

耐热材料和 鈦合金的拉削

Н. Ф. 普倫金著

國防工業出版社

內 容 介 紹

本书內容系耐热合金和鈦合金拉削的理論基础以及根据航空工业的先进經驗和在这方面所取得的成就进行研究与总结所得出的实用資料。书中还介绍了对切削力、表面质量和切屑形成过程所研究的結果以及提高拉削型面精度和质量的应用資料。

根据結構鋼拉削时計算齿間所采取的确定容納系数之現行方法分析，对适用于耐热合金和鈦合金拉削的齿間容納系数进行了研究和測定。按此系数来計算齿間能使拉刀減至最小长度，相对地还能提高寿命。

作者根据切削区域的溫度現象、刀具材料的切削性能以及对拉刀磨損等的研究，建議可以采用新的优质高速鋼P9W5，这样能够提高拉刀寿命

本书可供从事于拉削工作和拉刀設計的工程师及工艺师参閱，也适于高等技术学校和中等技术学校的学生使用。

苏联 Н. Ф. Пронкин 著 ‘Протягивание жаропрочных и титановых материалов’ (Оборонгиз 1958 年第一版)

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*, *

787×1092 $1/32$ $6\frac{1}{4}$ 印張 128 千字

1961 年 6 月第一版

1961 年 6 月第一次印刷

印数 0,001—8,000 册 定价 (11-8) 0.98 元

NO 3490

前 言

耐热合金和鈦合金在現代機器制造业中获得了广泛应用。

用上述材料制成的各种型面（樅树型面、燕尾型面等）零件要求加工精度为2~3級，表面质量为7級。况且这种要求还是对长而較窄的槽規定的。

即使在低合金結構鋼制成的零件上加工出上述型面都有莫大困难，而要在耐热材料和鈦材料制成的零件上加工出这种型面問題就更加复杂化了，因为这类材料的加工性能异常不良。

目前，关于耐热材料和鈦材料加工性能不良的原因尚无一致見解，不过，究其原因一般是由于导热性能低，在切削溫度下机械性能不改变、易于冷作硬化，以及由于較高的切削力所引起的被加工金屬容易粘附在刀刃上。在实际观察中也可以看出，由于材料的合金成分不同，其加工性能就要变坏。由此不难想像，加工性能差的原因可能是由于該材料中含金屬間化合物和碳化物过飽和的緣故。

迄今为止，由于苏联学者和一些工程师們的卓越劳动，使結構鋼拉削过程的理論获得了显著发展。

但是，根据国内外文献的詳述以及工厂經驗証明，对耐热材料和鈦材的拉削过程研究得还不够。往往为了解决一些实用問題，沒有抓紧实验和理論研究。缺乏这些資料就不可能挖掘和利用提高拉削生产率的潜力，不可能提高拉削型面的质量，不可能合理使用工具材料。

拉削耐热材料和鈦材时不可能运用拉削結構鋼的現成資料，因为这些材料的性质和加工性能互不相同。

基本困难在于，拉削耐热合金时即使使用最好的工具鋼制成的拉刀，寿命也很低。例如，加工ЭИ617合金时，拉刀刃磨一次的寿命只能拉削25~30次，加工ЭИ481鋼时为60~70次等等。

由于一系列的原因，特别是缺乏确定拉削表面质量（表面光度和冷作硬化）的資料，难以选取合理的拉削用量。

齿間的合理形状如不精确計算就会遭致这样結果：齿間过小时将会导致拉刀齿剝落，过大时将会不合理的加大拉刀长度、增多一套拉刀的数量、降低拉削型面的精度、过多的消耗工具材料、降低拉削生产率等等。沒有确定切削力和各种工艺因素之关系的資料就很难选取拉削設備、計算夹具和拉刀的强度。

本书所介紹的为实验研究資料，其目的在于进一步研究耐热材料和鈦材料的拉削过程以及消除采用这种加工方法时的困难。

写作本书的目的在于：运用和总结在耐热材料和鈦材料制成的高质高精度的零件上加工特型面的国内外的先进經驗并找出压缩工夹具設計費用的途徑和提高拉刀的使用性能，等等。因为耐热合金和鈦合金的拉削最广泛应用是在加工渦輪噴气发动机叶片和輪盘的榫結型面方面，所以本书所进行的一些研究和建議主要是关于叶片和輪盘的拉削。

进行实验和編写此书的过程中获得了技术科学博士B. A. 克雷阿吳霍夫教授和A. И. 依沙耶夫以及技术科学碩士K. Ф. 罗曼洛夫等的宝贵指示，作者在这里致以謝意。

目 录

前言	5
第一章 涡轮喷气发动机轮盘和叶片之榫头	
结合型面的加工	7
1. 特型面的机械加工方法	7
2. 特型面的拉削加工	18
3. 拉床及拉削用的夹具	37
第二章 耐热材料和钛材料的加工特点	54
1. 被加工材料的物理-机械性能	54
2. 拉刀磨损的性质	59
3. 拉削时的作用力及温度	61
4. 拉削时切削用量对切削温度的影响	87
5. 结论	90
第三章 拉削时的塑性变形	94
1. 确定适宜齿间标准	94
2. 工艺因素对齿间容纳系数的影响	97
3. 切屑收缩及卷曲的某些理论问题	103
4. 确定适宜齿间的计算数据	111
5. 拉削时切削区域内变形过程的研究	112
6. 结论	125
第四章 表面质量	130
1. 研究的方法	135
2. 拉削耐热合金时工艺因素对表面层质量的影响	139
3. BT2钛合金拉削时工艺因素对冷作硬化深度和 程度的影响	148
4. 冷作硬化对强度和加工性能的影响	150

04886

4.		
5.	齿的升高值的选取.....	154
6.	結論.....	155
	第五章、拉刀的寿命	157
1.	拉削时高压冷却潤滑液的供給.....	157
2.	用各种刀具鋼制成之拉刀的寿命.....	162
3.	結論.....	175
	第六章，拉刀的設計制造及其应用	177
1.	拉刀的設計和刀具材料的选取.....	177
2.	采用质量低的拉刀的結果.....	185
3.	拉刀的实驗及其修整.....	189
4.	使用缺陷.....	192
	参考文献	194

耐热材料和钛合金的拉削

H. Ф. 普倫金 著

白、雨、譯

內 容 介 紹

本书內容系耐热合金和鈦合金拉削的理論基础以及根据航空工业的先进經驗和在这方面所取得的成就进行研究与总结所得出的实用資料。书中还介绍了对切削力、表面质量和切屑形成过程所研究的結果以及提高拉削型面精度和质量的应用資料。

根据結構鋼拉削时計算齿間所采取的确定容納系数之現行方法分析，对适用于耐热合金和鈦合金拉削的齿間容納系数进行了研究和測定。按此系数来計算齿間能使拉刀減至最小长度，相对地还能提高寿命。

作者根据切削区域的溫度現象、刀具材料的切削性能以及对拉刀磨損等的研究，建議可以采用新的优质高速鋼P9W5，这样能够提高拉刀寿命。

本书可供从事于拉削工作和拉刀設計的工程师及工艺师参閱，也适于高等技术学校和中等技术学校的学生使用。

苏联 Н. Ф. Пронкин 著 ‘Протягивание жаропрочных и титановых материалов’ (Оборонгиз 1958 年第一版)

*

國防工業出版社 出版

北京市书刊出版业营业許可証出字第 074 号

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店科技发行所发行 各地新华书店經售

*, *

787×1092 $1/32$ $6\frac{1}{4}$ 印張 128 千字

1961 年 6 月第一版

1961 年 6 月第一次印刷

印数 0,001—8,000 册 定价 (11-8) 0.98 元

NO 3490

目 录

前言	5
第一章 涡轮喷气发动机轮盘和叶片之榫头	
结合型面的加工	7
1. 特型面的机械加工方法	7
2. 特型面的拉削加工	18
3. 拉床及拉削用的夹具	37
第二章 耐热材料和钛材料的加工特点	54
1. 被加工材料的物理-机械性能	54
2. 拉刀磨损的性质	59
3. 拉削时的作用力及温度	61
4. 拉削时切削用量对切削温度的影响	87
5. 结论	90
第三章 拉削时的塑性变形	94
1. 确定适宜齿间标准	94
2. 工艺因素对齿间容纳系数的影响	97
3. 切屑收缩及卷曲的某些理论问题	103
4. 确定适宜齿间的计算数据	111
5. 拉削时切削区域内变形过程的研究	112
6. 结论	125
第四章 表面质量	130
1. 研究的方法	135
2. 拉削耐热合金时工艺因素对表面层质量的影响	139
3. BT2钛合金拉削时工艺因素对冷作硬化深度和 程度的影响	148
4. 冷作硬化对强度和加工性能的影响	150

4.		
5.	齿的升高值的选取.....	154
6.	結論.....	155
	第五章、拉刀的寿命	157
1.	拉削时高压冷却潤滑液的供給.....	157
2.	用各种刀具鋼制成之拉刀的寿命.....	162
3.	結論.....	175
	第六章，拉刀的設計制造及其应用	177
1.	拉刀的設計和刀具材料的选取.....	177
2.	采用质量低的拉刀的結果.....	185
3.	拉刀的实驗及其修整.....	189
4.	使用缺陷.....	192
	参考文献	194

前 言

耐热合金和钛合金在现代机器制造业中获得了广泛应用。

用上述材料制成的各种型面（榫树型面、燕尾型面等）零件要求加工精度为2~3级，表面质量为7级。况且这种要求还是对长而较窄的槽规定的。

即使在低合金结构钢制成的零件上加工出上述型面都有莫大困难，而要在耐热材料和钛材料制成的零件上加工出这种型面问题就更加复杂化了，因为这类材料的加工性能异常不良。

目前，关于耐热材料和钛材料加工性能不良的原因尚无一致见解，不过，究其原因一般是由于导热性能低，在切削温度下机械性能不改变、易于冷作硬化，以及由于较高的切削力所引起的被加工金属容易粘附在刀刃上。在实际观察中也可以看出，由于材料的合金成分不同，其加工性能就要变坏。由此不难想像，加工性能差的原因可能是由于该材料中含金属间化合物和碳化物过饱和的缘故。

迄今为止，由于苏联学者和一些工程师们的卓越劳动，使结构钢拉削过程的理论获得了显著发展。

但是，根据国内外文献的详述以及工厂经验证明，对耐热材料和钛材的拉削过程研究得还不够。往往为了解决一些实用问题，没有抓紧实验和理论研究。缺乏这些资料就不可能挖掘和利用提高拉削生产率的潜力，不可能提高拉削型面的质量，不可能合理使用工具材料。

拉削耐热材料和鈦材时不可能运用拉削結構鋼的現成資料，因为这些材料的性质和加工性能互不相同。

基本困难在于，拉削耐热合金时即使使用最好的工具鋼制成的拉刀，寿命也很低。例如，加工ЭИ617合金时，拉刀刃磨一次的寿命只能拉削25~30次，加工ЭИ481鋼时为60~70次等等。

由于一系列的原因，特别是缺乏确定拉削表面质量（表面光度和冷作硬化）的資料，难以选取合理的拉削用量。

齿間的合理形状如不精确計算就会遭致这样結果：齿間过小时将会导致拉刀齿剝落，过大时将会不合理的加大拉刀长度、增多一套拉刀的数量、降低拉削型面的精度、过多的消耗工具材料、降低拉削生产率等等。沒有确定切削力和各种工艺因素之关系的資料就很难选取拉削設備、計算夹具和拉刀的强度。

本书所介紹的为实验研究資料，其目的在于进一步研究耐热材料和鈦材料的拉削过程以及消除采用这种加工方法时的困难。

写作本书的目的在于：运用和总结在耐热材料和鈦材料制成的高质高精度的零件上加工特型面的国内外的先进經驗并找出压缩工夹具設計費用的途徑和提高拉刀的使用性能，等等。因为耐热合金和鈦合金的拉削最广泛应用是在加工渦輪噴气发动机叶片和輪盘的榫結型面方面，所以本书所进行的一些研究和建議主要是关于叶片和輪盘的拉削。

进行实验和編写此书的过程中获得了技术科学博士B. A. 克雷阿吳霍夫教授和A. И. 依沙耶夫以及技术科学碩士K. Ф. 罗曼洛夫等的宝贵指示，作者在这里致以謝意。

第一章 渦輪噴氣發動機輪盤和 葉片之榫頭結合型面的加工

1 特型面的機械加工方法

燃氣渦輪盤和渦輪葉片的結合，壓氣機盤和壓氣機葉片的結合，彼此所用的榫頭各不相同。在燃氣渦輪上樅樹型榫頭（圖 1 a, б）應用最廣。壓氣機葉片和輪盤的固定大多採用燕尾形結合型面（圖 1 в）。

輪盤和葉片榫頭結合的型面無論是製造精度或表面光度一般都要要求很高，力求減小應力集中和延長結合期限。為保證達到上述目的，須要規定榫頭結合型面的要求。

在燃氣渦輪盤中樅樹型結合型面上的齒是在高溫條件下進行工作，不僅承受離心力和氣體壓力的作用，同時還要經受彎曲應力、剪切應力和壓縮應力等複雜的綜合作用。

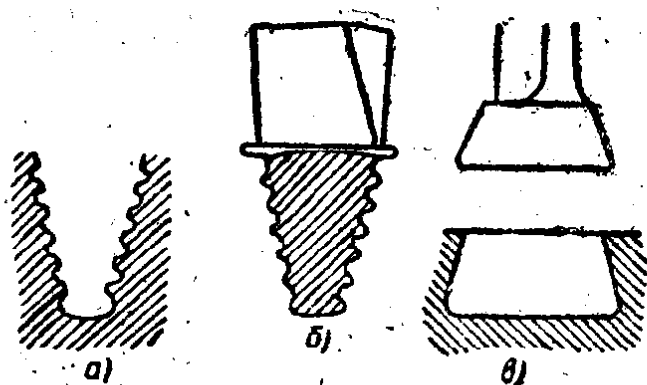


圖 1 在耐熱材料和鈦合金零件上拉削加工的幾種主要型面。

此外，葉根在輪盤中固定應考慮到，葉身型面必須保持規定位置和方向，這無論對保持整流窗的空氣動力特性，或是防止某些結合部分的應力過於集中來說，都有重要的意義；後種現象是由於葉身截面，也就是其質量對規定軸綫有

所偏移所致。

樅樹型面結合應保證樺頭上的所有齒同時工作和所受的載荷均等，這就需要把工作面的齒距誤差值嚴格控制在規定範圍內，這些工作面不應有翹曲，型面的一面對另一面偏斜應盡量的小，應嚴格控制角度尺寸，特別需要控制樅樹型面上所有齒之工作面的斜角及其他等。

在葉片和輪盤的樅樹結合型面之間保證必要間隙也是正常工作的重要條件。該間隙的大小取決於插裝於輪盤型面槽中之葉片擺動的情形。

葉片的擺動取決於輪盤和葉片的樅樹型面結合不精確之和。因此，製造樅樹結合型面時，對精度的基本要求一般為：

1. 工作面之間的齒距一般按精度 ± 0.01 毫米製造。各齒工作面的相對位移值容許達0.02毫米，在樺頭長度上工作面相互的偏斜為0.015~0.02毫米。這些參數的必要精度應在選擇工藝規程時予以考慮。

2. 对工作面的角度精度要求特別之嚴。對大多數制件說，輪盤和葉片之樅樹型面的工作面的角度公差一般在 $\pm 10' \sim 15'$ 範圍內。改為直線測量時，這種偏差按齒的高度為 $\pm 0.003 \sim 0.005$ 毫米。

顯然，這種偏差值等於拉削後表面微觀幾何形狀的公差。

這樣高的角度精度應於選取拉削方式和製造拉刀時及其使用過程中予以考慮。

3. 樅樹型面上的齒的厚度公差也應嚴格規定，這種齒厚常以專用指示測量儀進行測量。

压气机輪盘一般采用鈦合金制造。如上所述，叶片在此輪盘上往往采用燕尾（梯形）槽来固定。

叶片和輪盘配合的紧度不大，有时甚至还保留一定的安全間隙，以便日后易于更換叶片。在头种情况下，压气机叶片的榫头装于輪盘槽中的紧度为 $0.005 \sim 0.03$ 毫米。傾斜面为榫头的工作面。要保証紧度的均匀性，那就要保持榫头厚度的精度、严格控制工作面之間的角度，同时必須保証各工作面的平行度及其表面加工精度。在第二种情况下，叶片的安装帶有一定間隙，根据叶片榫头长度之不同，这种間隙一般在 $0.005 \sim 0.06$ 毫米範圍內。

压气机輪盘的燕尾形榫头槽和渦輪盘的樅树形榫头槽一样，不仅能够固定叶片，还应保証叶身在輪盘上所規定的位置。

根据燕尾形榫头的尺寸和配合性质的不同，工作面的角度公差一般在 $4 \sim 12'$ 範圍內，燕尾型面的厚度公差在 $0.015 \sim 0.03$ 毫米範圍內，工作面的平行度应按公差 $0.01 \sim 0.03$ 毫米保持。

輪盘和叶片結合的樅树型面和燕尾型面应以現代的加工方法制造，这样才能获得最好的結合质量和最高的生产率。

目前，在渦輪盘和压气盘上的樅树型面槽和燕尾槽的加工一般采用拉削方法。渦輪和压气机叶片的樅树形榫头和燕尾榫头的型面一般采用磨削、銑切和拉削进行加工。在这种情况下，樅树形榫头的加工最为复杂。

由于航空工业中特形面的加工方式互不相同，因此，我們要根据精度要求和經濟观点予以評定。为此，現以樅树型面的加工作为研究的示例。

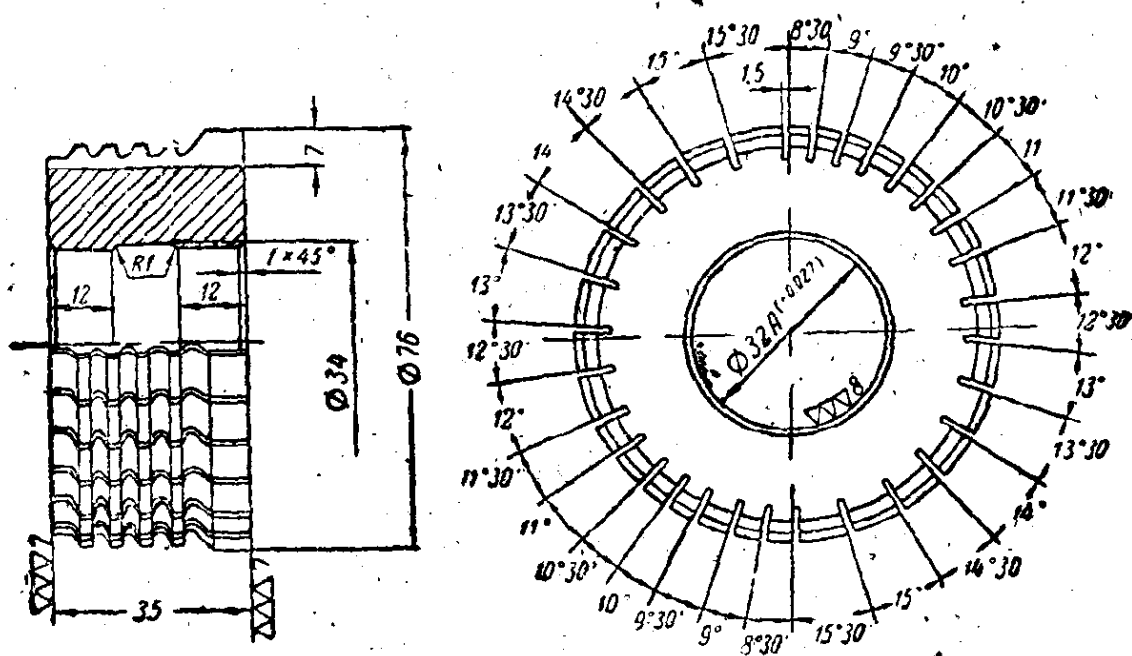


图 2 修整砂輪型面用的輓輪。

樅樹型面的磨削一般要以两道工步进行：即初加工和最后加工；如樅头齿很大时，可将初磨换为銑切。

利用工业中应用的各种平面磨床进行磨削。該机床的工作台上装有叶片固定夹具以及砂輪修整装置。

砂輪樅樹型面修整輓輪（图 2）是修整装置的主要組成部分。

砂輪修整装置的結構應該是这样的：即輓輪的曠动應該最小，并应和旋轉軸綫严格同心。同时，旧輓輪磨損后，应保証在不要磨合和不改变尺寸的情况下，容易換上新輓輪。

在国外文献[18]中报到，如果把叶片磨削的两道工步分开，即在一台床子上进行粗磨，在另一台床子进行光磨，将会使砂輪型面修整輓輪的生产率和使用寿命大大提高。

如將磨床装上砂輪磨損的补偿装置，在提高加工精度和表面光度方面都能够获得最如意的效果。

分为两道工步进行磨削时，为保证叶片在夹具中安装准确而可靠，有时在榫头的两边各焊一个基准凸面（图3）。

在这每个基面上钻有中心孔，以便叶片安装和固定之用；叶身的上端面为另一安装基面。叶片常常采用模锻和机械加工时预先规定的工艺基面进行安装。一个夹具中能安装叶片的多寡完全取

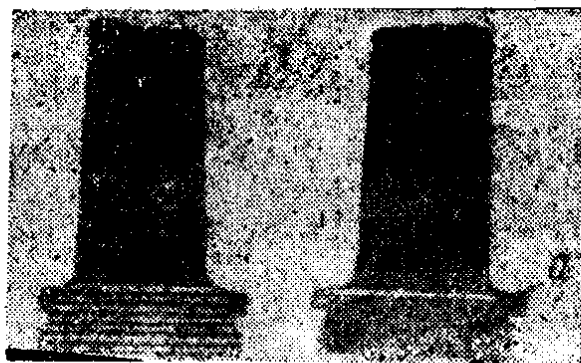


图3 焊有基准凸面(a)的叶片。

决于机床工作台的长度和行程的距离。不过，很多叶片同时磨削时，砂轮需要有很高寿命和经常修整，因此，于实际生产中一般只在磨削燕尾形榫头才采用这一方法。

图4所示为八个叶片装在一个夹具中同时进行磨削的情形。

根据许多工厂资料获悉，难加工耐热合金ЭИ617和ЖС6一般采取用单晶粒氧化铝或白色电炉氧化铝（粒度60~80，硬度CM2-C1）和№1粘土结合剂（组织5~6）制成的砂轮进行磨削。也可采用其他型别和性质的砂轮进行磨削。

磨削时所用的典型规范：砂轮的圆周速度30~35米/秒；工作台（即制件）运动的速度为8~10米/分；粗磨时工作台一次往复行程的磨削深为0.015~0.03毫米，光磨时为0.005~0.01毫米。采用含3%的鹼灰溶液进行冷却，这种冷却液的供给量不得少于5~10升/分。

在上述磨削条件下，加工出的表面光度在▽▽▽7~▽▽▽8范围内。

榫树型面光磨时，砂轮修整一次只能加工2~3个叶片；