

金屬切削學

(上 冊)

〔苏联〕B. A. 阿尔申諾夫 G. A. 阿列克席也夫著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本書系根据苏联国立机器制造書籍出版社 (МАШГИЗ) 出版, 阿尔申諾夫 (В. А. Аршинов) 和阿列克席也夫 (Г. А. Алексеев) 所著“金属切削学”(РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ) 一書 1953 年版譯出。原書經苏联机器制造部审定作为机器制造和机床制造中等技术学校的教科書。

本書共分十六章, 自第一章到第七章, 以車削为主, 分別叙述車刀的几何形状、車削加工时的切削原素、金属切削过程、車削阻力、金属切削时热的发生和切刀的磨損、切削速度、車刀和車床的合理使用等。自第八章起便分別叙述鉋削、鑽孔、鉗孔、銑削、拉削、齿輪切削、螺旋紋切削及磨削等原理。除第三章与第八章外, 每章均附有例題, 并附有詳細的實驗方法及所用仪器图表等。

本書除了供中等技术学校作教本外, 也可作为大学專科的主要参考書, 及供机器制造业工程技术人员参考之用。

本書分上、下两册出版。

金 属 切 削 学

(上 册)

РЕЗАНИЕ МЕТАЛЛОВ

原 著 者 [苏联] В. А. Аршинов
Г. А. Алексеев

原出版者 Машгиз, 1953 年版

譯 者 乐允謙 李雲璧 蔣錫藩 林其雲

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路 2004 号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海市印刷五厂印刷 新华书店上海发行所总經售

开本 787×1092 毫米 1/27 印張 7 7/9 字数 162,000

(原机电、科技版共印 37,020 册)

1959 年 5 月新 1 版, 1959 年 5 月第 1 版第 1 次印刷

印数 1—4,500

統一書号: 15119.03

定价: (十二) 0.90 元

上册目录

緒論	1
第一章 車刀的几何形状	10
1. 基本原理	10
2. 切刀的角度	13
3. 制造刀具的材料	15
4. 車刀的类型	23
5. 切刀切削部分的几何形状	27
6. 例題	39
7. 車刀切削部分几何形状 的測定 (实验 1)	39
第二章 車削加工时的切削要素	41
1. 切削速度、走刀量和切 削深度	41
2. 切削厚度、寬度和切削 橫截面积	46
3. 自由切削和非自由切削	47
4. 切削橫截面的形状	49
5. 計件时间和机动时间	50
6. 切削过程中走刀量对切 刀角度的影响	54
7. 例題	56
第三章 金属切削过程	58
1. 切屑形成的过程和切屑 的类型	58
2. 变形金属与刀具的相互 作用	66
3. 消耗在切削中的功	69
4. 切削金属时的积屑瘤	70
5. 切屑卷曲、切屑收缩、硬化	75
6. 加工表面的品質	86
7. 潤滑冷却液对切削过程 的影响	100
8. 金属切削时的振动	107
9. 各种因素对切屑收缩的 影响 (实验 2)	113
第四章 車削阻力	116
1. 作用在切刀上的力	116
2. 阻力的合力及其分解	118
3. 力 P_x 、 P_y 与 P_z 对刀具、 坯件及机床的作用	120

4. 消耗在切削中的功率·····123	决定·····160
5. 测定车削时力 P_z 、 P_y 与 P_x 的方法及仪器·····124	9. 例题·····160
6. 车削时各种因素对于力 P_z 、 P_y 与 P_x 的影响·····136	10. 车削测力计的校准 (实验3)·····165
7. 计算车削时力 P_z 、 P_y 与 P_x 的公式·····154	11. 车削时, 切削深度和走刀量对于力 P_z 、 P_y 和 P_x 的影响 (实验4)·····167
8. 加工淬硬钢时力 P_z 的	
第五章 金属切削时热的发生和切刀的磨损·····172	
1. 热的形成来源·····172	切削温度的影响·····181
2. 金属切削时温度的测定方法·····174	5. 切刀的磨损·····189
3. 切刀和切屑的温度区·····179	6. 切削用量各原素对于切削温度的影响 (实验5)·····203
4. 车削时各种因素对于切	

緒 論

任何机器,如汽車、拖拉机、机床、蒸汽機車、走动掘土机或縫紉机等,都是由一定形狀和尺寸的零件,主要是金属零件所組成的。所有这些零件,都是由坯件經過各种加工而制得。金属的加工方法中,最广泛使用的一种是切削加工。

金属切削过程是从坯件上切下一定的金属层,从而得到所需形狀和适当表面品質的零件。金属切削过程是在金属切削机床上应用金属切削刀具进行的。

金属切削过程是很复杂的,在这个过程中將发生压缩、拉伸和剪切等变形以及很大的摩擦和热量。但这个过程有它的种种規律。为了使这个过程更为經濟,生产率更高,就必须对这些規律加以研究。研究这些規律的課程叫做“金属切削学”。

“金属切削学”課程中研究的主要問題是:

- 1) 金属切削刀具切削部分的几何形狀;
- 2) 切削层的几何原素;
- 3) 切削(切屑形成)过程的物理基础;
- 4) 金属切削时发生的力,以及作用在机床——坯件——刀具——夾具系統上的力;
- 5) 刀具的磨損和耐用度以及它的切削性能所容許的切削速度;
- 6) 合理使用机床和刀具的方法。

除了保証切削过程中高的生产率和經濟性之外,研究这些問題还保証了正确地計算和設計,用以实现此过程的金属切削机床、刀具和夾具。因此,“金属切削学”課程是“切削刀具”、“机械制造

工艺”、“机床計算和設計”等課程的基础，也是直接在車間中有效地使用机床和刀具的基础。

早在偉大的十月社会主义革命以前，俄国科学家們便已奠定了金属切削过程的科学研究基础。

世界上首先对于金属切削过程以及过程中发生的各种現象进行科学研究的是俄国圣彼得堡矿业学院的И. А. 基麦教授。1868~1869年基麦在路崗的鑄造工厂中进行这些研究，1870年他在他的俄文著作“金属与木材的切削阻力”中发表了研究的結果。1877年И. А. 基麦发表了“金属鉋削的研究报告”(同时用俄文和法文，以后又用德文发表)。1883年他发表了巨著“机械制造的基础”。

基麦在鉋床上鉋削鑄鉄、鉄、鋼、鋅、青銅、鉛和木材时，研究切屑形成的过程。

研究的結果，他肯定了切屑形成的程序和結構；指出了切屑的类型；他首先发现剪滑平面并确定它的位置；确定和研究了切屑的收縮以及作出了收縮系数的概念；研究了切屑的卷曲及它排出的方向；作出了切削系数的概念并决定了各种金属的切削系数的数值；导出了决定切削力的公式以及确定了切削角对于切削力的影响；确定了切削深度及走刀量对于切削力的不同影响；指出切削力的周期性(变化性)；并确定了金属切削时塑性变形的存在，以及切削层中塑性变形的分布。

基麦根据理論的和实验的探討，首先深刻地并全面地研究了金属切削过程的本質，并且是第一个奠定金属切削科学的基础的人。

1883年，圣彼得堡实用工学院的教授 П. А. 阿发納席也夫对金属切削过程进行了大規模的理論研究，他发表了“切屑形成时力和功的决定”。П. А. 阿发納席也夫这本书的可貴是在他对于作用在切刀上的力图中，首先考虑到了切刀前面和后面上的摩擦力。

在金属切削領域內，哈尔科夫工学院的 K. A. 斯法雷金教授在 1892 年所进行的理論和实验的研究是一个卓越的工作。他发表了“分离金属切屑时所必需的功和力”(1893 年)。K. A. 斯法雷金沿着上述 И. A. 基麦的科学实验研究的途径，使金属切削科学的基础进一步向前发展。根据 И. A. 基麦正确的評論，K. A. 斯法雷金的研究是“俄国技术文献中珍贵的贡献”。

· K. A. 斯法雷金的著作，在现代还很有科学方面的价值。

K. A. 斯法雷金在研究中創造了切削过程中作用在切刀上的力图，图中考虑到了切刀前面和后面上的摩擦力，这力图在现代基本上还适用。他在导出决定切削力数值的理論公式时，不仅考虑到前面和后面上的摩擦力，同时也考虑到剪滑平面的內摩擦力；他用理論决定了、并由实验証实了剪滑平面的位置(用剪滑角来表示的剪滑平面对已加工表面所成的方向)；从实验中确定了切削深度(切削寬度)和走刀量(切削厚度)对于单位压力和切削力的各种影响；确定了切削角对切削力的影响；他設計、制造出消除有害于机床的各种阻力的自动记录液压测力計，并首先将它应用于实验研究中；他証明了随切削角的增加，单位切削压力亦增加，同时还証明这种单位切削压力的增加，因金属的机械性能之不同而不同。

应该指出，英国研究者尼柯尔松在 1904 年才应用液压测力計(也就是迟于 K. A. 斯法雷金 12 年)，而美国的研究者泰勒仅用粗糙的繩索制动器来进行試驗。

1896 年圣彼得堡炮兵研究院 A. A. 柏列克斯講师的著作“金属的切削”(鉋削)出版了。柏列克斯在他的著作中对切屑形成过程力学的基本問題作了进一步的理論分析和綜合，并确定了金属切削学說的术语，这些术语直到现在还被采用。例如柏列克斯曾确定了并創立了下列概念如：“前面”，“后面”，“切削刃”，“前角”，“切削角”，“后角”，“楔角”。柏列克斯曾提出他自己的切屑形成图解并大大前进了一步，提出一个假定說切削层中塑性剪滑不是沿

一个平面,而是沿着一族平面发生的,这一族平面自切刀的切削刃处起排成一个扇形。他还指出:切削层的外表面跟切屑的外表面不是相截的,而是以某种过渡表面相连接。其他的研究者们(Г. И. 季豪諾夫于1912年,索柯洛夫以及其他一些人于1914年),也发表了許多珍贵的著作,这些著作都証明俄国学派在創立金属切削的科学基础方面有优先的地位。不过基麦、斯法雷金和柏列克斯之后,最卓越的研究是圣彼得堡工学院的机械車間的匠师Я. Г. 烏薩契夫在1912~1914年中进行的研究,他在1915年发表了名为“金属切削时发生的現象”的一部著作。

基麦、斯法雷金、柏列克斯的工作主要是在研究金属切削过程的动力学和力学的这一方面; Я. Г. 烏薩契夫的工作則是在研究这过程的物理本質这方面。

世界上首先应用金相学的方法研究切削过程的是 Я. Г. 烏薩契夫,他明显地指出,在切削过程中发生塑性(不可复原)的变形,这些变形深入地分布在切削刀前面的剪滑角範圍內,并分布到已加工表面的某些深处。烏薩契夫也指出,除基麦所发现的剪滑平面外,在切屑內还有滑动平面,它們的方向与剪滑平面变成某一角度,他并且指出,切屑和已加工表面都得到硬化(冷硬)。Я. Г. 烏薩契夫較詳細地研究了金属切削时产生热量的問題。在这些研究中他采用了量热計以及他所发明的热电偶(直到現在还采用),Я. Г. 烏薩契夫研究了各种因素对于热量和切刀受热温度的影响,証明在切削用量各原素中,切削速度对于切刀的温度影响最大,其次是走刀量,影响最小的是切削深度。

烏薩契夫实验的結果,确定切削过程中所产生的总热量由切屑帶去60%~80%,而切削速度愈高,这百分比愈大。烏薩契夫作出了金属切削时积屑瘤形成的正确物理学說,确定了积屑瘤(“停滯区域”)的周期性,和这周期性所引起的切削力的变化和已加工表面的光洁度的惡化。

烏薩契夫应用自己設計和制造的特殊測力計測量車削时的切削力，并从實驗中确定了高速鋼切刀，在切削过程中能承受的最高溫度約为 600°C 。

不妨指出，烏薩契夫用来研究切削过程的（現在仍广泛应用的）金相学方法，在 1925~1928 年，才被外国的研究者采用（也就是比烏薩契夫的研究落后 12~15 年）。在烏薩契夫研究后 13 年，外国的研究者才开始研究。Я. Г. 烏薩契夫曾研究过的理論方面和實驗方面都是极端重要的問題，例如切削塑性和脆性金属时，各种因素对于切刀的临界溫度的影响等問題。在烏薩契夫研究后 15 年，国外刊物上才出現了关于积屑瘤形成周期性的論文，但对积屑瘤形成的本質，解釋得很不准确。

卓越的俄国研究者們，首先从理論方面和实践方面深刻地研究金属切削过程中許多主要問題。就上面所談的一些著作來說，他們实在應該称为金属切削科学的奠基者。

很可惜的，長久以来，文献中把这个崇高而荣誉的称号——金属切削科学的奠基者，竟給了美国工程师 Ф. 泰勒，这是沒有任何根据的。

泰勒的研究切削过程，不是以在理論和實驗方面作深刻研究为基础。他把切削过程当作一行手艺看待，从而研究怎样使资本家获得更多的利潤。泰勒的主要研究方法是幼稚的經驗主义，他的工作方法是盲目的、摸索的、沒有任何科学的理論根据的。Я. Г. 烏薩契夫尖銳地批判了泰勒的工作方向以及他所发表的有关切屑形成及伴随現象中各种問題的言論。泰勒認為研究切削时的作用力是不必要的工作。事实上，这正是“金属切削”課程中的重要部分，如果沒有这一部分的知識，那就不可能正确地进行机床、刀具和夾具的計算和設計，不可能在車間里正确地、合理地使用机床和刀具，不可能解釋金属切削时許多理論上和实际上都是重要的現象。

泰勒經驗主义地研究切削速度与刀具耐用度間的关系，他唯

一追求的目的是最大限度地增加資本家的利潤和無限制地剝削工人。他把金屬切削整個這門科學縮小為狹隘的實際主義，縮小為一行手藝，沒有任何科學基礎，阻礙着真正的金屬切削科學的發展。為了加強剝削工人，泰勒曾寫了一本“企業的管理”，敘述資本主義生產組織的“科學”制度，這種制度，B. И. 列寧稱之為“血汗的”制度。這種制度的本質不外乎死命剝削勞工，增加資本家的利潤。這一切證明，泰勒不可能是也決不是金屬切削科學的奠基者。

這科學的奠基者乃是俄國的研究者：基麥、斯法雷金、柏列克斯和烏薩契夫。

但是，這些研究者雖然奠定了金屬切削科學的基礎，可並沒有建立起（在那時的條件下，也不可能建立起）廣義的金屬切削科學。沙皇時代的俄國技術落后，統治者在一切外國人的面前諂媚叩頭，故意抹煞俄國科學的優先地位，低估俄國研究者的研究和發現。這一切都阻礙了金屬切削科學的發展，壓制了俄國科學家、工程師和技術員們的進步的科學思想。這些人在這樣困難的條件下，對世界的科學和技術寶庫作了巨大的貢獻。

真正的科學繁榮，包括金屬切削科學在內，僅在偉大的十月社會主義革命以後才來臨我國。社會主義革命廢除了生產資料的私有制，消滅了人與人之間的剝削，使生產力和生產關係完全相適應；社會主義革命為我國國民經濟無限制的增長，以及為技術和先進科學強有力的發展，創造了條件。

蘇聯的科學，是在與生產部門及先進工作者和革新家的緊密協作中發展的。這種協作以實際的經驗充實了科學，同時幫助了工業部門的工作者迅速解決了提在他們面前的任務。

蘇聯共產黨和蘇聯政府經常不斷地關懷着蘇聯科學的發展，關懷着科學幹部。

為了順利地和廣泛地發展科學，在我國已創立了一切必要的

条件

我国正大踏步地向共产主义迈进，这在我国科学的面前提出了許多偉大的任务和問題。我們的科学如果能順利地解决这些任务和問題，那便能促使共产主义的物質技术基础更快地建立起来，便能更完善地滿足不断增長中的人民的物質文化需要，便更能巩固全世界的和平。

我国偉大的十月社会主义革命之后，为科学的发展所創造的十分有利的条件使大家有了可能，对复杂的金属切削过程中的各种問題和疑問，进行最广泛、深入、有科学根据的研究。所以，如果說先进的金属切削科学的奠基者是革命前的俄国研究者基麦、斯法雷金、柏列克斯和烏薩契夫等，那末它的建設者便應該是苏联的科学家。

金属切削科学在我国順利地发展着，这應該归功于科学研究院和實驗室有成效的工作，它們的一切活动都是朝着解决金属切削过程中的基本問題这个方向。这样的机构有苏联科学院的机器管理学院，全苏切削刀具科学研究所(ВНИИ)，金属切削机床实验科学研究所(ЭНИМС)，技术定额标准科学研究所(НИБТН)，中央机器制造与工艺科学研究所(ЦНИИТМАШ)，苏联磨料及研磨科学研究所(ВНИИАШ)，和莫斯科高等技术学校(МВТУ)的，МАИ 的及莫斯科机床刀具学院的切削實驗室，以及斯大林汽車厂的和高尔基城汽車厂的切削實驗室等等。

为了执行 1935 年 12 月党中央委员会全体會議所提出的关于修訂当时已成为落后的金属切削标准資料的決議，設立了金属切削委员会直属在 НКТП 技术會議之下。这委员会于 1936—1941 年間也进行了很多关于金属切削方面的工作。

切削委员会根据統一的計劃和重新拟定的研究方法來組織工作，它利用各工厂、各科学研究院和各学院的切削實驗室，在五年內进行了 120,000 个以上的实验；在这个基础上，确立了切削力的

和刀具耐用度的关系，并建立了以各种刀具加工常用金属时的切削用量，这些切削用量，在当时是先进的。切削委员会也拟出了合理使用金属切削机床和刀具的方法，刀具的磨损标准，并首先进行高生产率的(高速的)金属切削的研究。在金属切削委员会领导下进行的研究，获得了丰富的实验资料，这些资料还被利用来深入地研究金属切削过程中的物理本质。

先进的苏联金属切削科学超越了资本主义国家的金属切削科学。

美国人马尔昌德的“新”切削理论(1944年)明显地表现了资本主义国家金属切削科学的落后性；马尔昌德在他的“新”理论中说到滑动平面好比是“新的”发现，其实，滑动平面早在1912~1914年也就是说要比马尔昌德早30多年，就被 Я. Г. 烏薩契夫所发现并明显地指出了。此外，马尔昌德在1944年作出的一些结论，早在1892年也就是说，要早50多年，就被 K. A. 斯法雷金作出了。再说，马尔昌德在1944年竟还犯着一个严重的错误——不考虑刀具后面的摩擦力：俄国研究者却早在60年前已考虑到这个摩擦力。

高生产率(高速)金属切削的发现(1936~1937年)、奠定基础 and 广泛运用，是苏联金属切削科学的巨大成就。在高生产率的金属切削的发展和运用方面起着很大作用的生产革新者，有 П. Б. 貝科夫，Г. С. 波尔特闊維契，А. П. 馬尔柯夫，Н. В. 烏戈尔柯夫，Ю. 季柯夫，С. М. 布蕭也夫，Е. Ф. 沙維奇，В. И. 席乐夫，В. А. 科列索夫等等。

胜利地完成了战后的五年计划后，我们在创造共产主义的物质技术基础中，已前进了一大步。提前完成第四个五年计划，已使我们能拟定新的更伟大的第五个五年计划。

关于苏联第五个五年计划(1951~1955)，苏联共产党第十九次代表大会的命令规定，1955年的工业生产水平要较1950年提

高約70%，工業勞動生產率要提高約50%，產品成本要減低約25%。命令規定要在發展和採用新技術的基礎上，顯著地提高我國全民經濟。如機械製造和金屬加工的產品生產應增加到約2倍，巨型金屬切削機床的生產2.6倍，高準確度機床2倍，重型鍛壓機8倍，蒸汽渦輪機2.3倍，水力渦輪機7.8倍，蒸汽鍋爐2.7倍，冶金設備85%，汽車20%，拖拉機19%。同時也規定了其他各種工業品和農業的巨大增長。

完成新的五年計劃將標誌我國在沿社會主義到共產主義的發展道路上更前進了一大步。在勝利地實現這個計劃中，金屬切削加工將起着不小的作用。因此在金屬切削科學的面前有着重大的任務，例如：繼續研究金屬切削的物理基礎；毫無例外地對各種形式的刀具廣泛地運用先進的和高生產率（高速）的金屬切削；尋求新的價廉的而同時又是耐磨的和堅固的材料，來製造刀具的切削部分；提高切削過程的生產率 and 經濟性；減少耗費於加工中的機動時間和輔助時間等等。

毫無疑義的，蘇聯的金屬切削科學工作者在與生產者及生產革新家的創造性的協作中，將光榮地完成他們當前的任務，以促成共產主義更迅速的勝利。

第一章

車刀的幾何形狀

1. 基本原理

切刀是簡單而最常用的金屬切削刀具的一種。在 OCT BKC 6897 及 6898 中對於用切刀加工方面，下了基本的定義。對於切刀所下的這些定義，基本上也適用於其他種類的金屬切削刀具。

切刀是由刀頭（即切刀的切削部分）及刀身或刀杆（用作將切刀安裝在機床的刀架內或其他夾緊裝置內）所組成（圖 1）。

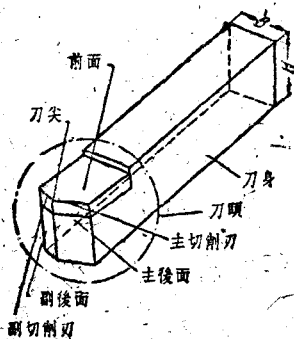


圖 1 切刀的各部分

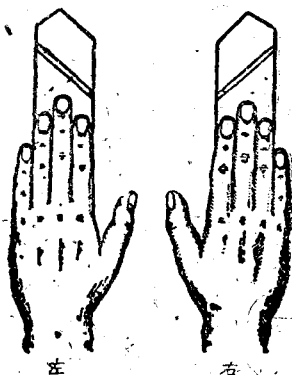


圖 2 左切刀及右切刀

刀頭由下列各部分組成：1) 前面，2) 後面，3) 切削刃，4) 刀尖。

前面是切刀的一個表面，切屑沿着它排出。

後面是對着被加工坯件的表面，後面又分主後面及副後面二

种。

切削刃是由前面和后面的交綫所形成。切削刃又分主切削刃及副切削刃二种。

主切削刃担任主要的切削工作，它是由前面和主后面的交綫形成的。**副切削刃**是由前面和副后面的交綫形成的。副切削刃可能有二个(例如割刀)。

刀尖是主切削刃与副切削刃相交的地方。

按照走刀的方向，切刀可分为左切刀和右切刀(图2)。

右切刀是当右手手掌从上面放在切刀上，手指朝向刀尖时，主切削刃是在大拇指的一边。在車床上工作时，这种切刀是从右向左(从尾架向車头)移动。

左切刀是当左手用上述方法放置时，主切削刃是在大拇指的一边。

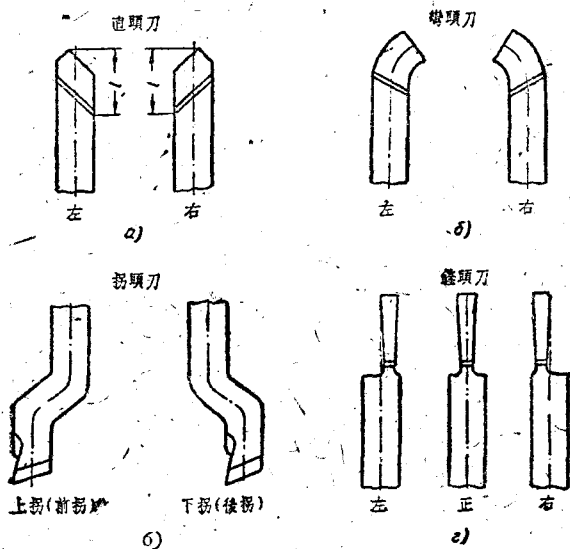


图3 刀头的形式

a—直头刀 b—彎头刀 c—拐头刀 d—鏟头刀

按刀头形式及按它对刀杆的相对位置,切刀可分为直头刀(图 3, a),弯头刀(图 3, b),拐头刀(图 3, c)和镗头刀(图 3, d)。

直头刀的轴线是直的。弯头刀的刀头在平面图中弯向一边。拐头刀的轴线,在侧面投影内弯曲。镗头刀的刀头比刀身狭,它可以对称于刀身的轴线或偏于轴线的一边,而其刀头可以是直的、弯的和拐的。

刀头的高度 h 是刀尖到支承面的距离,在垂直于支承面方向度量的。刀头高度可以是正的(当刀尖高于支承面时,图 4, a);也可以是负的(当刀尖低于支承面时,图 4, b)。

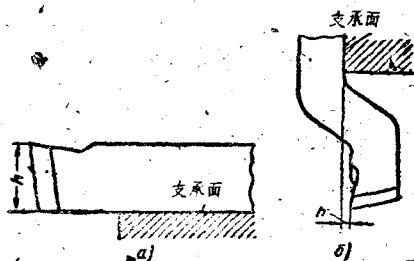


图 4 刀头的高度

刀头长度 l 是从刀尖至刃磨表面的出口线间的最大距离,在平行于刀身纵向面的方向内度量的(图 3, a)。

从被加工坯件上取下切屑时,在坯件上可分为下列各表面:待加工表面;已加工表面;切削表面(图 5)。

待加工表面是将被切削的坯件表面。

已加工表面是取下切屑后所得的表面。

切削表面是由切削刀在被加工坯件上直接形成的表面。切削表面是待加工表面和已加工表面间的一个过渡表面。

切刀的切削部分具有磨成一定角度的楔形。为了决定切刀的角度,建立下列原始平面:1)切削平面;2)基面。

切削平面是与切削表面相切、并通过主切削刀的平面。在图 5 中表示这个放在垂直位置的平面的迹线。

基面是平行于进给刀和横走刀的平面。在棱形刀身的车刀上可以取切刀的下支承面作为基面。

2. 切刀的角度

切刀的主要角度是在與主切削刃在基面上的投影相垂直的主截面內度量的。切刀的主要角度包括後角、前角、楔角和切削角(圖 5)。

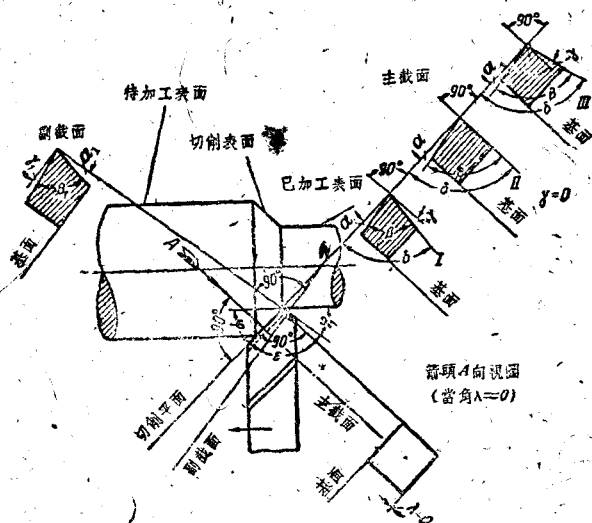


圖 5 坯件的表面和切刀的角度

主後角 α 是切刀的主後面與切削平面間的角。

楔角 β 是切刀的前面與主後面間的角。

主前角 γ 是切刀的前面與垂直於切削平面且通過主切削刃的平面間的角。它可以是正的(當前面低於垂直切削平面的平面時, 圖 5, I); 也可以等於零(當前面垂直於切削平面時, 圖 5, II); 以及可以是負的(當前面高出垂直於切削平面的平面時, 圖 5, III)。

切削角 δ 是切刀的前面和切削平面間的角。

當 γ 為正值時, 這些角度間存在着下列關係:

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ,$$