浅谈

曲轴的冷滚压强化工艺

山东华源莱动内燃机有限公司 (265200) 张焕洲

内燃机曲轴的主要破坏形式是断裂和轴颈磨损，其断轴率为0.5%～2%，这是因为曲轴的结构及其所受的载荷使其应力分布极不均匀，在主轴颈、连杆轴颈与曲拐相连接的过渡圆角处产生了比曲拐同截面的名义应力高出数倍的集中应力峰值所导致的。过渡圆角处的最大弯曲应力占80%，扭转应力仅占20%，一系列的应力分析和大量的曲轴断裂实例表明，断裂一般发生在连杆轴颈过渡圆角与主轴颈过渡圆角的对角线上。

为了提高疲劳强度和耐磨性，提高曲轴的寿命，需要对其进行表面强化处理。由于冷滚压强化具有下列优点而被广泛应用于生产实践中。

(1) 工艺简单，工艺周期短，所消耗的能量与材料少，经济性好。

(2) 强化深度可达3mm以上。

(3) 可提高疲劳强度50%～100%，表面粗糙度提高1级左右。

(4) 不形成裂纹、表面脱碳等缺陷。

(5) 适于大量生产和所有金属及合金。

曲轴圆角滚压强化的深度和最大残余压应力值取决于滚压力、滚轮形状、尺寸和工件的材料等。

1. 强化工艺概况

曲轴工作应力高度集中于轴颈与曲臂的过渡圆角处，尤其是连杆轴颈圆角承受着最大的交变拉应力。一般曲轴工作故障主要是弯曲疲劳断裂，其疲劳源均发生在过渡圆角处。因此，提高曲轴强度的关键在于提高过渡圆角处的弯曲疲劳强度。

2. 滚压机理探讨

圆角滚压是滚轮在外力的作用下，使曲轴圆角部分产生局部的塑性变形，其表层一定深度范围内出现双向残余应力。残余应力先是压应力，后是拉应力，即“先负后正”，并在离表层一定深度处达最大值。但随着深度的增加，残余应力又逐渐减小。外表层残余压应力不是最大值，是因为表层变形稍有恢复所致。

曲轴的疲劳破坏通常是拉应力反复作用的结果，并且始于金属表面。由于残余压应力的存在能抵消一部分拉应力，从而提高了曲轴的抗弯疲劳强度。

3. 控制滚压变形的措施

影响滚压变形的工艺因素复杂，它不仅与滚压装置的结构、滚压参数有关，而且与操作有关。

(1) 滚压力的选择　对球铁曲轴的滚压试验表明：随着滚压力的增加，主轴颈的跳动量也越来越大，基本上呈线性关系。当P大于3MN后，疲劳强度提高甚微，因而在选用P时要兼顾到滚压变形不致于过大。

(2) 设计合理的滚压装置　主轴颈滚压头不但刚性要好，定位精度要高，而且与底座的连接要浮动，这样可预防曲轴安装夹紧等误差所引起的变形。连杆轴颈滚压头的重量由平衡块平衡，减少了滚压过程中由惯性载荷引起的曲轴变形。

(3) 曲轴的正确安装　安装时以床头顶尖和尾座顶尖顶住曲轴两端中心孔，并用四爪卡盘将一端轴颈夹紧。由轴找正后用中心架支承后端轴颈，然后将尾座顶尖退掉，呈不受轴向力状态。在滚压过程中曲轴有一定的轴向伸长，如尾座顶尖不退掉，有拱弯的可能。

由于采取了以上措施，曲轴的滚压变形基本上

得到了控制，为精磨后的滚压创造了条件，并获得了较佳的强化效果。

4. 对滚压设备的要求

强化滚压工艺虽有许多优点，但至今尚未找到一种准确而无损地检验强化效果的方法，其可靠性只有依赖机床保证。因此，对滚压机床提出了下列基本要求：

（1）工件准确稳定，能克服曲轴加工误差的影响。

（2）对工艺参数的适应性强。

（3）能控制滚压变形量。

此外，亦要考虑生产效率和自动化程度等。

5. 工艺参数的选择

主要工艺参数有：滚压力、滚压次数（圈数）和滚压速度。

（1）强化效果主要以残余压应力和滚压层深度（硬化层）来衡量。在一定范围内，加大滚压力，则残余压应力和滚压层深度相应增加，强化效果提高。但滚压是利用塑性变形的一种强化方法，不可能使残余压应力和滚压层深度超过限度，否则会使滚压表面起皮，甚至剥落、变形，反而降低滚压效果。滚压力增加还涉及到滚压工具、滚压机床的刚性和冷却润滑等问题。因此，往往把滚压力限制在中等数值范围内。据有关资料介绍，最大残余压应力为材料屈服点的 1.5 倍，滚压层最大硬度为材料硬度的 1.5 倍为宜。亦可根据等强度观点，将曲轴圆角强度提高到与其他部位相等或稍高，使曲轴故障不致于在圆角区发生，这样就达到了强化的目的。

（2）滚压次数。滚压的先决条件是工件材料具有足够的塑性。曲轴圆角在滚压过程中形成环形压痕，金属沿切线和圆角方向流动，圆角两侧堆积的金属形成凸缘。试验表明，在给定压力下，当滚压至一定次数后，压痕深度和凸缘高度达到最大值，不再继续扩展，滚压层深度和残余压应力亦不会再增加，滚压次数一般应选在 10～25 次为宜。材料硬度高，需要的滚压力较大，滚压次数应适当减少。

（3）滚压速度。滚压速度与曲轴圆角的半径大小及硬度、滚压工具的结构形状、滚压力、滚压机床等有关。一般情况下，取 5～15m/min。对于圆角半径较小、硬度较低、机床工作平稳或采用钢球滚压的情况，当在滚压力较小的前提下，可选用较高的滚压速度。

6. 滚压工序的位置

滚压工序放在精磨轴颈后最理想。曲轴圆角表面粗糙度值一般设计规定为 0.8μm 以上，但在大批量生产中，采用磨削很难达到，而滚压却易于满足，且还可以修整圆角的不圆度，弥合由于加工引起的微观缺陷。

7. 滚压变形

曲轴滚压后的扭转变形量甚小，且易于控制。弯曲变形量较大，往往超过图样的几倍，主要表现为轴颈的不同心度增大。滚压主轴颈圆角所产生的变形，大致和连杆轴颈的相反，若主轴颈和连杆轴颈的圆角同时滚压，其变形量必然会减小。在同时滚压时，最好主轴颈圆角的滚压压力稍大于连杆轴颈的滚压压力，这对控制变形有利。

8. 检验规范

检验规范的主要指标是残余压应力和滚压层深度。一般强化滚压的检验规范如下：

（1）滚压表面粗糙度值为 0.4～0.8μm。

（2）滚压下沉量不限制。

（3）滚压带宽度不小于圆角区的 80%。

（4）滚压凸缘高度不大于 0.005mm，且不应超出圆角区 0.5mm。

（5）圆角位置不得偏移（样规检查）。

（6）主轴颈的不同轴度不大于滚压前的跳动量。

（7）圆角区不得有裂纹（磁力探伤）。

（8）每生产曲轴 3000 根，抽样两根作弯曲疲劳试验，强度提高应不低于 38%。

9. 结语

（1）滚压工艺参数与强化之间的定量关系至今未见规定，也没有一种准确无误的检验方法。在大批量生产中，只有凭表面质量判断滚压效果。

（2）各工艺参数互有影响，主要是滚压力的选择不仅对残余压应力和滚压层深度起着决定性的作用，同时也直接影响滚压表面质量和滚压变形。

（3）滚压设备，不论是专机或普通机床加工装备均可，最好是主轴颈和连杆轴颈同时滚压，这对控制变形有一定的效果。

（20030908）