

1. 高速刀具装夹的要求

刀柄对刀具的夹持力大小和夹持精度高低，在高速切削中至关重要。如果刀柄对刀具夹持不牢固，轻则降低加工精度，重则导致刀具及工件损坏，甚至引发安全事故。高速切削用的刀具，尤其是高速旋转刀具，由于旋转速度很高，无论是从保证加工精度方面考虑，还是操作安全方面考虑，对其装夹技术有很高的要求。高速加工对刀具的夹紧也提出了很高的要求：

- (1)任何转速下均可产生足够的拉力；
- (2)能可靠地防止刀具松脱；
- (3)夹紧力与外部作用力无关，可以监控夹紧状态；
- (4)不平衡量小，动平衡性能好；
- (5)带夹紧系统的主轴其固有频率适当，结构阻尼较高；
- (6)在夹紧和松开刀具时主轴轴承无负载；
- (7)夹持回转精度高；
- (8)换刀时间短。

2. 高速加工夹头的失效形式

高速加工夹头在高速加工中，由于较高的旋转速度、自身的结构特点、加工参数的选择不合理，会造成夹头在高速加工中种种失效，影响加工质量，加大了生产成本，甚至危及人身安全。

1) 材料强度失效

由于夹头材料强度不足、夹头结构设计不合理或使用时采用了过高的加工转速，在巨大离心负载作用夹头下产生破裂。这不仅仅影响生产加工的正常进行，而且可能危及人身安全；应选用强度较大的夹头材料，但应考虑加工成本。

2) 夹持力失效

一般而言，夹头—刀具配合在高速旋转时，都会因夹头和刀具的尺寸及材料差异导致夹持力减小。以热装式夹头为例，在高速旋转时，刀具的刚度大于热装式夹头的刚度，刀具受离心力小于热装式夹头受到的离心力，相同主轴转速下热装式夹头内孔径向扩张量大于刀具扩张量，从而减小过盈量，使夹持力相对减小，不能提供足够的扭矩，难以保证加工的顺利进行，出现掉刀现象。在使用一段时间后，夹头的内孔磨损致使无法保证足够的过盈量，以确保机械加工顺利进行，即无法提供足够的夹紧力。这也是高速加工夹头的主要失效形式。

3) 疲劳磨损失效

例如，在反复加热、装卸，热装式夹头部位出现热疲劳，无法再次使用；夹头在使用一段时间后，内孔磨损致使无法保证足够的过盈量，以确保机械加工顺利进行；夹头多次使用后，因材料发生疲劳而失效。

4) 塑性变形失效

三棱变形式夹头在装夹刀具时，产生塑性变形，无法恢复设计的原有位置。热装式夹头在拆装刀具时，由于较高的加热温度，也易产生塑性变形。

5) 不平衡量引起的失效

高速加工夹头结构一般采用对称设计，但不平衡量是始终存在的。由于高速旋转时会产生很大的离心力，使整个加工工艺系统产生振动，降低夹头和刀具的连接刚度及定位精度，影响零件表面加工质量，同时降低高速切削切削刃的抗弯强度和断裂韧性。

6) 冲击载荷引起的失效

在高速加工中，出现断续切削或受到偶然出现的冲击载荷，若是夹头刚度不

足，则会出现大的跳动，影响零件表面加工质量。夹头刚度也决定着高速加工能否顺利进行。

3. 影响热装式夹头夹持力失效的主要因素及控制

如前所述，在高速旋转时，刀具刚度大于夹头刚度，而且夹头直径大于刀具直径，刀具受到的离心力小于夹头受到的离心力，相同主轴转速下夹头内孔径向扩张量大于刀具扩张量，从而减小过盈量，使夹持力相对减小，不能提供足够的扭矩，难以保证加工的顺利进行，出现掉刀现象。这不仅影响零件加工质量，而且增加了生产成本，严重的甚至危及人身安全。

影响其夹持力的主要因素有夹头—刀具接触条件、夹头—刀具接触长度、初始过盈量、主轴转速、夹头壁厚、夹头—刀具配合尺寸和切削热的影响等。

1) 夹头—刀具接触条件

表面摩擦系数越大，接触配合所能传递的轴向力和转矩越大。另外，保持夹头内孔孔壁的清洁和干燥，也能保证轴向力和转矩的可靠传递。

2) 夹头—刀具接触长度

在夹头—刀具接触配合的长度范围之内，接触配合长度越长，接触配合所能传递的轴向力和转矩越大；对热装式夹头而言，过盈配合所能传递的扭矩正比于接触长度。合理的接触长度既保证夹头对刀具稳定、高精度夹持，以提高夹头与刀具的耐用度和工件的加工质量；又要考虑后续的夹头制造工艺，降低了制造成本。

3) 初始过盈量与夹头—刀具配合尺寸

初始过盈量通过直接改变内孔扩张量大小影响接触压力，热装式夹头—刀具接触面的接触压力随初始过盈量的增加而增加，且随基本过盈量的增加配合顶端的接触压力增长率加大，整个配合面上接触压力分布基本均衡。配合的基本尺寸一旦确定，过盈量是决定接触性能的主要因素，接触变形和接触应力均随着过盈量的增大而增大。

热装式夹头与刀具接触面上的压力随基本过盈量的增加而增加，且随基本过盈量的增加配合顶端的接触压力增长率加大，但从整个配合面来看，接触压力分布基本均衡。接触压力和位移值均随配合直径的增大而减小，因此对于较小内孔直径尺寸的热缩刀柄夹头，如果刀柄—刀具配合要采用较大的过盈量，则应考虑最大应力是否会超过屈服极限。在实际生产中，应根据配合直径的不同选择不同的配合过盈量。对于小直径的热缩刀柄，应尽量采用较小的配合过盈量以满足强度要求；对于大直径的热缩刀柄，则应尽量采用较大配合过盈量，以保证配合面具有合理的接触压力，实现稳定夹持。

过盈量影响到刀柄—刀具接触特性及使用性能，因此过盈量的选择也要遵循这两个方面的约束。首先过盈量所产生的接触特性应保证热缩刀柄满足强度要求；其次添加过盈量应能保证产生足够大的扭矩，以能正常夹持刀具进行工作。

1) 主轴转速

有关文献研究表明：离心力的作用会使热缩刀柄夹头与刀具连接面的过盈量减小，这表现为接触压力随转速升高有降低的趋势。当转速升高到一定程度，过盈量会减小到不足以产生足够大的夹紧力来夹持刀具，从而严重影响加工质量，甚至造成事故。

在一定转速下，过盈量与离心力共同作用产生的接触压力在整个接触面上分布不均匀，由热缩刀柄小端到大端接触压力逐渐变大。随着转速的增加，热缩刀柄与刀具配合的接触压力总体下降，但最大接触压力有升高的趋势。

5) 夹头壁厚

在夹持长度一定的条件下，过盈量、刀柄壁厚以及转速三个方面主要因素共同影响接触压力的大小。通过有关分析可知：接触压力随基本过盈量的增加而增加；由于刀具刚度大于热缩夹头结构刚度，刀具受到的离心力小于热缩夹头受到的离心力，故相同主轴转速下热缩夹头内孔径向扩张量大于刀具扩张量，从而减小过盈量，使夹持力相对减小。刀柄壁厚对夹持力的影响主要是双因素或三因素综合作用来体现：壁厚越大，在相同转速、相同初始过盈量条件下，接触压力越大。

6) 切削热

在高速加工过程中，特别是长时间干切削，切削区域产生的大量切削热会沿刀具传递，当热量传递到热装夹头部分后会导致夹头内孔受热扩张，配合过盈量减小，夹持力降低，严重的甚至造成掉刀现象。

随着切削传热不断升高，热装夹头内孔扩张量不断增大，这将导致夹持过盈量减小，夹持力下降。当刀杆顶端温度处在低温状态（40~60℃），热装夹头内孔的扩张量为2~3 μm ，这已经影响到初始过盈量为12~35 μm 的热装式夹头—刀具配合，随着温度的升高，影响的程度将显著增加。

采取冷却措施对切削传热导致的刀杆顶端温度升高有很好的预防效果，适当加大刀杆长度也是可以采取的措施之一，但刀杆过长无法保持其良好的径向刚度。