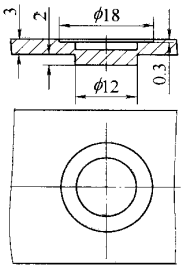

图 3　凸台改进图

3. 压凸—冷挤复合模设计

(1) 模具结构及工作过程　设计的压凸—冷挤复合模如图 4 示。

整套模具主要由上模及下模两部分组成，其中上模部分由压凸上模 4 压入冷挤凸模 3 后再与上固定板 2 成过盈配合，然后中间安放上垫板 1 与上模板联结而成，下模部分由压凸下模 5 压入冷挤凹模 6 后再与下固定板 7 成过盈配合，然后中间安放下垫板 8 与下模板联结组成。

工作时，模具开启，压力机滑块在上死点，条料置于冷挤凹模 6 合适位置，上模下行，待加工的半成品首先被模具上、下卸料板压紧，随着上模的逐步下移，压凸上模 4 迫使其压迫下的材料流入其对面的冷挤凹模 6 凹坑以形成凸台，当上模下行 1.7mm 时，冷挤凸模 3 开始接触坯料，对坯料施行压痕，与此同时凸台仍在成形，于是，压痕处的金属材料沿下陷的凸台处流动，至此圆凸在压凸上模 4 与压凸下模 5 以及坯料上的压痕在冷挤凸模 3 与冷挤凹模 6 的共同作用下受到双向镦挤作用后，整个成形结束。随着滑块的上行，上、下卸料板在各自卸料橡胶的弹力作用下分别从凹、凸模上卸出零件，完成一个工作周期，零件转入下一个工作循环。

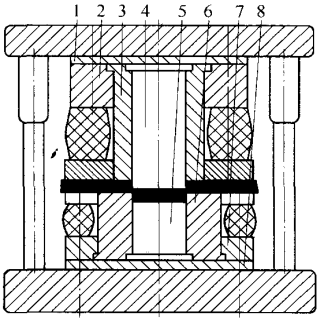

图 4　压凸—冷挤复合模结构简图

1. 上垫板　2. 上固定板　3. 冷挤凸模　4. 压凸上模
5. 压凸下模　6. 冷挤凹模　7. 下固定板　8. 下垫板

(2) 设计要点

①模具的工作零件全部采用结构式装配、组合，从而有利于凸、凹模的加工制造，使精度调整及维修方便。当工作零件磨损需进行修刃时，只要分别对有关凸、凹模进行磨削，便可保证其使用性能不变，使模具寿命得到提高。

②压凸台的主要工作部件压凸上模 4 及冷挤凹模 6 刃口设计成小圆角 R0.3mm，以抑制裂纹的产生。

③为改变凸台成形的冲裁性质，增大成形中的挤压作用，压凸上模 4 及冷挤凹模 6 的双向间隙取 0.01 ~ 0.02mm。

④冷挤凸模 3 为挤压 ϕ18mm 压痕之用，其刃口周围倒圆角成 R0.3mm。

(3) 压凸—冷挤复合工艺成形机理　尽管压凸—冷挤复合模与压凸台模的工作过程基本一致，但由于在冲压工艺及模具设计上有针对性地采取了措施，从而使其成形与原冲裁的性质完全不同。

在凸台成形阶段，由于压凸台的主要工作部件采用了小圆角刃口，从而增强了对被冲材料的径向压应力，提高了金属塑性，起到了抑制裂纹产生的作用，在压凸台过程中材料被均匀地挤入冷挤凹模 6 洞口，材料纤维被拉长，并由凹模的光滑表面压平，形成了很光的断面，而很小冲裁间隙的采用，又加强了冲裁变形区的静水压，使挤压作用加大，拉深、断裂作用减小，工件剪

(下转第 66 页)

（续）

先后次序	参数	编号位	设定状态	备注
2	5400	#6	XSC=0	轴缩放（0：所有轴的缩放倍率用P指令，1：各轴缩放倍率用I、J、K指令）
3	5400	#7	SCR=1	缩放倍率单位（0：0.00001 倍，1：0.001倍）
4	5401	#0	X 1 Y 1 Z 1	各轴缩放（0:缩放无效，1:缩放有效）

设定完毕后继续在MDI状态下→SETTING→参数修改“PARAMETER WRITE”设定为0“不可写”，然后按下“RESET”键复位即可实现等比例缩放功能。实际运行轨迹如图2a图：

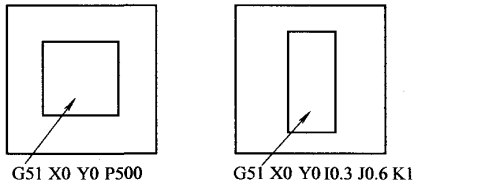

图 2

很显然，依据当前的设定可以实现等比例的缩放，但是对于X、Y、Z轴缩放比不统一的情况，依据上述设定仍不能解决问题，还必须依照表3继续进行设定，首先还是在控制面板MDI状态下→SETTING→参数修改“PARAMETER WRITE”设定为1“可写”，然后依表3：

表 3

先后次序	参数	设定状态	备注	
5	5400	#6	XSC=1	轴缩放（0：所有轴的缩放倍率用P指令，1：各轴缩放倍率用I、J、K指令）
6	5421		X 1 Y 1 Z 1	设定各轴的缩放倍率

程序校验：

（100mm×100mm方部分程序）

```
X-70 Y-70
G1 Z-20 F100
M98 P1
G0 Z5
G1 Z-10 F100
G51 X0 Y0 I300 J600 K1000（不等比缩放设定）
M98 P1
G50
```

设定完毕后继续在MDI状态下→SETTING→参数修改“PARAMETER WRITE”设定为0“不可写”，然后按下“RESET”键复位即可应用不等比例缩放功能。

3. 结语

按照表3设定后，实际运行轨迹如图2b图，成功实现了不等比缩放，但是需要说明的是两种设定不能同时使用，也就是说缩放比例P与I、J、K不能同时指定，依据笔者的经验还是I、J、K的指定方式比较方便，如I、J、K设定一致等于同时包容了等比缩放的功能。

（收稿日期：20060705）

（上接第44页）

切面上的剪裂带大大减小，同时圆角对剪切面的压平作用，使工件断面质量得到进一步地提高，这种压凸台的形式实质上是一种冲裁—挤光复合工序的加工；在压痕及凸台复合成形阶段，冷挤凸模3通过压痕时的径向挤压力作用促使其下部的材料向模腔内流动，从而达到利用模具在压力机上对模腔内的金属坯料施加相当大的压力，使其在三向受压的应力状态下产生塑性变形，保证变形后的材料组织致密并冷作硬化，使纤维组织沿凸台轮廓分布，形成连续的纤维流向，这样材料的强度便得到较大的提高，避免了原凸台成形中对金属内部纤维的破坏。

4. 使用效果及结论

由于设计的压凸—冷挤复合模较好地控制了由于弯曲及拉深等作用造成的剪切裂纹，避免了对坯料金属纤维的破坏。因此，生产的一百余套样品经长达二个月的破坏性试验，没有再出现圆凸断裂脱落现象，加工的凸台全部合格。目前已转入大批量生产。

锁扣凸台的制造成功说明：对原失效原因的分析是正确的，采取的压凸—冷挤复合工艺措施是有效、合理的。压凸—冷挤复合工艺的有效运用能有效地提高加工件的强度及抗疲劳性能。（收稿日期：20060428）