

栗 枯 主编

化学铣切

沈连桂 编著



G669

国防工业出版社

内 容 简 介

本书以国外引进技术为基础,结合国内的工艺和试验结果,系统地介绍了化学铣切工艺的特点、设计标准、各类金属材料化学铣切的工艺、化学铣切溶液的配制和分析、化学铣切车间设备和装夹工具,还介绍了化学铣切对材料性能的影响及其消除方法等,内容通俗易懂,比较实用。

本书适合航空、航天工业及其它机械制造专业中从事金属加工和表面处理的工程技术人员和工人阅读,也可供有关大专院校和中等专业学校师生作为教学参考用书。

化 学 铣 切

机械制造实用新技术丛书之十八

栗 枯 主编 沈连桂 编著

责任编辑 宋桂珍

*

国防工业出版社出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

850×1168¹/₃₂ 印张2³/₄ 67千字

1984年11月第一版 1984年11月第一次印刷 印数: 0,001—7,000册

统一书号: 15034·2846 定价: 0.57元

作者的话

现代航空发动机制造是机械制造工业的一个重要方面,具有机械制造的基本特点。它又是技术集约性的工业,集中应用了很多新的技术和新的工艺,其中多数对于机械制造行业具有普遍推广的价值。七十年代末,我国从英国引进了斯贝 MK202发动机及其制造技术,同时又有选择地引进了一些先进的机床设备。这项技术在一定程度上比较完整地反映了近代航空发动机制造的先进水平,通过生产实践也证明了这一点。

为了交流的方便,也为了能有更多的人有机会了解这些制造技术,我们整理编写了这套资料,命名为《机械制造实用新技术丛书》。所以这样命名,是因为我们在编写中遵照了下述原则:

1. 实用性。尽量避免一般性的理论叙述,力求使读者能较快的在实践中运用;
2. 先进性。我们只选择了那些更新颖更有意义的资料;
3. 揉合了我们在斯贝发动机试制工作中的实践经验,还综合了不少有价值的参考资料。

作者期望本套丛书对机械工业,特别是航空发动机制造行业的人们有所帮助,这将是对我们最大的鼓舞。

由于我们视界较窄,水平有限,错误缺点难免存在,欢迎读者批评指正。

本丛书由栗祜同志主编。参加审校工作的主要有:唐宏霞、钟礼治、胡贤惠、谭杰巍、王克强、姜仁忠等同志。

在本丛书编写和出版的过程中,王德荣、黄家豪、郑宝湖、郭治国、姚静梅等高级工程师提供了许多宝贵意见,并参加了审校。还得到了国防科工委、航空工业部有关领导和同志们的大力支持及热情帮助,他们是魏祖治、陈少中、任家耕和贾克琴、张

汉生等同志。

化学铣切作为一种专门的金属加工方法，在近二十年来才被人们认识。在国外，已日益受到重视，应用越来越广泛。但在我国，开发的时间还不长，应用有限，工艺方法和质量都有必要进一步改进提高。

本书以国外引进技术为基础，结合国内的工艺和试验成果，系统地介绍了化学铣切工艺的特点、设计标准、各类金属材料化学铣切的工艺及其控制、化学铣切溶液的配制和分析，还介绍了化学铣切对材料性能的影响及其消除方法等，内容通俗易懂，力求实用。

本分册由沈连桂编写，杨乾忠审校。在编写过程中得到刘伯生、张正树的热情帮助并提出宝贵意见，钟礼治、姜仁忠进行了修改，栗祜终审定稿。谨对在本书编写出版工作中给予支持和帮助的同志表示衷心感谢。

作者于西安
国营红旗机械厂

目 录

一、概述	1
(一) 化铈的特点	1
(二) 化铈的分类	3
(三) 化铈零件的设计标准	3
(四) 化铈工艺的局限性	6
(五) 工艺参数对化铈的影响	8
(六) 材料状态对化铈的影响	9
二、化铈的工艺过程及其控制	11
(一) 化铈前的准备	11
(二) 除油	12
(三) 吹砂或预腐蚀	14
(四) 涂保护胶	15
(五) 固化	18
(六) 划线	18
(七) 剥离保护层	19
(八) 化铈	20
(九) 清洗	23
(十) 清理	24
(十一) 验收	24
三、化铈的溶液及其工艺控制	25
(一) 铝合金的化铈	25
(二) 镁合金的化铈	28
(三) 12%铬不锈钢的化铈	30
(四) 奥氏体不锈钢的化铈	34
(五) 镍基合金的化铈	39
(六) 钛合金的化铈	44
(七) 化铈过程中常见的缺陷、产生原因及排除方法	47

四、化铈溶液的配制、分析和调整	50
(一) 化铈溶液的配制	50
(二) 化铈溶液的分析	52
(三) 化铈溶液的分析周期	55
(四) 化铈溶液的调整	55
五、化铈对材料性能的影响	57
(一) 对材料疲劳性能的影响	57
(二) 消除材料疲劳性能影响的方法	64
六、化铈车间设备及装夹工具	65
(一) 化铈车间设备	65
(二) 化铈装夹用具	72
附录 各类金属材料的化学成分表	75

一、概 述

化学铣切（简称“化铣”）是将金属材料要加工部位暴露于化学介质（溶液）中进行腐蚀，从而获得零件所需的形状和尺寸的一种加工方法。目前化铣加工零件的精度和光洁度已能达到比较理想的水平。

通常化铣零件总是由含有多种金属元素的合金制造的。由于材料的成分、物理状态和热处理状态不同，材料内部的组织结构也有差异，因此材料的微区之间必然存在电位差。而且，化铣所采用的腐蚀介质，都是酸、碱之类的电解质溶液，其中往往还含有缓蚀剂等其它添加剂，因此，在化铣过程中，存在着许多错综复杂的局部反应。实质上，并不是一种纯粹的化学过程，还伴随有微区的电化学反应、扩散和吸附等基本物理过程。对某一种金属材料而言，化铣过程中究竟化学和电化学两种何者为主呢？合金材料化铣时，两种过程同时存在，那一种过程为主，要根据金属材料的成分及其含量而定。合金材料内高电位与低电位金属含量越接近、电位差越大，则电化学过程就越显著，反之，化学过程越显著。至于纯金属化铣时基本上是化学过程。

（一）化铣的特点

化学铣切与一般的机械铣切方法有着根本区别，具有以下特点：

1. 可加工特薄、易变形、大面积的零件。
2. 不受金属材料状态的影响，不论是成形前后、热处理前后、硬化处理前后，都可采用化铣方法加工。

3. 某些焊接、铆接、胶接组合件，可改为整体结构，直接用化铣方法加工。可以减轻结构重量，减少工艺装备，节约工时，缩短生产周期。

4. 化铣不产生切削应力，零件无变形。
5. 一次可加工几个零件，有些零件还可以两面同时加工，生产效率较高。
6. 控制零件浸入或提出化铣溶液的速率，可加工出锥形截面。
7. 与铸、锻、机械加工方法比较，可节约金属材料。
8. 零件设计更改时，只需简单地变更保护型面，就可适用于新零件的试制。
9. 设备简单，投资少，适应性大，尤其是加工型面复杂的零件。

化铣在航空和航天工业上应用比较广泛，飞机（包括发动机，如图18-1）、导弹、卫星的壁板零件，大量采用这种工艺。在民用工业上特别是加工钛合金和其它类似合金薄板也很有用处，我国已用化铣方法加工人造心脏瓣膜骨架、照相机钛合金快慢盘、电阻丝片、过滤网等。美国航空化学铣切公司，还用化铣方法加工赛车车身，减重达90.8公斤。

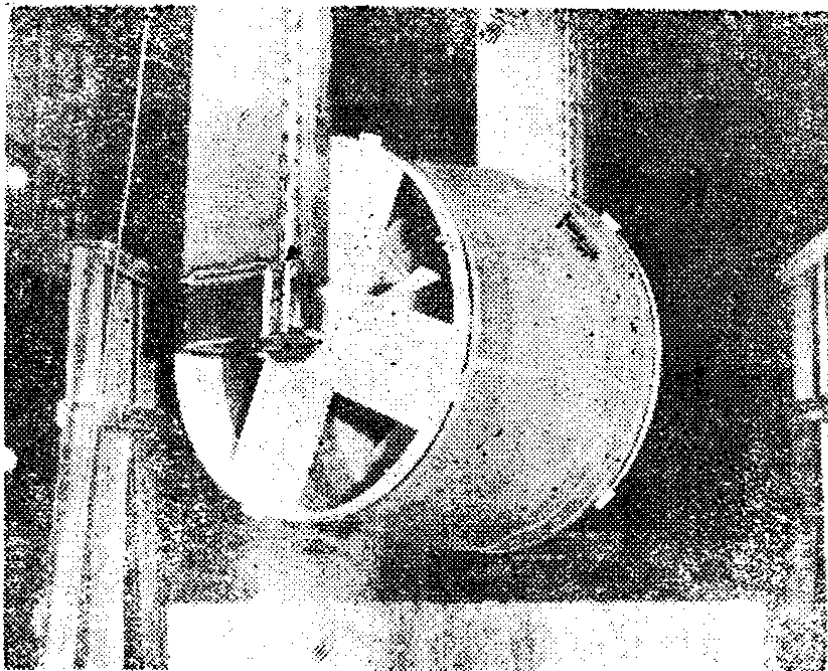


图18-1 化铣斯贝发动机的外涵道筒体

(二) 化铣的分类

化铣按零件表面的加工要求分类如下:

1. 全尺寸化铣,即零件不涂任何保护胶,全部浸入化铣溶液,所有表面均匀加工。这种方法主要用于除去加工余量,除去精锻钛合金毛料表面的脆化层,或作为零件减薄(如生产复杂的薄壁铝铸件)、减重和毛料精化的一种手段。

2. 选择性化铣,即除了锥形截面零件外,在零件的非加工部位涂保护胶,再用化铣方法加工型面。这种方法主要用于加工大型薄壁壳体、蜂窝结构面板、焊接组合件、整体加强壁板、飞机蒙皮、机架、电子仪器线路板等等具有复杂型面的零件。

在大多数情况下,选择性化铣只需揭一次保护层就可加工出所需的型面。但是,某些零件可能要求揭两次以上保护层才能加工出来,即采用多级化铣方法将一个表面铣切到应有的深度。

(三) 化铣零件的设计标准

化铣的铣切速度与精度不能直接控制,只有通过控制化铣时间,将零件取出化铣槽测量才能知道是否达到尺寸要求。换句话说,它不象切削机床那样,在铣切过程中可以根据需要调节转速和进刀量,达到规定的加工精度。

化铣的速度、精度,是由许多因素决定的。化铣的速度取决于被铣金属的冶金状态、化铣溶液的成分和浓度、化铣溶液的温度、化铣溶液的搅拌情况等。除了上述这些影响因素以外,化铣的精度还取决于零件的几何形状、保护层划线精度、不同材料化铣的固有加工特性、保护涂层的保护性能、表面光洁度、被铣金属材料的表面状态和合金成分等。此外,和铣切深度也有关。

化铣的设计标准如下:

1. 圆弧半径

化铣零件内角有圆弧,其半径等于被铣金属的深度(图18-2)。

2. 厚度公差

影响化铣部位最终厚度的因素有两个:

(1) 零件原来厚度的公差;

(2) 化铣工艺引起的公差。

同一批化铣零件经过中间检验，各个零件名义厚度的差异，可以通过改变化铣时间来弥补。但工艺公差不可能弥补，只能将此公差包括在最终公差内。

单一板材和组合板材所制成的金属零件化铣时的厚度公差见表18-1；

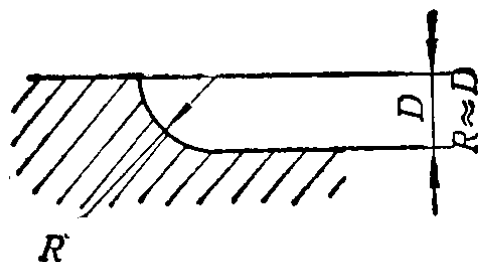


图18-2 化铣后零件内角的圆弧半径

表18-1 各种材料化铣的厚度公差

材料类型	典型材料牌号		材料厚度变化 (毫米)			
	英国牌号	相近或仿制的中国牌号	单一板材		组合板材	
			达 1.5	超过 1.5	达 1.5	超过 1.5
铝合金	A/FLS	A/FLS	0.05	0.08	0.13	0.2
12% 铬 不锈钢	S/SJ2 S/607	S/SJ2 S/607	0.08	0.2	0.08	0.25
奥氏体 不锈钢	S/CNT	1Cr18Ni9Ti	0.08	0.2	0.1	0.25
镍基合金	N75 C263	GH30 C263	0.1	0.18	0.1	0.18
			0.1	0.18	0.1	0.18

3. 工艺公差

化铣的工艺公差见图18-3。图上的两条曲线，一条表示距离非化铣部位25毫米以内的化铣部位公差；另一条表示与较厚部位不相邻的化铣部位的公差。这两条曲线差异的原因是厚的部位吸取了附近较薄部位的热，影响了化铣速度。

必须控制化铣部位最薄截面厚度公差，详见本书 23 页（1）所述。

4. 位置公差

位置精度取决于保护工艺和化铣工艺的腐蚀因素。适合于这两种因素的化铣位置公差见图18-4。

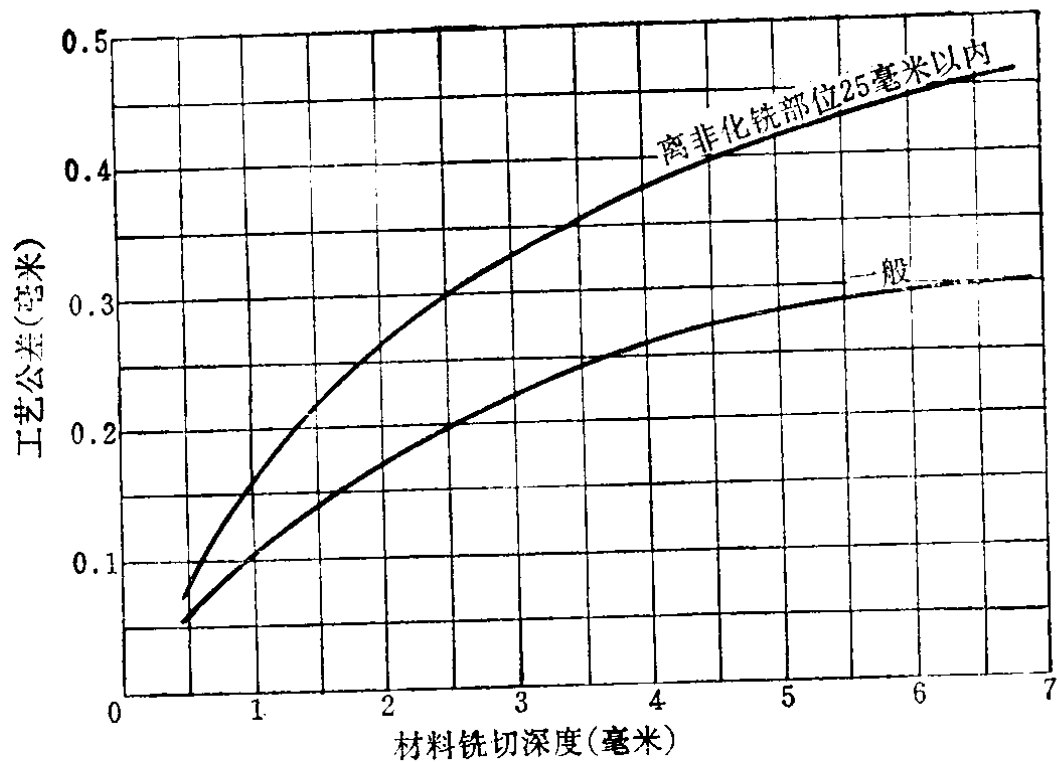


图18-3 化铣表面上的工艺公差（保留金属的厚度公差）

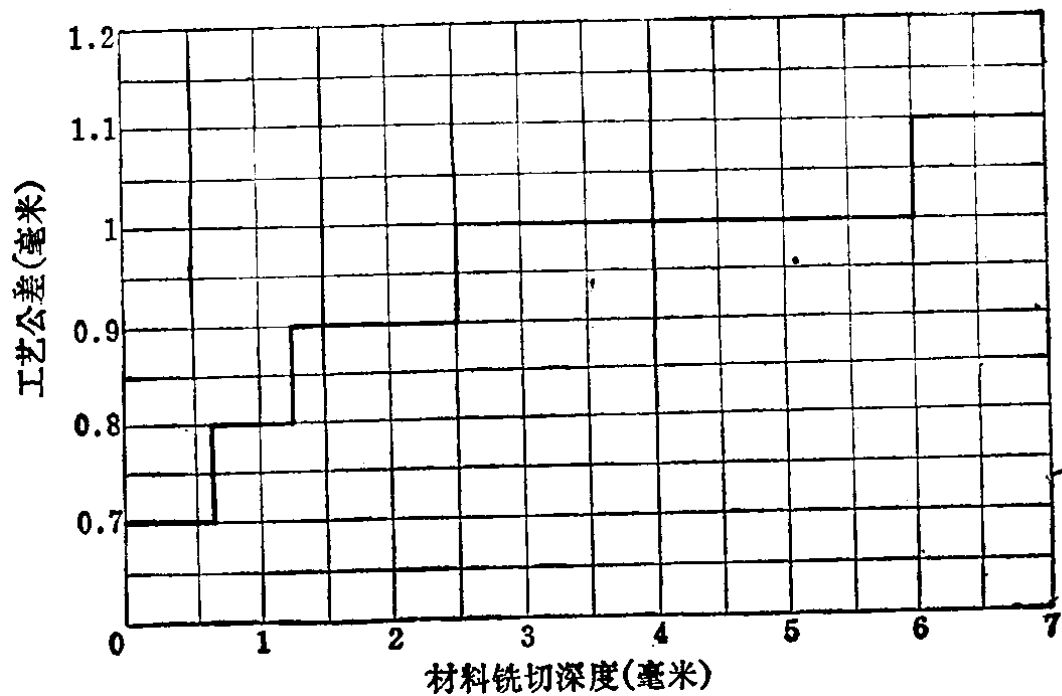


图18-4 位置公差

5. 表面光洁度

零件表面光洁度取决于零件的冶金状态、表面状态和铣切的深度等。表18-2给出了各种金属材料化铣所能达到的表面光洁度。化铣后，再吹砂，表中的数据可能会受到影响。

表18-2 各种金属材料化铣后的表面光洁度

材料类型	典型材料牌号		表面光洁度 (微米)		
	英国牌号	相近或仿制的中国牌号	板材	锻件	铸件
铝合金	A/FLS	A/FLS	3.2	6.3	—
12% 铬 不锈钢	S/SJ2 S/607	S/SJ2 S/607	3.2	6.3	6.3
奥氏体 不锈钢	S/CNT	1Cr18Ni9Ti	1.6	—	—
钛及钛 合金	T/CU T/CP	T/CU TA2	1.6	3.2	—
镍基合金	N75	GH30	3.2	6.3	—
	N80	GH33	3.2	—	—
	C263	C263	3.2	6.3	—
	PE16		1.6	—	—
镁合金			—	—	6.3

(四) 化铣工艺的局限性

1. 化铣前，零件应无表面缺陷，如深的划痕、局部压坑、各类标记痕迹等。否则，化铣后这些深的表面缺陷依然存在。此外，化铣前，材料表面如果存在异常腐蚀(锈斑、锈点、晶界腐蚀等)现象，化铣后依然存在，还有扩大的可能。

2. 通常化铣是均匀地铣切零件表面，因此原材料的厚度差异，化铣后也会重现。化铣后的每个零件的厚度偏差也各不相同。

3. 在某些部位，零件的几何形状会影响精度。全尺寸化铣后的零件外角保持锐角，而内角倒圆(如图18-5)。

4. 选择性化铣的零件，与化铣部位相邻的保护层下面也同时被化铣(如图18-6)，其宽度(a)等于铣切深度(b)乘以腐蚀系数 K (或称浸蚀比)。因而，内角

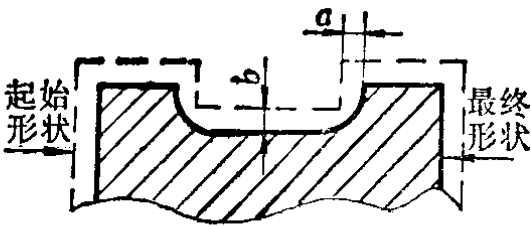


图18-5 全尺寸化铣零件的起始和最终形状

会形成内圆弧，其半径近似于铣切深度。

因为这里的 a 和 b 都可以测量，所以，化铣的腐蚀系数 K 可由下式求出：

$$K = \frac{a}{b}$$

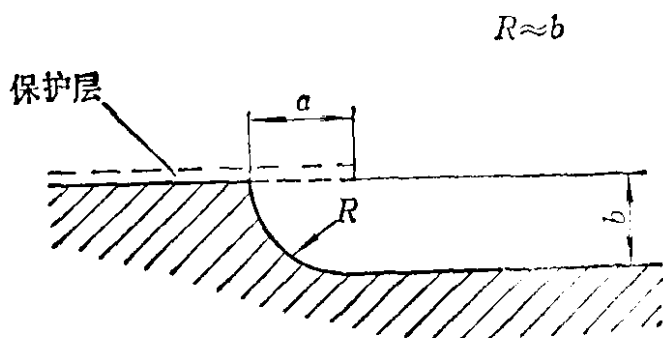


图18-6 选择性化铣时，保护层下面同时被化铣

腐蚀系数的大小，直接影响化铣零件型面的圆角 R (见图18-2) 和型面的精度。 K 值越小，则 R 越小，可以减轻重量，提高型面精度。

腐蚀系数 K 随合金种类、溶液成分、铣切深度和材料形态(铸件、锻件、板材)的不同而变化。

由于腐蚀系数是制造样板和划线中必须考虑和计算的一个重要因素，因此，加工前必须测量被加工材料在化铣溶液中的腐蚀系数。

5. 化铣金属材料时，其最大深度应不超过 8 毫米。铣切过深，化铣溶液将会使金属材料产生“根切作用”，即在被化铣的型面两侧根部出现如螺纹退刀槽一样的凹陷。

6. 焊接零件在焊缝中心线两侧宽度 7 毫米以内不能进行化铣(如图18-7)，否则，焊接区域会出现优先腐蚀，使疲劳强度降低 25~30%，而且不能再恢复。

7. 化铣狭窄的沟槽时，必须按图18-8确定宽、深比，才能铣切出合格的零件。

在某些情况下，化铣以后，材料的疲劳强度会降低。

直边的薄板或板材化铣锥形截面时，零件必须以可

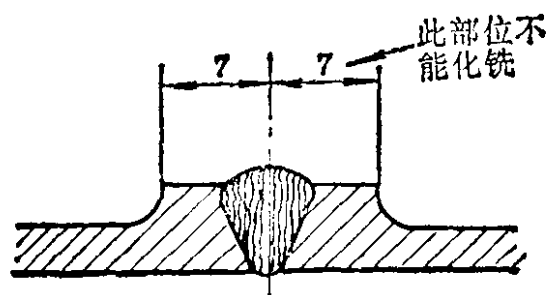


图18-7 焊缝中心线两侧 7 毫米以内不能化铣

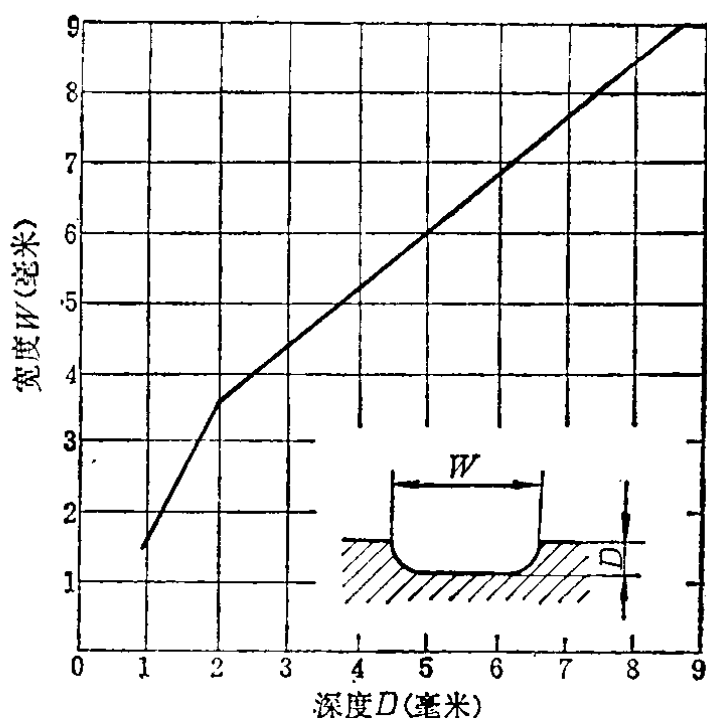


图18-8 化铣狭窄沟槽时，可能保证的宽、深比

控速度浸入或提出化铣溶液，而且溶液不能在零件的型面上滞留。

8. 要进行化铣的铸件，其组织必须均匀，否则，将引起不均匀化铣。

应当指出，不是所有金属材料 and 零件都可以用化铣方法加工。化铣与机械铣切在某些情况下也不能互相取代，必须根据具体情况确定。某种零件能否应用化铣工艺加工，需要从强度、设计、冶金等方面综合考虑。

(五) 工艺参数对化铣的影响

1. 温度

温度是化铣的一个重要工艺参数。化铣溶液的温度对化铣速度和表面质量都有较大的影响。

因为化铣过程的扩散速度和化学反应速度都是随温度的升高而增加的，所以，化铣速度也随温度的升高而急剧增加。

严格控制溶液温度非常重要。温度过低，化铣速度太慢，影响生产效率，零件的表面质量较差；温度过高，化铣过程难于控制，浸蚀比可能变大。

当化铣溶液使用过久而老化时，适当提高温度，可延长溶液的使用寿命，但这只是一种临时的措施。

2. 搅拌

搅拌能加速化铣溶液向相界扩散、腐蚀产物向化铣溶液内扩散的过程，从而可以大大加快化铣速度，同时，促使整个化铣溶液温度均匀，有利于零件化铣的均匀性。搅拌的方式有两种：一种是压缩空气搅拌，另一种是零件在溶液中运动。在多数情况下，这两种搅拌不能互相取代，而且常常需要同时进行。

3. 零件的运动状态

在化铣过程中，由于产生大量的气体和沉积物，如不及时排除，将对化铣质量产生显著影响，甚至，表面局部化铣不到。零件运动的方向、方式和速度不同，对化铣的速度、均匀性和浸蚀比都有不同效果。化铣型面应向上（或垂直液面）而不应向下；圆筒件应按水平线顺时针和逆时针交替旋转；板件可取垂直液面上下运动或水平往复运动，但型面要求复杂时，也应水平旋转（如化铣具有井字型筋条的型面）。如果零件是垂直液面运动的，还应将零件上下颠倒若干次。总之，零件化铣过程的运动状态要有利于气体和腐蚀产物顺利地化铣型面上排除，使零件能均匀化铣。

（六）材料状态对化铣的影响

1. 冶金状态和组织结构的影响

采用不同的成形技术和热处理方法制造的零件，即使合金成分相同，其冶金状态和组织结构也各不相同，材料内部的晶格排列、晶粒大小、疏松性以及硬度等都有很大差异。这些差异对化铣表面质量有影响。

通常，锻造、挤压、轧制等方法制造的零件比铸造的零件密度高、均匀性好。这类零件化铣时表面质量较好。

材料的晶粒度越小，化铣后的表面光洁度越高。黑色金属尤为明显。

晶粒大小，一般对化铣速度无显著影响。只有当晶粒增大，造成晶界的增厚和晶界上杂质增多的情况下，会增大晶间腐蚀的

可能性。

硬度高的材料一般较难化铣，其化铣速度要比硬度低的材料慢。

退火状态的铝合金，化铣的表面光洁度最好，可达 $\nabla 6$ ；其次是淬火-人工时效的，可达 $\nabla 5$ ；淬火-自然时效状态的最差，可达 $\nabla 3$ 。但LY12材料例外，在考虑化铣质量时，特别是化铣加强肋的直线性，最佳热处理状态是淬火-自然时效。淬火温度对化铣表面质量无影响，人工时效温度则有影响，随着时效温度增加，表面质量也提高。沸水中淬火的材料化铣速度要比室温水中的高。但LF6材料化铣时不受热处理状态的影响。

由于淬火硬化钢存在一定的淬火应力，因此，化铣有可能发生应力腐蚀。

由于时效状态或空冷固溶处理的镍基合金或多或少在晶界析出沉淀相，化铣时有引起晶界腐蚀的危险，因此，这样的合金材料以不采用化铣方法加工为宜。

2. 冷作硬化的影响

冷作硬化是由于机加工时的大进刀量和钣金成形时冲压敲击等使材料晶格歪扭造成的。这必然使内应力增加，从而在化铣时加速材料的腐蚀。因为加工金属时，一部分能量使金属表面的自由能升高，而电极电位降低。应力越大，越不稳定，在化铣溶液中越易腐蚀。

未经消除应力的冷作硬化零件，化铣速度开始阶段比后阶段要快。内应力的存在，将增加应力腐蚀（沿应力线的穿晶腐蚀或晶界腐蚀）的可能性，但这种可能性，化学腐蚀状态下比电化学腐蚀状态下要小。综上所述，化铣零件应事先消除应力。

3. 表面光洁度

在相同的化铣条件下，零件原来的表面光洁度较高，则化铣后的表面光洁度也较高。但一般要比化铣前的表面光洁度降低一级左右。在化铣的开始阶段，表面光洁度高的零件比表面粗糙的化铣速度要低。

二、化铣的工艺过程及其控制

化学铣切的工艺过程如下：

(1) 全尺寸化铣

除油→活化→化铣→清洗→干燥→验收
↓
检查厚度

(2) 选择性化铣

除油→吹砂或预腐蚀→涂保护胶→固化→
划线→剥离保护层→活化→化铣→清洗→
↓
检查厚度
干燥→清理→验收

化铣的工艺过程必须严格控制，一般应注意以下几个方面：

(一) 化铣前的准备

表18-3 不同材料消除应力时所要求的热处理

序号	材		料	要求的热处理
	类型	英国牌号	相近(仿制)的 中国牌号	
1	18/8奥氏体 不锈钢	S/CNT	1Cr18Ni9Ti	退火
2	12%铬不锈钢	S/SJ2	S/SJ2	淬火和回火
		S/607	S/607 1Cr12Ni2WMoVNB	
3	镍基合金	N75	GH30	退火
		N80	GH33	中间退火
		C263	C263	中间退火
4	工业纯钛	T/CP	TA2、TA3	消除应力
5	钛铜合金	T/Cu	T/Cu	消除应力
6	铝 合 金			完全热处理