

CBN刀片在发动机缸体缸盖出砂孔粗加工中的高效应用

□ 一汽解放事业本部发动机事业部/史胜祥 丁胜明

由于铸造工艺需要，铸铁柴油机缸体缸盖有诸多出砂孔，采用粗镗/精铰加工后，封堵密封，其中粗镗一般采用硬质合金可转位刀片，受余量不均匀等因素影响，实际加工中存在刀片崩刃、换刀频繁、效率无法提升等问题。本文通过研究利用超硬CBN材料刀片的耐高温、抗磨损特性，实现缸体缸盖预铸孔粗镗的高速高效加工，实现效率和寿命的大幅提升。

近年来，重型载货汽车持续热销，某发动机厂自主研发的11L重型柴油机更是一机难求，2017年产销突破10万台，作为主要自制件的缸体缸盖机加工生产线虽已实行三班三运转，仍难以满足市场需求。

在不增加机床设备硬件投入的前提下，通过刀具优化升级，提升切削参数是提升产能是最直接最有

效的途径。为此，技术人员提出采用CBN刀片替代硬质合金刀片，利用超硬材料高速切削和耐磨性好的特性，提升切削效率，缩短单件加工时间，同时大幅提高单刃寿命，减少换刀停台。该发动机缸体缸盖上出砂孔多达53个，其粗镗加工耗时较多，且时常发生刀片崩刃问题，其中缸盖排气侧面

$8 \times \phi 47.5\text{mm}$ 就是之一。

此前，CBN刀片主要在粉末冶金座圈和缸体缸孔精加工等少量工序中应用，具有耐磨性极好，加工尺寸稳定，刀具寿命长等特点。

现有加工设备和参数

现有加工设备和参数见表1，加工工件如图1所示。

表1 加工设备和参数

加工设备	德国GROB G700加工中心（见图2）					
镗杆	MAPAL MN5109-10-K 三刃镗杆					
刀片	MAPAL SCGW09T308 硬质合金					
切削液	水溶性乳化液ECOCOOL 68CF2W 浓度8%~10%					
内冷流量压力	30L/min, 30bar (1bar=10 ⁵ Pa)					
加工内容	堵片孔					
切削参数	单边余量/mm	孔深/mm	转速/r·min ⁻¹	线速度/m·min ⁻¹	进给速度/mm·min ⁻¹	切削时间/s
	4~5	23.1	1 000	150	450	24.6

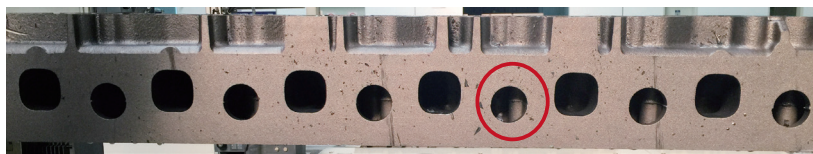


图1 加工零件和加工孔部位



图2 加工设备

现状分析

1. 国产毛坯材质不够稳定

缸盖铸件材质HT250（合金），硬度180~249HB，国内生产。由于铸造工艺难度大和原材料问题，经测量，出砂孔泥芯中心和

镗刀旋转中心（图样理论位置）会存在2~3mm偏差，且孔口会有硬度极高又不规则的毛刺，现有硬质合金刀片难以满足异常切削要求，生产过程经常造成镗刀崩刃（见图3），影响加工质量，甚至刀杆损坏。

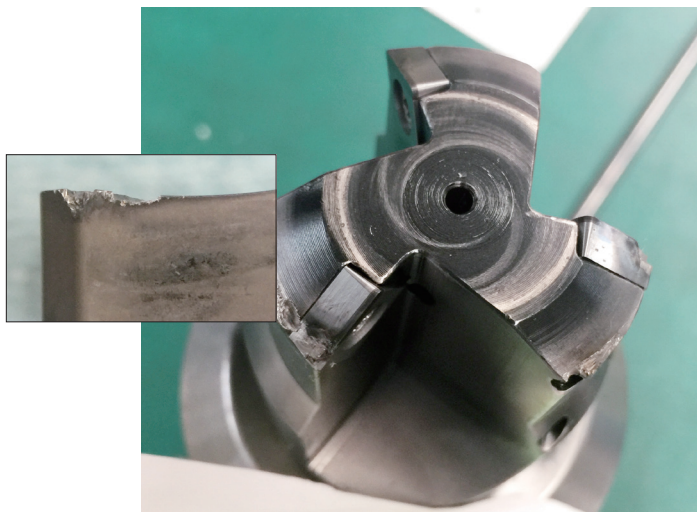


图3 崩刃镗刀

正常情况下，该刀具设定寿命为720孔，但从换下刀片看，后面磨损普遍严重，磨损宽度超过3mm，初步分析为毛坯预铸孔硬度不均匀且较高导致，现有硬质合金刀片难以满足高硬度的毛坯孔切削要求。

2. 硬质合金刀片已无提升空间

该刀具原方案是采用进口Mapal硬质合金涂层刀片，材质为近年新开发的HP455和复合TiAlN涂层；之后曾组织试验过多家国产和进口品牌刀片，但寿命和效率均未超过现有刀片，且目前刀具线速度已高达150m/min，每齿进给量0.15mm，基本达到硬质合金镗刀最大极限，该材质刀片已无效率提升空间。

CBN刀具优势分析

CBN是20世纪50年代发展起来的一种新型刀具材料，是继金刚石之后出现的又一款利用超高温超高压技术合成无机超硬材料。由于其优良的切削性能，能够实现高速切削，大幅提升加工效率，近几年发展很快。

CBN刀具具有如下特性：

（1）较高的硬度和耐磨性。

CBN刀具具有高硬度，仅次于金刚石，PCBN烧结体的硬度高达3 000~5 000HV，其耐磨性为硬质合金刀具的30~50倍，为陶瓷刀具的20倍。

（2）优良的导热性和热稳定性。CBN导热性好，用作刀具时，能够快速降低刀尖温度，减缓刀具刃口磨损，有利于加工精度和刀具

寿命提升，其导热系数是硬质合金的20倍；基于优良的导热性，带来较好的热稳定性，耐热温度可达1 400~1 500℃，比金刚石（700~800℃）耐热度还高出1倍左右。

（3）较低的摩擦系数。CBN与不同材料间的摩擦系数约为0.1~0.3，明显低于硬质合金0.4~0.6的摩擦系数。较低的摩擦系数有利于减小切削力，降低切削温度。

（4）超强的化学稳定性。CBN化学惰性大，对酸碱稳定，1 200~1 300℃下，与铁基材料也不起化学反应，仍能保持硬质合金的常温硬度，与碳元素只在2 000℃以上时才会起反应。

CBN刀具所具有的几大特性，均很好地满足现场毛坯材料高硬度和需要高速高效加工需求的环境，故我们选择国产CBN焊接刀片替代进口硬质合金的试验方案。

CBN刀具替代试验过程

1. 切削参数对比试验

针对CBN刀片，采用了4组切削参数（参数1为原参数）进行对比试验，具体见表2。

每组参数均进行了5轮试验，刀具设定寿命3 600孔，具体试验结果见表3。

由表3可见，参数1、2试验时均出现了刀片崩刃现象（见图4）；参数3试验时，加工情况正常，均达到设定寿命3 600孔，刀片磨损情况如图5所示；参数4试验时，机床主轴功率高达118kW，造成机床功率报警，最终刀具中途异常下机。初步确定CBN刀片加工采用参数3较为合理。

表2 切削参数对比试验方案

序号	转速/ $r \cdot \min^{-1}$	线速度/ $m \cdot \min^{-1}$	进给/ $mm \cdot \min^{-1}$	每齿进给/ $m \cdot \min^{-1}$	切削时间/ s
参数1	1 000	150	450	0.15	24.6
参数2	1 350	201	550	0.14	20.1
参数3	2 680	400	804	0.1	13.8
参数4	4 020	600	1206	0.1	9

表3 切削参数对比试验结果

（单位：孔）

序号	参数1	参数2	参数3	参数4
1	1 920	2 408	3 600	3 216
2	1 864	2 560	3 600	3 368
3	2 040	2 648	3 600	3 352
4	1 936	2 432	3 600	3 272
5	1 848	2 488	3 600	3 448
平均寿命	1 921.6	2 507.2	3 600	3 331.2
换刀原因	刀片崩刃	刀片崩刃	到寿命	机床功率报警



图4 参数

1、2崩刃情况

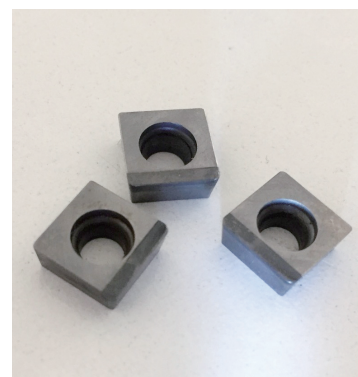


图5 参数3刀片磨损情况

2. 干湿切加工对比试验

CBN刀片加工一般采用干式切削，故上述切削参数对比试验均是在干切条件下获得的，但加工下机时刀具粘黏较多切屑，刀具表面较脏。考虑刀具清洁因素，在效果最好的参数3基础上，进一步验证湿切加工方式。湿切加工共试验3轮，具体试验结果见表4。

由表4可见，采用湿切加工刀

片出现崩刃现象明显（见图6），初步说明湿切不适合该工序CBN刀片加工，考虑通过下机前用切削液冲洗，解决粘屑和刀具表面脏问题。

3. CBN材质优化试验

在参数3、干切加工验证成功的基础上，我们又进行了20余轮刀具小批验证试验，验证中发现个别

表4 湿切加工试验情况（单位：孔）

序号	实际寿命	换刀原因	平均寿命
1	1680	刀片崩刃	1624
2	1528	刀片崩刃	
3	1664	刀片崩刃	



图6 湿式加工刀片崩刃情况

刀片出现了刃口轻微崩刃的现象。通过与刀具供应商技术交流，我们联合对CBN刀片的材质进一步优化，通过降低CBN含量减小颗粒提高刀片的抗崩性能，具体优化措施见表5。

由表5可见，通过降低CBN含量从而提高刀片的韧性；通过选用小的颗粒度，增加晶粒的界面积，提高烧结强度和抗裂纹扩展的能力，避免了刀片崩刃。

CBN刀片材质优化后，又进行了批量50轮刀具小批验证，加工情况稳定，未出现刀片刃口轻微崩刃现象。

至此，CBN推广替代硬质合金粗加工缸体缸盖出砂孔取得成功。

总结和推广应用

通过对CBN刀具材料特性进行研究分析，以及实际上机床刀具试验，摸索出HT250材料使用CBN刀具的相对最优切削参数和成分，通过国产超硬刀片替代进口品牌硬质合金刀片，利用超硬材料耐高温和耐磨性好的特性，实现了高速高效加工。

效率提升：进给率由450 mm/min提升至804mm/min；8个出砂孔的加工时间由24.6s降至15.8s，降幅约35%。

寿命提升：实际刀具寿命由720孔提升至3 600孔，提升400%，该刀具每天换刀/换刀检辅助时间减少32min，减少80%。

在该类型出砂孔镗刀试验成功后，在其他工序如缸盖凸轮孔粗/精镗刀、缸盖顶底面半精铣刀、缸体出砂孔镗刀上进行推广应用，拓展了CBN的应用范围，目前缸体缸盖生产线（见图7）已经有29款刀采用CBN刀具，实现铸铁件加工采用CBN超硬刀具的突破，在柴油机制造行业处于领先水平。

效率为机械加工的永恒课题，通过在铸铁加工中批量拓展应用CBN刀具，为生产效率和产能提升找到一条新途径，在行业内具有推广借鉴价值。后续将继续努力，进一步提升生产线的产能和效率。



图7 缸体缸盖生产线

表5 CBN刀片材质优化措施

	CBN含量（%）	颗粒度/um
优化前	90	4
优化后	85	2

AUTO1950