

冲 精 板 厚

〔德〕 F. 罗特尔 著

机械工业出版社

6.4
2

厚板精冲

〔德〕 F. 罗特尔 著

齐翔宪 译

周开华 校

机械工业出版社

本书简述了精冲的基础理论,分析了6~12mm厚优质钢板的落料和12~20mm厚普通结构钢的冲孔试验的各种工艺参数的相互作用及对精冲零件质量的影响,它对从事精冲技术理论和实践的研究,具有很大的参考价值。

本书可供冲压专业的工程技术人员及大专院校师生阅读。

FEINSCHNEIDEN DICKER BLECHE

Friedrich Rotter

Tag der mündlichen Prüfung: 13. Juni 1984

* * *

厚板精冲

〔德〕F. 罗特爾 著

齐翔宪 译

周开华 校

*

责任编辑:王世刚 林松 版式设计:吴静霞

封面设计:方芬 责任校对:熊天荣

责任印制:王国光

*

机械工业出版社出版 (北京阜成门外百万庄南街一号)

(北京市书刊出版业营业许可证出字第117号)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₃₂·印张 3⁷/₈·字数 83 千字

1991年9月北京第一版·1991年9月北京第一次印刷

印数 0,001—2,550·定价:3.50元

*

ISBN 7-111-02703-5/TG·601

译 序

精冲技术是冷冲压技术的新领域，它广泛应用在各个工业生产中。精冲零件由薄板低强度的精密小零件，发展到厚板高强度的大型复杂零件，从而使精冲技术进入汽车、摩托车等行业。为此，厚板精冲引起世界各国精冲专家和厂家的普遍关注。

《厚板精冲》(Feinschneiden Dicker Bleche)一书系联邦德国 Friedrich Rotter 博士的博士论文，他全面总结了从 1978~1984 年间，在 Rheinisch-Westfälischen Technischen Hochschule (Aachen) 的模具机械和生产理论试验室从事厚板精冲研究时的成果。

本书简述了厚板精冲基础理论，并运用滑移线法和有限单元法建立了应力和应变的数学模型；分析和计算了 6~12mm 厚优质钢板落料和 12~20mm 厚普通结构钢板冲孔试验的各种工艺参数特性、作用及影响。

本书内容新颖丰富，理论与实践紧密相结合，可供冲压专业工程技术人员和大专院校师生参考。

限于水平，译文仓促，错误难免，不吝赐教。

译 者

1990.4

公式符号与单位

A	%	断裂延伸率
A_S	mm^2	剪切面积
C_1	—	抗剪强度系数
D	mm	直径
D_E	mm	塌角侧零件直径
D_G	mm	毛刺侧零件直径
D_N	mm	公称直径
F	kN	力
F_G	kN	反压力
F_N	kN	压边力
F_R	kN	齿圈力
F_S	kN	冲裁力
F_{SI}	kN	凸模压力
HV	—	维氏硬度
L	mm	零件长度
R_a	μm	算术平均粗糙度
R_e	N/mm^2	屈服极限
R_{eH}	N/mm^2	上屈服极限
R_m	N/mm^2	抗拉强度
Z	%	断面收缩率
a_k	mm	冲裁刃宽度
a_R	mm	齿圈距离
b	mm	宽度
b_E	mm	塌角宽度

δ_k	mm	冲裁刃深度
d	mm	直径
d_{Na}	mm	压板外直径
d_{Sch}	mm	凹模直径
d_{Scha}	mm	凹模外直径
d_{Schi}	mm	凹模内直径
d_{St}	mm	凸模直径
f	mm	零件挠度
h	%	光亮冲裁率
h_B	mm	废料高度
h_E	mm	塌角高度
h_R	mm	齿圈高度
k_f	N/mm ²	屈服应力
k_S	N/mm ²	单位面积上的冲裁阻力
l	mm	长度
l_k	mm	锋利冲裁刃口倒棱长度
l_R	mm	齿圈长度
l_o	mm	倒圆冲裁刃口的棱边长度
l_S	mm	剪切线长度
m	—	系数
n	—	硬化指数
r_k	mm	冲裁刃半径
r_{kSch}	mm	凹模上的冲裁刃半径
r_{kSt}	mm	凸模上的冲裁刃半径
s	mm	板厚
t	mm	油层厚度
u	μm	冲裁间隙
u_o	%	相对冲裁间隙
w	mm	角度误差
x	mm	冲裁行程

V

π_R	mm	齿圈压入深度
π_s	%	相对冲裁行程
α	(°)	滑移线场扇形量
β	(°)	楔角
β_1	(°)	滑移线场角度
φ	—	对数变形度
φ^*	—	局部对数变形度
φ_b	—	宽度方向对数变形度
φ_{Br}	—	断裂变形度
φ_{GI}	—	对数的均匀延伸率
φ_A	—	锋利冲裁刃上的对数变形度
φ_l	—	在长度方向的对数变形度
φ_r	—	在倒圆角的冲裁刃上的对数变形度
ϕ	(°)	在滑移线场的角度
θ	(°)	在滑移线场的角度
σ	N/mm ²	应力
σ_m	N/mm ²	平均应力, 静水压应力分量
σ_1	N/mm ²	径向应力
σ_2	N/mm ²	轴向应力
σ_3	N/mm ²	圆周应力
τ_s	N/mm ²	冲裁应力
τ_B	N/mm ²	抗剪强度
max		最大
0		变形前的原始状态
1		变形后的最终状态

目 录

公式符号与单位

第一章 导言	1
第二章 工艺过程及特性参数	3
第三章 基础知识	7
§ 3-1 剪切线几何形状和板厚	7
§ 3-2 材料质量	8
§ 3-3 冲裁间隙	9
§ 3-4 冲裁刃口的几何形状	10
§ 3-5 反压力	11
§ 3-6 压边力和压板结构	12
§ 3-7 冲裁力	16
第四章 课题和目的	21
第五章 精冲原理	23
第六章 厚板精冲的研究	46
§ 6-1 用板厚6~12mm优质钢精冲落料	46
§ 6-2 用板厚12~20mm普通结构钢精冲孔	65
§ 6-3 冲裁力	83
第七章 原始数值和零件性能的相对性	92
第八章 总结	103
参考文献	104

第一章 导 言

精冲是一种采用特殊类型模具的冲压工艺^[1],它属于精密冲裁工艺,因为用此种方法可以制造出与普通冲裁完全不同的冲压件,这种冲压件具有高的尺寸精度和形状精度及完全光亮的冲裁面^[2]。这一工艺的名称之所以称为“精密冲裁”或“精密冲压”,应追溯到最初的零件使用范围。因它只限于钟表、照相机和计量仪器业中的小型精密零件。

由于精密冲裁工艺的不断发展,这里所试验的精冲工艺^[3, 7]继 F. Schiess^[8, 9]之后已自成一体并应用在当今的工业生产中。

图1中表示普通冲裁和精密冲裁的工艺原理和冲裁面的对比。

在普通冲裁时冲裁面上的光亮区只占板厚的 $1/3$, 其余为断裂区。而在极佳的精冲冲裁面上则无断裂区,精冲的冲裁面是完全光亮的和无裂纹的。

在整个冲裁过程中都会出现光亮区和塌角,这是当凸模冲压板料时,由于材料的塑性流动而产生的。基于材料的冷作硬化,变形能力随冲裁行程的增加而减小,便导致裂纹的形成,裂纹相接进而形成典型的断裂表面。

精冲时,材料的塑性流动必须扩展到整个板厚,因此冲裁面是完全光亮的。当冲裁凸模完全冲透材料时,材料因断裂而分离。

这里所需的专用模具与常用的普通冲模的区别有以下几

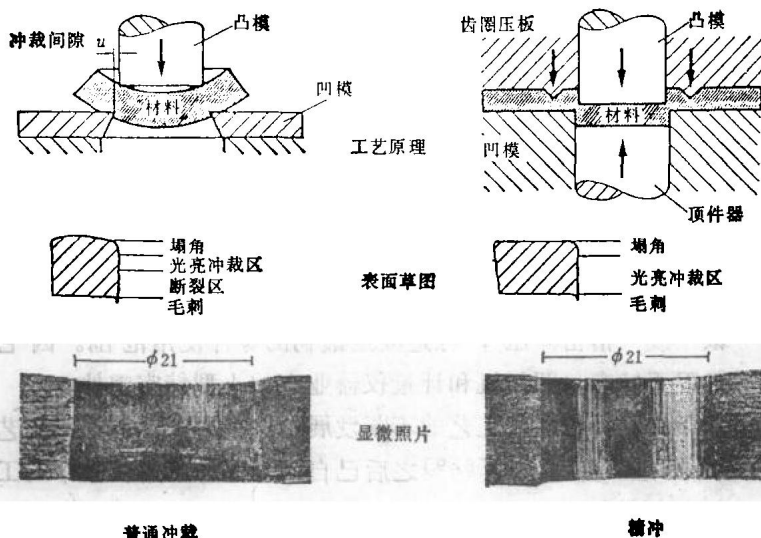


图 1 普通冲裁与精密冲裁的对比

点:

- 带齿圈的压板
- 顶件器
- 很小的冲裁间隙

精冲之所以能具有经济意义,是因为精冲可以在一道工序中制造出尺寸和形状精确的光洁冲裁零件。在开始时首先生产大批量的由软材料制作的薄精冲件。与此相反,今天的趋势则是加大板厚和使用高强度的材料。

由于上述两个因素而增加了精冲的难度,因此必须提高工艺的规律性,它关系到精冲零件,模具结构,机床调整参数和生产结果以及简化新的精冲过程的布局。

第二章 工艺过程及特性参数

精冲过程是从板料的夹紧开始的。在剪切线的外部，材料通过压板和凹模被夹紧；在剪切线内部，材料则是在冲裁凸模和顶件器之间夹紧(见图2)。

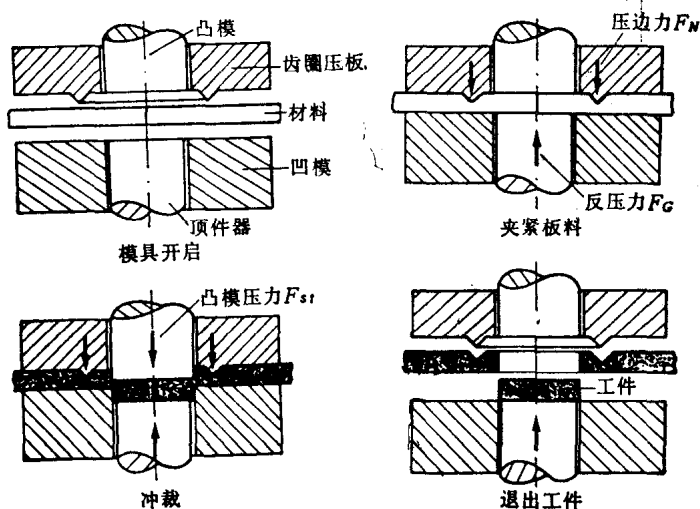


图2 精冲的工艺过程

在冲裁过程的初始阶段必须提高作用于冲裁凸模上的压力，以便在超过屈服应力时压入材料。在压板上构成的压板压力和作用于顶件器上的反压力在冲裁时相互接触，几乎保持不变，以便在压力下夹紧需冲裁的零件。当冲裁凸模完全冲透板料时，模具打开，压板顶出冲裁废料，顶件器顶出零件。

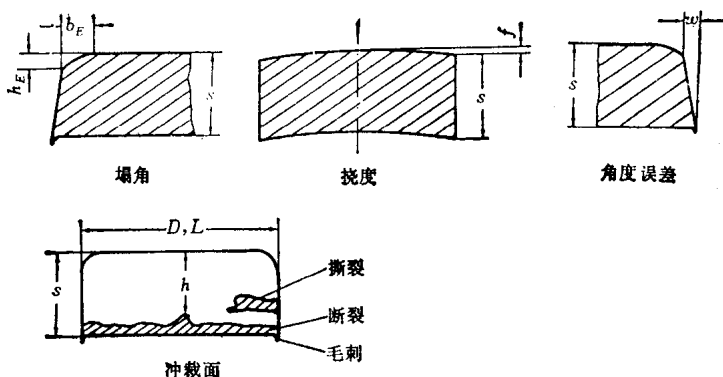


图4 精冲件的质量特征

s —板厚 h_E —塌角高度 b_E —塌角宽度 f —挠度 w —角度误差
 h —与板厚有关的最小光亮冲裁范围 D —直径 L —长度

撕裂的断裂面类型来评价冲裁面的质量。沿板厚方向显示的最小光亮冲裁区的宽度，作为光亮冲裁范围尺寸，光亮冲裁面的质量用算术平均粗糙度 Ra 来评价。

精冲件的质量除了考虑尺寸精度（长度、直径）之外，还要考虑形状误差〔2、10〕，

- 塌角的大小；
- 冲裁面角度误差；
- 冲裁件的挠度。

精冲件的质量还通过在精冲过程中所出现的各种因素的共同作用来决定。为了能系统地掌握精冲工艺，在图5中表示的是最重要的影响因素，它可分为原始因素、过程因素和结果因素。

实际的精冲过程是根据所给出的系统因素（机床、零件、模具、润滑）同可变的调整因素（压边力、反压力、冲裁速

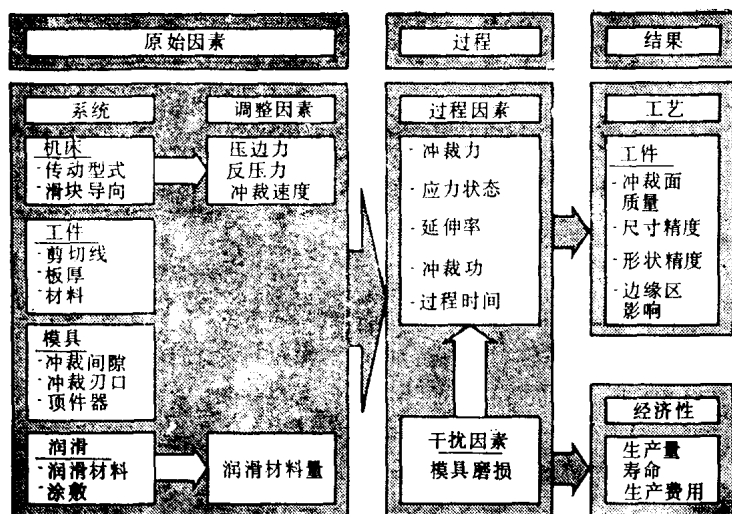


图5 精冲时原始因素、过程因素和生产结果之间的关系

度和润滑材料数量）相结合来调整的。这首先要用最大的必要的冲裁力来表示，冲裁区内的各种作用力产生了引起材料延伸的应力状态。这些因素决定了生产结果。另外，作为过程因素的冲裁功和过程时间也影响生产结果。

精冲过程的结果不仅可以从工艺角度去观察，而且也可以从经济的观点来看待。工艺角度观察的前提是零件的质量。而经济的估价则首先着眼于模具的生产能力，这里不仅要看模具工作元件二次刃磨之间所生产的零件数量，而且要着眼于总寿命。

干扰因素的影响一方面在于高作用力对工艺过程的影响，另一方面在于恶化的零件质量对经济性的影响。

为了使精冲方法能得到最佳的应用，工艺研究要求对精冲过程的工艺规律的描述尽可能是定量的。

第三章 基础知识

如果说精冲技术在开始的年代只是以产品广告的形式[11, 12]对精冲件的性能和使用范围加以描述的话,那么大约在60年代中期,则有了第一个出版物,对精冲工艺的基本特点进行报道。

1962年由 Guidi[13, 14]第一次发表的精冲原理至今都是有效的。如果在精冲应用初期人们相信有关小的冲裁间隙精冲的难题首先在于精密模具制造、导向精度和机床状态,那么首先由 Haack 和 Birzer 在手册中总结的经验则表明,不断增加的影响因素决定了工作结果。Haack 和 Birzer 的手册也象1980年发表的 VDI-规范《精冲》那样,包括了对适合精冲的零件结构和精冲难度等级,材料选择和模具结构的说明。

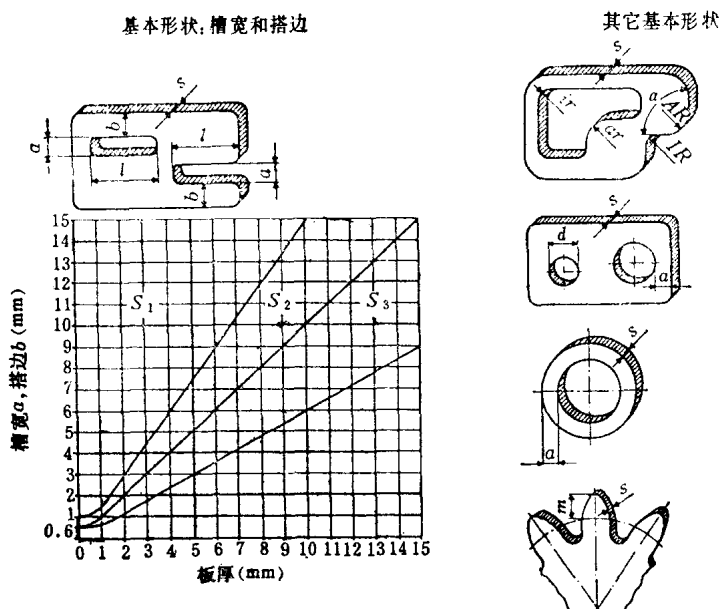
精冲难度等级的区分是经验的结晶,难度等级分三级: S_1 (简单)、 S_2 (中等)、 S_3 (复杂)。

§ 3-1 剪切线几何形状和板厚

剪切线的几何形状和板厚主要决定了精冲的难度等级[2, 10],这里剪切线的几何形状分为简单的几何基本形状,如圆角半径、孔直径、槽宽和边距。

根据这些数值与板厚之比求出精冲难度等级,它也是随板厚而增加的(见图6)。

大面积薄零件的精冲比用较厚板材精冲窄的边距和环要



精冲难度等级 S_1 简单, S_2 中等, S_3 复杂 先决条件: 材料 $\tau_s \leq 420 \text{ N/mm}^2$, 模具材料: 高速钢 $a_{\min} = 0.6 \text{ s}$ $b_{\min} = 0.6 \text{ s}$ $l_{\max} \approx 15 a$ $lR = 0.6AR$ $ir = 0.6AR$ $ir = AR$ $ar = AR$

简单。同样带有较大半径的钝角比带有小半径的尖角要容易精冲。如果注意一下不同出版物上发表的精冲件就会发现, 大部分的零件板厚只到 8 mm。

较厚的精冲件是很少的, 即使有也只局限于简单的剪切线几何形状和特别易成形的零件材料。

§ 3-2 材料质量

一般情况下, 低碳含量和低合金含量的软钢 最适于精

冲。

正如 Johnston 以及 Maeda 和 Nakagawa^[27, 28]的试验所表明：在用脱氧的低碳热轧钢带制成的（约 3 mm 厚）相对薄的零件上精冲的可能性随含碳量的增加而降低。

Krämer^[20]证实了这一结果并象 Radtke^[29]提出的那样，除含碳量和强度外，组织状态也影响精冲质量。虽然具有较高含碳量和合金量的钢也可用来精冲，但通常要进行相应的中间退火等热处理^[15, 24-26]。成形的渗碳体的数量越多，精冲的可能性就越好。用对强度和结构部分状态有较高要求的材料制成的精冲件，在一般情况下，在中间退火和精冲后当然必须进行淬火或调质，以满足其特殊要求。

在选择钢时，其强度提高是以混合晶体硬化为基础的，要选择高强度的细晶粒结构钢，它的强度到 $R_m = 850 \text{ N/mm}^2$ 时还可以精冲^[15, 26, 30, 31]。它通过粒度极限硬化和时效硬化保持了它的高强度，从而使珠光体减少，直到没有。

影响精冲的因素不仅仅是材料的强度，珠光体在金相组织中的分布造成了精冲困难，还由于珠光体的层状结构更造成了冷成型的不利。

§ 3-3 冲 裁 间 隙

精冲时的冲裁间隙小于普通冲裁间隙，冲裁间隙的大小对于工作结果有着很大的影响。Jhonston, Fogg 和 Chisholm^[27]，Maeda 和 Nakagawa^[28]，以及 Krämer^[18-22]都指出，用小的冲裁间隙可以增加冲裁面的光洁冲裁的范围，冲裁间隙的大小在试验时只计为百分之几毫米。Krämer^[19]用厚度为 2.5 mm 和 5 mm 的钢板精冲，当冲裁间隙接近于 0 或到 $u = 45 \mu\text{m}$ 在这一范围时，并相应提高压边力，从而得