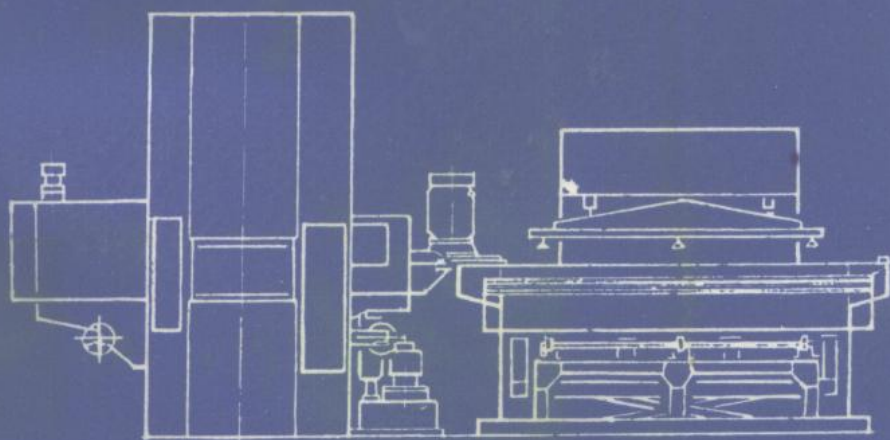


精冲技术

涂光祺 编著



机械工业出版社

精 冲 技 术

涂光祺 编著



机 械 工 业 出 版 社

内 容 简 介

本书包括精冲基础、精冲工艺、精冲材料及工艺润滑、精冲模具和精冲设备五个部分共十六章。精冲基础部分(第一、二章),介绍了精冲的变形机理和影响精冲过程塑性变形的基本因素。精冲工艺(第三、四、五、六、七、八章),介绍了精冲件的结构工艺性,精冲复合工艺,精冲工艺力能参数,精冲零件设计和工艺设计,精冲件质量分析及精冲工艺的技术经济效果。精冲材料及工艺润滑(第九、十章),介绍了适于精冲的材料,球化工艺,精冲的摩擦、磨损、润滑机理和润滑剂。精冲模具(第十一、十二、十三、十四章),介绍了精冲模具设计、制造,模芯的锻造和热处理以及精冲模具系列和典型结构。精冲设备(第十五、十六章),介绍了精冲压力机各种典型结构、行程曲线、导轨结构、获得专利的台阶式内阻尼静压导轨的计算和设计以及精冲压力机的自动化装置。

本书系统总结了国内外精冲技术的新成就和作者本人的科研成果,对推广精冲工艺和促进精冲技术的进一步发展都具有较大的意义。

本书可供工厂、科研单位的技术人员和大专院校的师生阅读和参考,也可作为专业培训的教材。

涂光祺 编著

责任编辑:刘彩装 版式设计:冉晓华
封面设计:郭景云 责任校对:陈立耘
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 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ · 印张 $10 \frac{1}{2}$ · 字数 276 千字

1990年4月北京第一版·1990年4月北京第一次印刷

印数 0,001—2,420·定价:10.60元

ISBN 7-111-01657-2/TG·427

序 言

精密冲裁是一种新型的金属压力加工方法，可以取代扁平类零件的机械加工，具有优质、高效、低耗的特点，技术经济效果十分显著，深受各个工业部门的重视。使更多的人掌握精冲，在我国迅速推广此项技术，为四化建设服务，是作者长期以来的愿望，也是撰写本书的目的。

机械电子工业部北京机电研究所近二十年来投入了大量技术力量，在精冲基础理论，精冲工艺、模具设计和制造，精冲模具强韧化，材料软化处理，精冲工艺润滑剂和精冲压力机等方面进行了全面系统的研究，并取得了一系列研究成果。作者有幸负责和参与了以上各项工作，长期以来在上述领域积累了大量的实验数据、研究报告、工艺标准、产品图纸、模具图纸、计算书、论文等技术资料，为撰写本书提供了丰富的原始资料。

在编写指导思想，注意了以下诸方面：

1. 在本书的内容和观点上保持自己的特色。从精冲工艺基础理论，精冲工艺、模具、材料软化、工艺润滑到精冲设备等全书各个章节，都以自己的和我所同事们的研究成果资料为主导，力求以我为主，同时注意吸取国内外精冲技术的新成就。

2. 强调了精冲工艺基础理论的重要性。以往的精冲图书资料只涉及具体的技术内容，许多问题只知其然不知其所以然。作者以为只有充分理解了的事物才能更好的掌握它、发展它。为此，本书首次用较大的篇幅（包括第一、二章）系统的介绍了精冲过程中金属塑性变形的规律，影响精冲过程塑性变形的基本因素以及精冲过程的变形模式，便于读者掌握精冲的变形机理，理解精冲过程出现的各种现象，为正确的设计精冲零件、制定精冲工艺，设计精冲模具创造条件。

3. 重视精冲技术的新发展。精冲复合工艺近几年有了较大的发展,为了引起读者重视,专辟一章进行介绍,重点介绍了最具特色的精冲半冲孔工艺,包括作者定义的半冲孔系数和通过大量试验制定的半冲孔极限变形程度规范以及压扁精冲等规范。

4. 重视精冲工艺过程的摩擦磨损和润滑,专辟一章进行介绍。除了系统的介绍精冲工艺润滑技术,基于上述第二条的理由,还重点阐明了根据作者大量试验和生产实践而提出的精冲润滑机理。

5. 结合国情,有的放矢,有利于精冲技术的推广。鉴于目前我国拥有精冲压力机的厂家甚少,本书系统介绍了可在通用压力机上实现精冲的液压模架系列。另外,精冲模具冲切零件的崩刃现象是目前影响精冲技术推广的重要因素,本书以较大的篇幅介绍了在我国行之有效的精冲模具强韧化技术。本书还介绍了精冲模具粘结技术,有利于克服精冲模具的制造难关和降低其造价。

6. 重视全书内容的系统和完整,它包括涉及精冲技术的各个方面,并力求做到科学性和实用性,凡是不成熟的材料,或未经生产验证的均不采用。本书引用了作者起草的两项部颁精冲工艺标准,使内容更规范。

我所周爱光高级工程师参加了本书第九章和第十二章的编写。

本书经姜奎华教授审校,在此表示感谢。

由于作者水平有限,加之时间仓促,谬误之处在所难免,敬希读者批评指正。

作 者

1988年于北京

目 录

概述	1
第一章 板材精冲的基本规律	5
第一节 金属的塑性变形	5
第二节 加工硬化	6
第三节 影响精冲过程塑性变形的基本因素	7
第四节 应力状态	10
第五节 塑性条件	12
第六节 体积不变条件	13
第二章 精冲变形模式及应力分析	15
第一节 精冲工艺过程特征	15
第二节 精冲变形模式	19
第三节 精冲变形区的应力分析	20
第三章 精冲工艺的技术经济效果	25
第一节 尺寸公差	25
第二节 剪切面质量	26
第三节 剪切面垂直度	28
第四节 平面度	29
第五节 塌角和毛刺	31
第六节 经济效果	31
第四章 精冲件结构的工艺性	35
第一节 圆角半径	37
第二节 槽宽和悬臂	38
第三节 环宽	39
第四节 孔径和孔边距	39
第五节 齿轮模数	40
第六节 半冲孔相对深度	40
第五章 精冲复合工艺	41
第一节 带凸台精冲件的分类	41
第二节 半冲孔	42

第三节	精冲挤压	47
第四节	体积成形	49
第五节	压印	49
第六节	压扁	51
第七节	弯曲	54
第八节	压沉孔	58
第九节	翻孔、起伏、浅拉深	59
第六章	精冲工艺的力能参数	61
第一节	精冲工艺力的计算	61
第二节	精冲工艺功的计算	65
第三节	精冲工艺力能参数的测试	66
第七章	精冲零件设计和工艺过程设计	67
第一节	精冲零件设计	67
第二节	精冲工艺过程设计	71
第八章	精冲零件质量分析	73
第一节	尺寸公差分析	73
第二节	剪切面质量分析	75
第三节	剪切面垂直度分析	83
第四节	平面度分析	83
第五节	塌角与毛刺分析	84
第六节	精冲件缺陷原因及消除方法	86
第九章	精冲材料	89
第一节	精冲对材料的基本要求	89
第二节	适于精冲的材料	94
第三节	常用精冲材料的球化退火工艺	96
第十章	精冲工艺润滑	104
第一节	精冲工艺过程的摩擦	104
第二节	精冲过程模具的磨损	105
第三节	精冲工艺过程的润滑	106
第四节	精冲工艺润滑剂	108
第十一章	精冲模具设计	114
第一节	精冲模具结构	114

第二节	压力中心的计算	119
第三节	排样与搭边	122
第四节	V形环尺寸	123
第五节	间隙	125
第六节	凸模和凹模尺寸	126
第七节	模芯结构	129
第八节	典型结构	146
第十二章	精冲模具材料锻造和热处理	158
第一节	精冲模具材料	158
第二节	碳素工具钢的锻造和热处理	160
第三节	低合金工具钢的锻造和热处理	164
第四节	高铬工具钢的锻造和热处理	172
第五节	高速钢的锻造和热处理	189
第十三章	精冲模具制造	200
第一节	冲切零件加工	200
第二节	模架鑽孔	206
第三节	精冲模具粘接工艺	206
第十四章	精冲模具系列	210
第十五章	精冲压力机结构	285
第一节	概述	285
第二节	机械式精冲压力机	290
第三节	液压式精冲压力机	294
第四节	精冲压力机内阻尼静压导轨结构	300
第十六章	精冲压力机自动化	310
第一节	概述	310
第二节	模具保护装置	310
第三节	自动上下料装置	314
第四节	原材料自动上料装置	319
第五节	精冲压力机规格	319

概 述

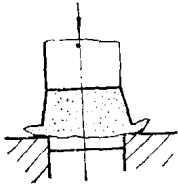
强力压边精密冲裁简称精密冲裁或精冲，是一种塑性加工少无切削工艺。它是在普通冲裁工艺的基础上为克服其表面粗糙度粗、精度低而发展起来的。

冲裁和其他冲压工序一样具有生产率高，材料利用率高，能量消耗少，生产成本低、产品重量轻、强度和刚度好、容易实现自动化生产等优点，因而被各生产部门广泛采用。但是用一般冲裁生产的工件，表面粗糙度粗、精度低，往往不能满足零件较高的技术要求而需要许多道后续的机械加工工序。长期以来人们在生产实践中力图寻求既能保留冲裁工艺的上述优点，又能获得较细的表面粗糙度和尺寸精度高的冲裁方法。

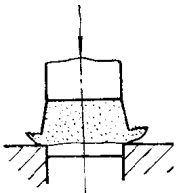
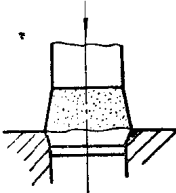
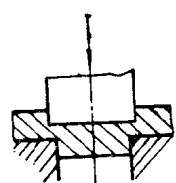
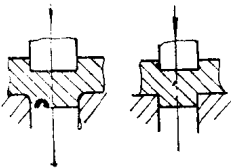
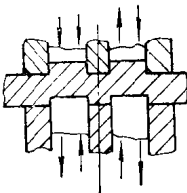
经过长期的摸索、反复试验和生产考验，到目前为止，已出现许多冲压方法可满足冲裁件降低粗糙度和提高精度的要求。

1. 提高冲裁件质量的冲压工艺分类，示于下表：

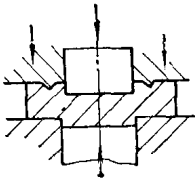
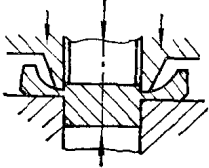
提高冲裁件质量的冲压工艺分类

类别	工艺名称	简 图	方法要领	主要优缺点
精 整	修 边		切除不光洁表面 按料厚和形状定修 边余量和次数，小 间隙0.006~0.01 mm或负间隙	精度和光洁度 高，塌角和毛刺 小，定位要求高， 不易除屑，效率低 于精冲

(续)

类别	工艺名称	简图	方法要领	主要优缺点
精整	振动修边		修边过程中加入振动因素	质量高于修边, 除修边缺点外, 尚有振动的危害
	挤光		锥形凹模, 挤光余量单边 $0.04 \sim 0.06 \text{ mm}$	质量低于修边和精冲只适于软料, 效率低于精冲
半精冲	负间隙冲裁		凸模大于凹模 $(0.05 \sim 0.2) t$, 凹模圆角 $(0.05 \sim 0.1) t$	粗糙度较细, 只适于软料, 塌角毛刺较大
	小间隙圆角刃口冲裁		间隙小于 0.02 mm , 落料: 凹模刃口圆角 $0.1 t$, 冲孔: 凸模刃口圆角 $0.1 t$	粗糙度较细, 塌角毛刺较大
	往复冲裁		第一步冲裁深 $0.25 t$, 第二步反方向冲下工件	剪切面上仍有断裂区, 运动复杂

(续)

类别	工艺名称	简 图	方法要领	主要优缺点
精 冲	强 力 压 边 精 冲		小间隙 $0.01t$ ， 在压边圈和反压板 夹持下冲裁	精度和光洁度 高，塌角和毛刺较 小，效率高，模具 和机床复杂
	对 向 凹 模 精 冲		凸起凹模压入 ($0.7\sim 0.8$) t 再 进行冲裁	精度和光洁度 高，塌角和毛刺 小，可冲厚料和塑 性差的材料，模具 和机床复杂

2. 精冲[⊖]技术的历史、现状和发展

在50年代上述大部分工艺基本处于平行发展的阶段，但在60年代特别是70年代以后强力压边精密冲裁（以下简称精冲）由于具有显著优于其他工艺的技术经济效益而被广泛采用，在生产中逐渐占有主导地位，成为目前提高冲裁件质量最主要的方法。

早在1923年德国的 Schiess 就发明了这种冲裁方法并获得了专利，经过不断改进特别是模具制造技术的进步，精冲工艺到50年代在西欧才进入实用阶段，精冲设备进入研制阶段，1952年瑞士开始研制肘杆式精冲压力机，1956年开始研制全液压精冲压力机，60年代初期西欧在仪器仪表办公机械等部门已广泛采用精冲工艺。到1965年西欧已有十多个公司生产精冲压力机，主要集中在瑞士和西德，在此期间日本通过技术引进和瑞士厂商合作试制精冲压力机并推广精冲工艺。到70年代精冲技术在西欧、日本、北美已从仪器、仪表办公机械等部门扩展到汽车、拖拉机、农机、运输机械、起重机械、纺织机械、轻工机械、军械、航空器等制

[⊖] 此处介绍的只包括强力压边精冲。

造部门。1975年以后精冲技术进入了大型精冲压力机和大型精冲件的普及期，在汽车制造业中精冲技术的发展很快，一辆小轿车上就采用70多种精冲件，已成为汽车制造业降低成本增加产量的重要技术措施之一。

近几年来精冲技术发展迅速，其特点是：

1. 精冲复合工艺有了很大发展，所谓精冲复合工艺是指精冲和其他冲压工艺的复合，如精冲压印；精冲弯曲；精冲挤压；精冲浅拉深；精冲压沉头；精冲半冲孔以及压扁不等厚精冲等工艺。目前采用精冲复合工艺生产的零件约占全部精冲件的20%左右。

2. 精冲件的尺寸范围继续扩大，向大厚度发展，最厚的精冲件达25 mm。

3. 多工位连续精冲工艺有了很大的发展，用以实现精冲复合工艺或解决精冲模具强度等问题。

4. 精冲的材料日益广泛，除了许多常用材料，供料时均已球化处理专供精冲以外，还出现了适于精冲的高强度微量合金细晶粒钢，它适于厚度6~8 mm，强度要求在650~850 N/mm²之间零件的精冲，冲切表面光滑无撕裂，加工硬化效应使冲切表层硬度达HRC40，可以免除后续的热处理工序，新材料的出现突破了一般材料 σ_s 超过650 N/mm²以后难以精冲的界限，使高强度厚板零件实现精冲成为可能，从而扩大了精冲的使用范围。

5. 实现铸、锻、铆、焊件的精冲化，它是上述各项技术综合发展的集中体现，成为取代切削加工的一种重要工艺路线，许多铸锻毛坯切削加工零件，切削加工后用铆、焊组装的零件都可用厚板精冲复合工艺来加工。

6. 精冲压力机采用了微机控制实现了单机自动化。

7. 发展新型滑动导轨结构用来提高精冲压力机的导向刚度，使压力机在多工位连续精冲时具有承受偏心载荷的能力。机械委北京机电研究所和内江锻压机床厂合作最近研制的用于精冲压力机的台阶式静压导轨结构具有独创性，已获得我国专利，新型导轨的导向刚度等性能优于国外的同类产品。

第一章 板材精冲的基本规律

精冲的对象是各种金属板材。实践表明精冲过程是金属板材塑性变形的过程，它既反映了板材塑性变形的共同规律，又体现了该工艺的变形特征。

第一节 金属的塑性变形

金属在外力作用下会产生尺寸或形状的改变，这种改变称为变形。外力消除以后能恢复的变形称为弹性变形，不能恢复的称为塑性变形。弹性变形是原子间距离发生变化的结果，塑性变形是弹性变形继续增加当外加剪应力达临界值时，晶格一部分相对另一部分产生较大的错动，错动通常采取滑移和孪动两种形式。错动以后的晶格原子就在新的位置与附近的原子组成新的平衡。此时若去掉外力，原子间的距离虽然可以恢复到原状，但错动了的晶格却不可能回到原始的位置，从而产生了塑性变形。

从拉伸试样的应力-应变图（图1-1）可以看出金属从弹性变形过渡到塑性变形最后断裂的发展过程。屈服点（应力 σ_s ）是从弹性变形过渡到塑性变形的转折点，产生细颈时（应力 σ_n ）是从均匀塑性变形过渡到不均匀塑性变形的转折点。断裂时（应力 σ_f ）是从塑性变形过渡到破坏的转折点，也就是塑性变形的终止点，此时变形达到极限应变 ϵ_{max} 。

和金属板材的许多成形工艺一样，精冲工艺也是利用金属材

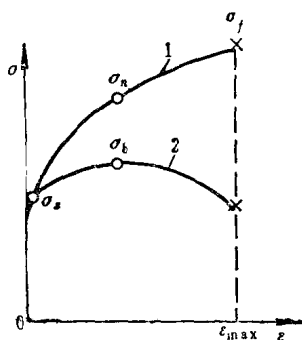


图1-1 金属拉伸应力-应变图
1—真实应力曲线 2—假象应力曲线

料塑性变形 ($\sigma_s \sim \sigma_f$ 阶段) 来实现的。

第二节 加工硬化

金属在室温下经过塑性变形后强度指标 (屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b) 增加, 塑性指标 (延伸率 δ 和断面收缩率 ψ) 降低, 这种现象称为加工硬化。其数学表达式为 $\frac{d\sigma}{d\varepsilon} > 0$, 加工硬化曲线就是应力—应变曲线如图 1-1 所示, 分为假象和真实两类。

材料的真实应力曲线和指数曲线接近, 一般用它来表示硬化曲线,

$$\sigma = c\varepsilon^n$$

式中 c ——塑性系数, 或称强度系数, 热变形时 $n = 0$, $\sigma = c$;

n ——硬化指数或称 n 值。

材料的加工硬化特性可以用硬化指数 n 来衡量, n 大表示硬化强度高, 材料的变形抗力随变形进展而迅速增大, 对后续变形工序不太有利, 但此时不易出现局部变形, 变形均匀性好。

常用材料的 n 和 c 值见表 1-1

表1-1 各种材料的 n 和 c 值

材 料	n	c (N/mm ²)
低碳钢	0.19~0.22	710~750
60/40黄铜	0.46	990
65/35黄铜	0.39~0.44	760~820
磷青铜	0.22	1100
磷青铜 (低温退火)	0.52	890
银	0.31	470
紫铜	0.27~0.34	420~460
硬铝	0.12~0.13	320~380
铝	0.25~0.27	160~210
不锈钢	0.5	—

注: 本表适用于室温, 低速塑性加工, 材料为退火状态。

第三节 影响精冲过程塑性变形的基本因素

金属的塑性是指金属在塑性变形过程中能保持连续而不破坏的性能。精冲是分离工序，从形式上看是工件和条料的分离，而实际上精冲过程要求工件和条料在分离以前必须保持为连续的整体，因此精冲过程实质上是材料塑性变形的过程。在给定的条件下能否实现精冲过程，不但和金属材料本身的成分和组织结构等有关，而且和精冲过程的工作条件有关。

影响精冲过程金属材料塑性的基本因素主要的有如下述。

一、金属的化学成分

试验表明，金属在单相状态时塑性较好，如纯金属或固溶体

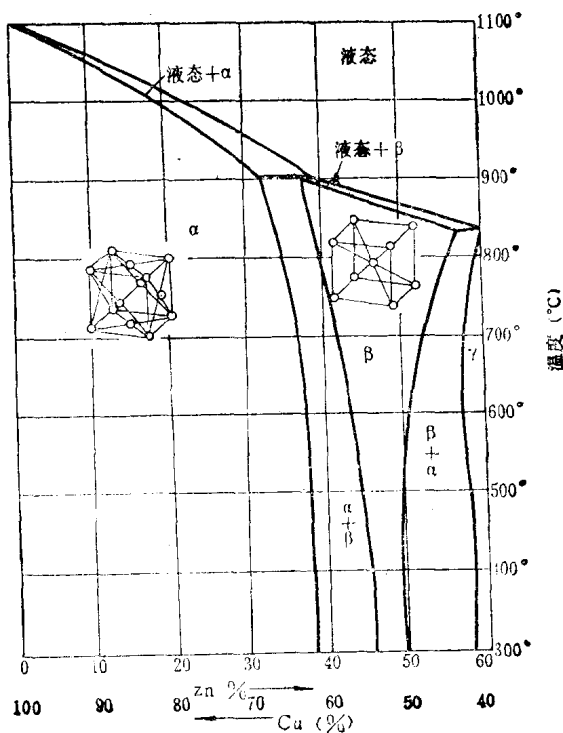


图1-2 铜锌状态图

的塑性都很好，而化合物的塑性低，如 Fe_3C 硬而脆。一般说来钢中的含碳量越高塑性越差。

合金钢中合金成份对于金属塑性的影响是多样性的，应根据合金成分和组成的相态来决定。

钢中含 P、S 等杂质超过一定量时塑性会降低。如非镇定软钢，即使其含碳量低，但由于 P、S 等杂质成分高塑性也差。组织中有块状偏析，偏析区中 C、P 及 S 含量剧增，经常产生脆性的片状晶粒组织，包括易引起冷脆的 Fe_3P_4 。它们将降低金属的塑性，使得精冲的剪切表面产生撕裂。

黄铜为铜锌合金。图 1-2 所示为铜锌合金的状态图。

从铜锌状态图可以看出，含铜量超过 62% 的黄铜为单一的面心立方组织 α 相，含铜量低于 62%（或锌含量超过 38%）的黄铜为 $\alpha + \beta$ 双相， β 为体心立方体。双向不均匀体塑性低，精冲性能差。

有时在黄铜中加入铅以改善切削性能，但含铅的黄铜塑性差，不适于精冲。

二、金属的组织结构

金属和合金组织的相态、晶粒大小，形状和分布等直接影响它们的塑性。在一般冷却速度下生产的含碳量低于 0.86% 的热轧钢板，其组织均为粗大片状的珠光体、索氏体及铁素体的混合物。含碳量增加，珠光体、索氏体按比例增加。精冲过程中，凸模剪切片状珠光体或索氏体组织时，往往会导至剪切表面产生撕裂。如图 1-3 a 所示。采用球化退火可使

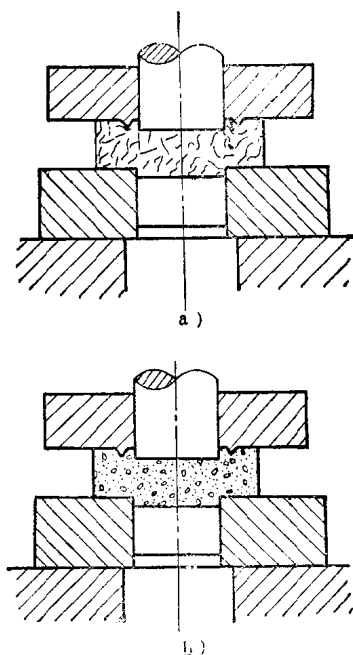


图1-3 金属组织结构对精冲过程塑性变形的影响

上述片状的珠光体或索氏体转变为细的球状珠光体，精冲过程中小而硬的球状渗碳体被压入软的铁素体基体中，从而避免了在剪切面产生撕裂，保证精冲过程中金属塑性变形连续的进行，如图1-3b所示。

三、应力状态

应力状态对金属的塑性有很大的影响，这可以从著名的卡曼大理石试验中得到证实。在一般条件下，大理石呈脆性，当有侧压时，大理石有塑性变形的能力，塑性变形随侧压的增加而增加。

一般说来，应力状态中拉应力作用越小，金属表现出的塑性越好。拉应力对金属塑性的危害，在一些试验中可以观察到，金属塑性变形时，在滑移痕迹上产生了与最大拉应力成垂直，而与滑移痕迹取向无关的显微裂纹，因此材料破坏过程，很可能是在拉应力作用下，由滑移时产生的显微裂纹而逐渐扩展形成微裂纹，再进一步扩大为宏观大裂纹。

三向不均匀受压的应力状态能提高金属的塑性。这是由于这种应力状态阻碍了晶间变形（减少了晶间破坏的可能性），而转为晶内变形，减少了晶界杂质对塑性的危害，更重要的是此时拉应力被极大的抑制，从而防止了裂纹的产生和扩展。

精冲在室温和一般冲裁速度下进行，除了材质本身的因素以外，它主要依靠在变形区建立三向不均匀受压的应力状态提高塑性来实现精冲过程。因此在实际制定精冲工艺和设计精冲模具时，如何创造条件使得精冲变形区的材料处于三向不均匀受压的应力状态，避免出现拉应力，就成了是否能够实现精冲的技术关键。在精冲生产实践中，采取诸如齿形压边圈施以足够的压边力，凸、凹模间隙小，刃口小圆角，反压板施加反压力等等，所有这些技术措施，都是为了有利于抑制拉应力的产生和建立三向不均匀的受压应力状态，使精冲过程在静水压应力状态下通过纯剪切来实现。

由于精冲在室温下进行，并且精冲压力机的冲裁速度比较低，