

〔美〕 H.E.特拉克斯 著

经济生产的设计

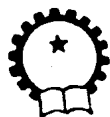
机械工业出版社

经济生产的设计

〔美〕H.E.特拉克斯 著

瞿象颐 译

邵才 校



机械工业出版社

本书提供了以最低成本生产最佳产品的各种方法和手段，精炼地介绍了在给定生产条件下最有效的加工类型、各种金属加工机床和加工的性能，以及每种加工的相对生产成本，对机械产品的设计者有很大参考价值。本书共分十二章。内容包括：金属材料、机械加工、铸造、锻造、挤压、金属冲压和压形、粉末冶金、圆柱形零件的公差与配合、保护性涂层、合成橡胶、塑料和降低成本的方案。本书可供机械产品设计工程技术人员阅读，也可供大专院校机制专业师生参考。

DESIGNING FOR ECONOMICAL PRODUCTION

H. E. Trucks

Society of Manufacturing Engineers

Dearborn, Michigan

Second printing 1976

• • •
经济生产的设计

〔美〕H. E. 特拉克斯 著

翟象颐 译

陈才 校

•
责任编辑：应华炎

封面设计：田淑文

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南里一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

密云县印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

•
开本 850×1168 1/32·印张 8¹/₈ •字数 212千字

1989年7月北京第一版·1989年7月北京第一次印刷

印数 0.001—2.260 •定价：8.20元

•
ISBN 7-111-01361-1/F·201

前 言

降低制造成本越来越成为美国工业的主要需求。在许多场合，这项需求是通过在采用先进技术方面不断发展的工艺学来达到的。在其他场合，则借助于先进的管理技术，特别是利用计算机的先进管理技术的帮助。

尽管在工艺学和管理科学上有改进，但在产品设计中仍可找出低成本生产的要素。Trucks博士在本书内明确地指出，设计师能因不合适的选择材料、过紧的尺寸公差、不必要的提高表面粗糙度技术要求以及复杂的零件设计而导致成本失控。

上述一些批量生产的参数均在本书内叙述。在讨论各参数的期间，Trucks还亲自研究了各类生产过程。在这种情况下，他回答了在给定的生产条件下最有成效的加工类型、各种金属加工机床和加工方法的性能（尺寸及其他性能）以及每种加工的相对成本等问题。

出版本书的目的在于为以最低成本制造最佳产品提供各种方法和手段。为此，《经济生产的设计》对新产品设计师有极大的帮助。

制造工程与管理

编辑主任

Daniel B. Dalls

目 录

前言

第一章 金属材料	1
定义	1
实用经验	1
第二章 机械加工	10
一般设计规则	10
尺寸公差和表面粗糙度	11
表面粗糙度	12
精密公差和表面粗糙度与生产成本的关系	14
钻孔	16
车削	30
铣削生产	33
磨削生产	34
公差和表面粗糙度对外圆磨削成本的影响	35
第三章 铸造	41
定义	41
实用经验	41
砂型铸造	45
永久型铸造	51
压铸	54
型芯	65
拔模角	69
铸壁截面	74
内圆角、筋、拐角和铸台	76
熔模铸造	80
第四章 锻造	85
定义	85
锻造实用类型	85

VI

用途和适用范围	87
材料	87
零件尺寸和形状(设计应考虑的问题)	88
公差	96
生产经济性	105
第五章 挤压	109
定义	109
实用经验	109
优点和缺点	112
材料	113
设计应考虑的问题	114
公差	121
第六章 金属冲压和压形	128
定义	128
实用经验	128
冲压作业	129
压形	135
滚压	153
精冲和穿孔	159
第七章 粉末冶金	163
什么是粉末冶金	164
材料	166
设计经济性	166
典型生产零件	173
第八章 圆柱形零件的公差与配合	176
定义	176
标准配合	176
第九章 保护性涂层	186
实用经验	186
通则	187
电镀规范	188
第十章 合成橡胶	198

定义.....	198
实用经验.....	200
低温性能.....	206
材料选用.....	208
第十一章 塑料	216
实用经验.....	216
塑性材料指南.....	216
模塑零件.....	240
铸造.....	244
挤压.....	244
设计应考虑的问题.....	245
第十二章 降低成本的方案	247
价值工程.....	249
结论.....	252

第一章 金属材料

本章介绍常用金属材料的技术特征，机械性能，切削性等级，费用指标，用途，焊接性和供应性。

定 义

切削性等级：这是一个百分率等级。以钢B1112作为可切削性为100%的金属，用数字100定级。切削性等级137，表示被定级的金属比钢B1112容易加工37%。等级55表示被定级的金属比钢B1112难加工45%。

费用指标：费用指标是以钢B1112的费用为100作为基准。某种金属的费用指标为155，表示该金属的费用比钢B1112的费用高55%。某种金属的费用指标为55，表示该金属的费用比钢B1112的费用低45%。

相对生产成本：相对生产成本是以给定的金属的切削性等级和费用指标的代数和为基础的，如图1-1所示。

实 用 经 验

材料选择

材料影响制造成本。图1-1表明加工铝、碳钢、合金钢和不锈钢时的相对成本。

虽然相对成本随形状、尺寸、数量、市场价格等的改变而变化，但当进行新设计选择材料时，或从一种材料更改为另一种材料时，相对成本仍是对成本进行比较的一个良好基础。表1-1的钢材选用数据可帮助我们为特定零件选用最好的材料。该表给出最常用的钢材的特征、机械性能等。对表1-1中未列入的金属材料，设计人员应和对这些金属有丰富使用经验的冶金师（热加工工艺师）商量，以弄清所选用材料的用途、机械性能和其他

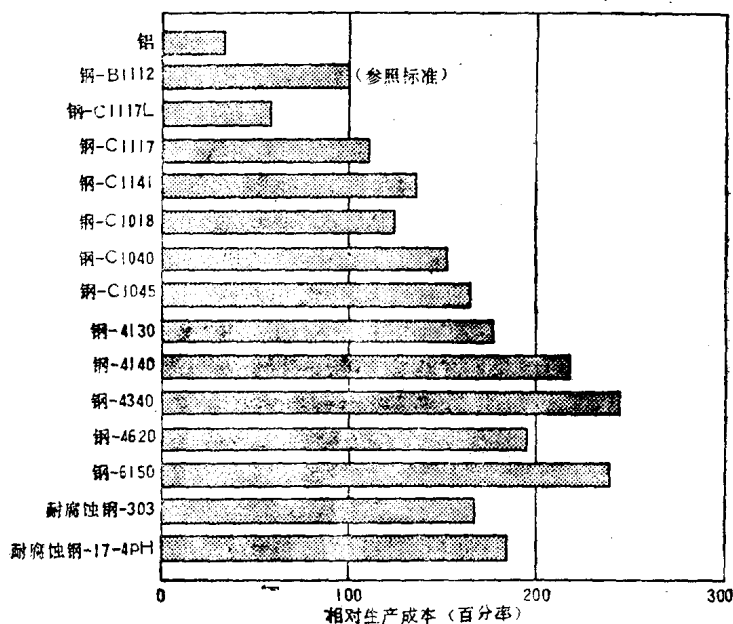


图 1-1 各种型号的钢和铝加工零件的相对生产成本

所需的数据。

铝 表1-2列出在金属加工工业中最常用的几种铝合金。其他铝合金的典型特征和用途，设计人员应向制铝技术人员请教。

低碳钢 低碳钢的机械性能在钢种选用表中未给出，因为这些钢料不打算用于结构零件。

低碳钢和易切削钢只有在总的说来是经济时才采用，而且只用作非结构件。

合金钢 当要求有下面一项或几项性能时，一般应选用合金钢：

1. 要求较好的热处理性能，如高硬度；
2. 热处理变形小；
3. 高强度；
4. 冲击强度；

- 5.耐疲劳强度;
- 6.抗震;
- 7.耐磨损;
- 8.韧性。

表1-1 钢种选用表

易切削钢和低碳钢

B1112冷轧钢

特征 易切削; 为了耐磨, 可表面淬硬;

不宜作受冲击、震动或受疲劳的零件。

机械性能 钢B1112不打算用作结构零件, 因此此处未给出机械性能。

切削性等级 100。

费用指标 100。

用途 螺丝机床产品; 容易切削和对表面粗糙度要求很高的零件(蜗杆、套环、螺钉和轴类)。

焊接性 螺钉胚料不宜焊接, 因含硫量太高。

供应性 棒料和杆料。

C1117冷拔钢(不加铅)

特征 易切削; 形成均匀而坚硬的表层, 且心部强度高、韧性好, 渗碳无脆性。

机械性能 钢C1117不打算用作结构零件, 因此此处未给出机械性能。

切削性等级 90。

费用指标 100。

用途 需要韧性比钢B1112高的零件(中等载荷轴类, 双头螺栓, 销钉, 螺钉和蜗杆)。

焊接性 需有特殊经验。

供应性 冷拔型材。

C1117L冷拔钢(加铅)

特征 同C1117。

机械性能 同C1117。

切削性等级 112。

费用指标 100。

用途 同C1117。

焊接性 同C1117。

供应性 同C1117。

C1018冷拔钢和热轧钢

特征 低碳，平炉钢，比其他低碳钢，如C1020有较高的含锰量。因为含锰高，

C1018是渗碳零件的较好钢种，由于它能产生一层较坚硬而更均匀的表层。

机械性能 钢C1018不打算用作结构零件，因此此处未给出机械性能。

切削性等级 76。

费用指标 100。

用途 需要高表面硬化而心部软的零件，如齿轮，主销，链销，棘轮和止动爪。

焊接性 用各种焊接方法均可焊接。

供应性 冷拔和热轧型材。

中 碳 钢**C1141热轧钢**

特征 这是中碳、含锰、平炉钢。在滚轧状态下强度高。热处理后能获得更高的硬度和强度。由于加了硫，切削性能好。

机械性能 抗拉强度(轧态)，95000p.s.i①〔66500N/cm²〕；屈服强度(轧态)，56000p.s.i〔39200N/cm²〕；延伸率(2in〔50.8mm〕)，25%。

切削性等级 70。

费用指标 106。

用途 这个等级用于需要高强度而又要有良好切削性能的地方，如车轴、双头螺栓、螺栓、轴和拉杆。

焊接性 不易焊接，因碳，锰，硫含量高。在焊接区段预热，可以气焊或电焊。焊接后要消除应力。

供应性 热轧棒材。

C1040冷拔和热轧棒料

特征 这是中碳、平炉钢，坚韧，延展性好；耐磨及抗震；有良好淬硬性，但变形大。因此，小而复杂的截面在热处理时需注意。

机械性能 抗拉强度：冷拔，110000p.s.i〔77000N/cm²〕；热轧，93000p.s.i〔65100N/cm²〕；屈服强度：冷拔，83000psi〔58100N/cm²〕；热轧，59000psi〔41300N/cm²〕；延伸率(2in〔50.8mm〕内)，冷拔，22%；热轧，27%。

切削性等级 64。

费用指标 118。

用途 需要比低碳钢所能达到的强度较高的零件(轴、机器零件、大齿轮、锻

件、泵轴等)。

焊接性 不易焊接。

供应性 冷拔, 热轧棒材和锻坯。

C1045冷拔、热轧棒料和锻件

特征 这种钢的特征、机械性能、用途、焊接性和供应性与钢C1040相同。由于碳含量略微增加, 热处理后可得到较高的机械性能和硬度, 但切削性能下降。

机械性能 同C1040。

切削性等级 55。

费用指标 121。

用途 同C1040。

焊接性 同C1040。

供应性 同C1040。

合 金 钢

4130 铬钼钢 (航空用)

特征 用电炉制造, 这个牌号的钢满足航空工业严格的要求。在整个制造过程中均特别注意保证排除有害的缺陷。这种钢适用于制造需受磁力探伤检查的零件。

机械性能 在F状态(淬火, 回火)下的最小机械性能是: 抗拉强度, 125000 psi [87500 N/cm²]; 屈服强度, 100000 psi [70000 N/cm²]; 延伸率(2 in. [50.8 mm] 长) 17%。

切削性等级 60。

费用指标 138。

用途 这种金属一般用来制造各种飞机和导弹零件。

焊接性 可用各种方法焊接, 但截面较厚或厚度变化大的零件有时需预热。

热处理 零件可热处理到200000 psi [140000 N/cm²] 横截面超过1 in [25.4 mm] 时避免使用。

供应性 棒材、杆材和锻件, 按下列物理状态: (A) 锻态, (B) 轧态, (C) 退火, (D) 正火, (E) 正火, 回火, (F) 淬火, 回火。

4140 铬钼钢 (航空用)

特征 这种油淬合金钢的制造方法和严格规范与钢4130的要求一样。这是一种高强度钢, 具有高耐磨和耐疲劳性能。适用于大截面, 淬透性好, 对厚度有变化的零件也好用; 简单正火处理或火焰淬火反应良好。充分进行热处理时, 具有高冲击强度, 但锻造和滚轧困难,

机械性能 在F状态(淬火,回火)下的最小机械性能是:抗拉强度,150 000 psi〔105 000 N/cm²〕,屈服强度,120 000 psi〔84 000 N/cm²〕,延伸率(2 in〔50.8 mm〕长),17%。

切削性等级 57。

费用成本 138。

用途 这种材料一般用于制造各种不同的飞机零件(凸轮,汽缸、滚柱、齿轮、销钉、驱动花键轴等)。

焊接性 可用各种方法焊接。但对厚截面零件或厚度变化大的零件有时需预热。

热处理 零件可热处理到200 000 psi〔140 000 N/cm²〕。

供应性 各标准轧型有下列物理状态,(B)轧态,(C)退火,(D)正火,(E)正火,回火,和(F)淬火,回火。

4340 铬镍钼钢(航空用)

特征 这种钢淬透性好,用电炉制造,以满足航空工业的严格要求。在整个制造过程中均特别注意保证排除有害的缺陷。它是中碳系列中具有高淬透性的高强度钢种。在厚截面时,同时具有韧性和强度。4340系油淬硬钢,最大硬度达RC55。为了有较好切削性能,应在退火或正火状态下使用。

机械性能 在F状态(淬火、回火)下的最小机械性能为:抗拉强度150 000 psi〔105 000 N/cm²〕,屈服强度130 000 psi〔91 000 N/cm²〕,延伸率(2 in〔50.8 mm〕内),14%。

切削性等级 52。

费用指标 193。

用途 这种材料用于制造需有良好淬硬性的高强度的飞机和导弹零件。

焊接性 可以用氧-乙炔焊,惰性气体保护焊和接触焊等方法焊接。

热处理 零件能热处理到最大硬度RC55(284 000 psi〔198 800 N/cm²〕)。

供应性 各标准轧型有下列物理状态,(A)锻态,(B)轧态,(C)退火,(D)正火,(E)正火,回火及(F)淬火,退火。

4620 镍钼钢,航空用,渗碳

特征 这是渗碳合金钢,用电炉制造,以满足航空工业要求。它是最好的渗碳钢,具有特别均匀的表层,对热处理反应灵敏。当淬火时,比较不易变形。在高硬度下,有优越的韧性和高耐疲劳强度。为了易于切削,应在退火或正火的状态下使用。

机械性能 抗拉强度,82 000 psi〔57 400 N/cm²〕;屈服强度55 000 psi〔38 500 N/cm²〕,延伸率(2 in〔50.8 mm〕长),30%。

切削性等级 58。

费用指标 154。

用途 渗碳零件, 螺钉自动机零件, 齿轮, 凸轮, 花键轴, 轴套, 滚子。

焊接性 可用各种方法焊接。

热处理 零件可热处理至RC32~48。

供应性 各标准轧型有下列物理状态: (A) 锻态, (B) 轧态, (C) 退火, (D) 正火和 (E) 正火, 回火。

6150 铬钒钢 (航空用)

特征 这种铬钒钢用电炉制造以达到航空工业标准。它具有高强度, 高耐疲劳强度, 高抗震强度和高耐磨性; 优越的韧性; 热变形小; 细微晶粒组织。除非在加工前退火, 否则切削性能不好。

机械性能 钢6150在退火状态下有下列性能: 抗拉强度103000psi [72 100N/cm²], 屈服强度70000psi [49 000N/cm²], 延伸率(2 in [50.8mm] 内) 27%。

切削性等级(退火) 50。

费用指标 191。

用途 厚度变化的零件, 受高温, 高强度和冲击的弹簧, 需要高强度和抗冲击的零件。

焊接性 可用各种方法焊接。

热处理 这种钢种可热处理至最大硬度RC58。

供应性 各标准轧型有下列物理状态: (A) 锻态, (B) 轧态, (C) 退火, (D) 正火和 (E) 正火, 退火。

耐 腐 蚀 钢

03耐腐蚀易切削钢

特征 303型是18-8铬镍耐腐蚀钢, 加硫和磷改进性能, 以保证切削性能和无粘附性。这是所有铬镍钢中最易切削的钢种, 并有良好耐腐蚀性。在退火状态下无磁性, 但在冷作后有轻微磁性, 热处理不能淬硬。抗拉强度和硬度可借冷作增加。用电炉制造。增加各种元素, 以改进切削性能和不致于机器因过热、摩擦等原因而失灵。其他型号的303铬镍钢也可以买到。

机械性能 实际上, 退火的棒材平均性能如下: 抗拉强度, 热轧并退火90000psi [63000N/cm²], 冷拔并退火, 109000psi [70000N/cm²]; 屈服强度, 热轧并退火35000psi [24500N/cm²], 冷拔并退火60000psi [42000N/cm²], 延伸率(2 in [50.8mm] 内), 热轧并退火, 50%; 冷拔并退火, 40%。

切削性等级 65。

费用指标 130。

用途 几乎专用于需要切削、磨削，或研磨和需有良好抗腐蚀性能的零件。它的不粘附性和摩擦后不会咬死的性能是制造滑动零件的理想材料。作为奥氏体钢，适用于需要低导磁率的地方。

焊接性 不推荐。如需焊接，设计人员应和焊接专家研究，采用特定的焊接方法。

供应性 这种钢种以各种轧制型材供应。热轧并退火或冷拔并退火。

17-4PH沉淀硬化型耐腐蚀钢

特征 这是一种铬镍耐腐蚀钢，能在低温下只用沉淀热处理方法强化。钢17-4PH的强度和耐腐蚀性能在高达800°F〔430℃〕的工作温度下仍可保持。这种材料切削性能好，有优越的焊接性能，容易锻造，并有良好的可铸性。由于机械和工艺性能都很好，使这种钢种得到广泛应用。

机械性能 AMS5643要求在900°F〔486℃〕温度下沉淀硬化后有下列机械性能。抗拉强度189000至215000psi〔126000~150500 N/cm²〕；屈服强度165000psi〔115500 N/cm²〕；延伸率（长度2 in〔50.8 mm〕内），10%。

切削性等级 铸造材料，热处理至H1000；棒料，热处理至H1050定级为60。

费用指标 146。

用途 用于需要高强度和高耐腐蚀的地方，和用于需高耐疲劳强度和良好抗咬死、抗粘附和耐腐蚀处。适于做需要加工和焊接的复杂零件，并用作使用常规钢种热处理时容易变形的零件。它是一种优良的锻造和铸造材料。

焊接性 用各种普通方法均可焊接。和标准的淬火抗腐蚀钢不同，不需预热或局部加热。

热处理 这是一种沉淀硬化型钢。锻造和铸造材料应按MIL-H-6875的要点进行热处理。

供应性 这种材料以标准的锻造型钢、扁钢和锻坯供应。

①psi=磅/平方英寸。〔〕内数值由译者换算为米制。下同。——编者注

表1-2 铝合金材料选用表

合金和热处理状态	耐腐蚀性		工作性能 (冷)	切削性	铜焊性	焊接性			典型用途
	一般应力	腐蚀开裂				气焊	电阻焊	点焊和缝焊	
2024-0	—	—	—	D	D	D	D	D	螺丝机床产品和航空构件
2024-T3	D	C	C	B	D	C	B	B	
2024-T4	D	C	C	B	D	C	B	B	
2024-T6	D	B	C	B	D	D	C	B	
5052-0	A	A	A	D	C	A	A	B	钣金件和液压管道
5052-H32	A	A	B	D	C	A	A	A	

(续)

5052-H34	A	A	B	C	C	A	A	A	
5052-H36	A	A	C	C	C	A	A	A	
5052-H38	A	A	C	C	C	A	A	A	
6061-0	B	A	A	D	A	A	A	B	重载荷构
6061-T4	B	B	B	C	A	A	A	A	件, 耐腐
6061-T6	B	A	C	C	A	A	A	A	蚀良好
7075-0	—	—	—	D	D	D	C	B	航空和其
17075-T6	C	C	D	B	D	D	C	B	他构件

级别由A至D, 优点顺序下降。对焊接性和铜焊性级别A至D对比规定如下:

A—用所有商业用的生产工艺和方法一般均可焊接。

B—用特殊工艺可以焊接, 或对特种用途采用经过初步试验证明可用的新焊接工艺和操作。

C—有局限的可焊性。因为对开裂有敏感性或焊接后丧失耐腐蚀性和丧失机械性能。

D—通常的焊接方法不能使用。

没有制定铝合金和钢B1112切削性能的比较数据, 但已知加工铝可比B1112快3到4倍。

铝合金的费用指标是以每英镑多少立方英寸和钢B1112相比较的。加工铝合金比钢B1112的加费工约少68%。

第二章 机械加工

一般设计规则

由于大多数制造行业都具有高度竞争性，所以总要寻求降低成本的途径。产品设计一开始，就应考虑降低成本这个问题。设计工程师作设计时应永远记住，要选择可能的有利方案。如不对可能的生产费用进行细致的分析，是很难决定最优选择的。在设计产品的功能、互换性、质量和经济性时，必须细心地研究其公差，表面粗糙度，加工方法，材料以及设备等问题。

为确保从生产观点得到的经济设计可行，最重要的是要细心地考虑下列一般设计规则（个别的和整个的规则均需考虑）。哪些规则更重要一些，视设计要求或因素而变。但是，总的规则却是相同的。

1. 力求简单：在功能和机构特性上应设计得最简单。
2. 确定最优生产方法：求得工艺工程师的帮助，研究、利用其内在的生产限度，设计出最经济的生产方法。
3. 分析材料：选择生产成本最低，满足设计要求的材料。
4. 尽量减少生产步骤：在铸造、锻造、冲压、粗加工、精加工、部装和总装中，设计数量最少的单项操作。
5. 消除夹紧和装卸方面存在的问题：设计易于定位，调整和夹持的零件。
6. 采用尽可能宽的公差和高的表面粗糙度：对所设计的零件或机构和生产方法或预期方法的表面粗糙度和尺寸精度不应提出过高要求。

判断设计最后是取得成就，还是脱离生产实际，表面粗糙度和尺寸公差起了重要的作用。

广泛研究互换性的各项原则是充分认识和正确评价低成本生