

提高模具寿命经验汇编

上海材料研究所、上海机械制造工艺研究所、
第一机械工业部机械院机电研究所、第一机械工业部情报所

机械工业出版社

提高模具寿命经验汇编

上海材料研究所编
上海机械制造工艺研究所编
第一机械工业部机械院机电研究所编
第一机械工业部情报所编



机械工业出版社

本汇编着重介绍了有关提高模具寿命方面的经验。有高速锤用的模具、有冷挤压用的模具以及黑色金属压铸等方面用的模具。同时还介绍了模具的制造和模具材料的选用以及防止模具在使用中发生开裂问题等等。

可供从事压力加工工作的工人、技术人员和高等院校师生等。

提高模具寿命经验汇编

(只限国内发行)

上海材料研究所编
上海机械制造工艺研究所编
第一机械工业部机械院机电研究所编
第一机械工业部情报所编

*

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)

北京印刷二厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $787 \times 1092 \frac{1}{16}$ ·印张 $10 \frac{1}{2}$
1974年4月北京第一版·1974年4月北京第一次印刷
印数 00,001—20,800·定价 1.10 元

*

统一书号: 15033·(内) 592

前 言

在国内外一片大好形势鼓舞下，在毛主席无产阶级革命路线指引下，近年来，由于我国机械工业战线上各级领导的重视以及广大工人和工程技术人员共同努力，少无切削新工艺、新技术有了较大的发展，并在生产上开始广泛应用，取得了较好的效果。模具寿命低，不够稳定可靠，是目前比较突出的重要问题。而模具问题是巩固、提高和进一步推广少无切削新工艺的关键。

鉴于上述情况，在上海市科技组和机电一局的支持下，经上海材料研究所、上海机械制造工艺研究所、上海市科技交流站和一机部机械院机电研究所共同筹备，于一九七三年一月份在上海召开了提高压力加工模具寿命经验交流会。会上主要总结交流了高速锻、冷挤压、黑色压铸工艺、提高模具寿命方面的经验。通过交流，大家都认识到提高模具寿命是一个综合性问题。除了要努力研究和正确选用模具材料外，还与模具结构的设计、模具的制造、模具的热处理、模具使用时的润滑条件和冷却方式以及锻压设备性能和坯料情况等一系列因素密切相关。

遵照伟大领袖毛主席关于“互通情报”的指示，根据大会代表们的要求和工厂生产的需要，为了及时交流推广新工艺、新技术、新材料，相互学习、共同提高，我们将会议资料选择一部分，编印了这本《提高模具寿命经验汇编》，供参考。

由于我们编写水平所限，错误在所难免，诚请读者批评指正。

在编写中，上海交通大学、华中工学院、北京工学院等单位给了我们很大帮助，特此表示感谢。

编 者

一九七三年七月

目 录

对提高冷挤压模具寿命的几点意见	上海科学技术交流站、上海交通大学 (1)
用高速钢制造冷挤压凸模的小结	上海缝纫机零件五厂、上海交通大学附属工厂 (23)
冷挤压活塞销用模具材料与寿命	天津第六内燃机配件厂、一机部机械研究院机电研究所 (29)
黑色金属冷挤压模具用钢的研究	大冶钢厂、冶金部钢铁研究院、江陵机器厂、益民机械厂 (40)
高耐磨冷模具钢120Cr4W2MoV 的试验小结	华中工学院金相热处理教研组工模钢科研小组 (54)
高速锤模锻环形件模具设计和模具寿命	国营昆仑机械厂 (65)
高速锻模具钢研究情况简介	上海材料研究所、上海机械制造工艺研究所 (87)
高速锤精密锻造齿轮用无铬模具钢4SiMnW3Mo2VN 的研究	北京齿轮厂、北京钢厂、一机部机械研究院机电研究所 (98)
从改进设备入手提高高速锤模具寿命的途径	北京工业学院 (114)
关于高速锻工艺及模具寿命的几个问题	一机部机械研究院机电研究所 (128)
高速锤模具材料应用的初步认识	上海汽车电机厂 (135)
钨钼合金模具材料的制造及压铸工艺	四平东风农业机械厂、冶金工业部钢铁研究院 (141)
肋骨剪的黑色压铸工艺	上海手术器械七厂、上海钢铁研究院、上海机械制造工艺研究所 (157)

对提高冷挤压模具寿命的几点意见

上海科学技术交流站

上海交通大学

冷挤压是无切削、少切削零件加工工艺之一，它在我国各个工业部门中已得到广泛地应用和迅速地发展。

为了发挥冷挤压新工艺的优越性，必须保证模具有足够高的寿命。在生产中影响冷挤压模具寿命的因素是很多的，现就这个问题谈谈我们的看法。

一、冷挤压工艺的制订对模具寿命的影响

(一) 变形程度对冷挤压模具寿命的影响

要更快地生产零件，就应当用最少的冷挤压工序进行生产，就应当在每一次冷挤压工序中采用尽可能大的变形程度。但是，我们知道变形程度越大，单位挤压力也就越大。如果所挤压零件的变形程度使单位挤压力超过了目前模具钢所能承受的单位压力（目前模具钢所能承受的单位挤压力为250~300公斤/毫米²，在一般情况下许用的单位挤压力可取250公斤/毫米²），模具钢就很容易磨损或损坏。如果变形程度取得过大，模具寿命就很短，甚至引起破坏。图1的凸模是在反挤压15号钢时取用了不适当的过大变形程度（ $\epsilon_F = 86.2\%$ ），由于单位压力过大而引起破裂。

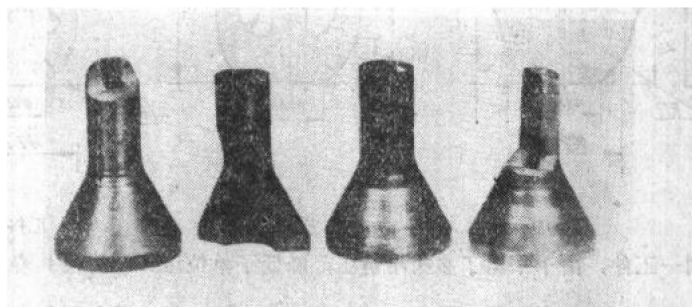


图1 黑色金属冷挤压时，由于一次工序的变形程度太大所引起的凸模碎裂

在变形程度太大引起模具损坏的情况下，就应当把一次冷挤压工序分成两次甚至三次工序进行多次的变形。同样一个零件，采用了图2的一次反挤压变形（变形量 $\epsilon_F = 86.2\%$ ）就会引起模具的破裂；而当采用了图3的多次冷挤压变形（第一次反挤压变形程度50.5%，第二次正挤压变形程度83.6%），使单位挤压力降低，从而使模具寿命得到了显著的提高。

从以上的讨论可以得知：在制订冷挤压工艺中，变形程度的合理确定，对模具寿命有很

注 断面缩减率 $\epsilon_F = \frac{F_0 - F_1}{F_0} \times 100\%$

其中 F_0 ——变形前毛坯的横截面积；
 F_1 ——变形后工作的横截面积。

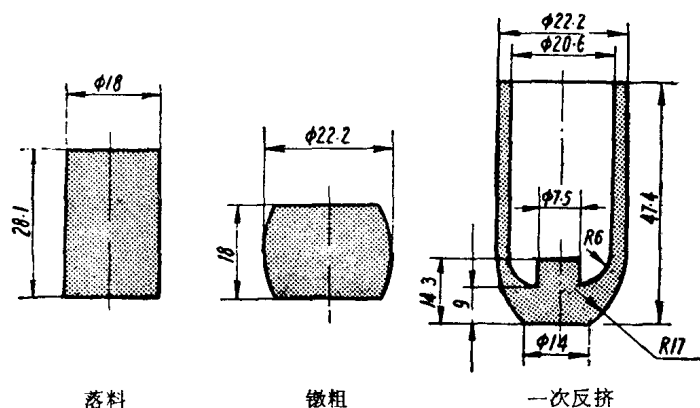


图2 用实心钢坯直接一次反挤压的工艺方案（由于变形量太大导致模具损坏——生产上不能采用）

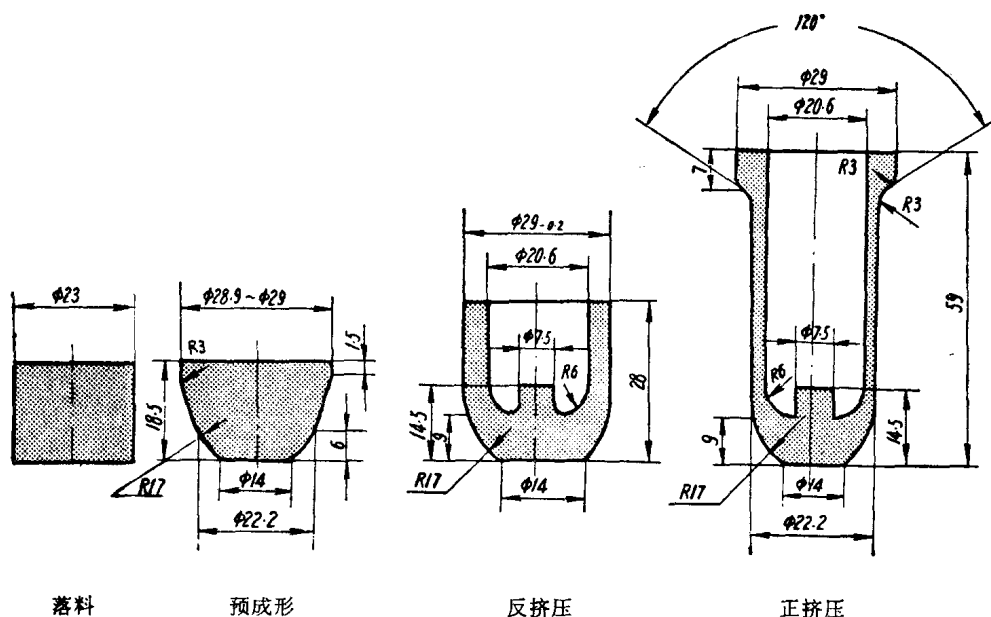


图3 同一工件，由于采用了多次冷挤压，降低了单位压力，使模具寿命显著提高。

大的影响。对于目前常用的 W6Mo5Cr4V2、W18Cr4V、Cr12MoV 等模具钢和一定几何形状的模具，各种冷挤压变形方式的许用变形程度，便决定于所挤压钢材的硬度与含炭量（对炭素钢来说）。图4、5、6是我们根据模具许用单位承压力为250—300公斤/毫米²的条件按照理论分析方法得出的许用变形程度数值。

图中斜线以下的区域是许用的区域，斜线以上的区域是待发展区域，斜线本身的宽度是一个过渡区域。过渡区域的上端适用于模具钢质量较好，润滑条件良好的条件；过渡区域的下端适用于模具钢质量一般，润滑条件一般。这三个图表是综合国内、外冷挤压生产斗争和科学实验的情况，进行理论分析所得出的。在斜线以下的许用变形量区可以使模具寿命保持在一万次以上。

应当指出，图4、5、6三个图表是根据模具的许用单位挤压力的概念分析得出的，模具使用1万、5万乃至10万次以上，就会出现一种新的破坏型式——疲劳破坏。在冷挤压过程中，凹模及凸模是处于反复交变载荷的状态下。用通俗的譬喻来说，模具处于一种“弹性呼

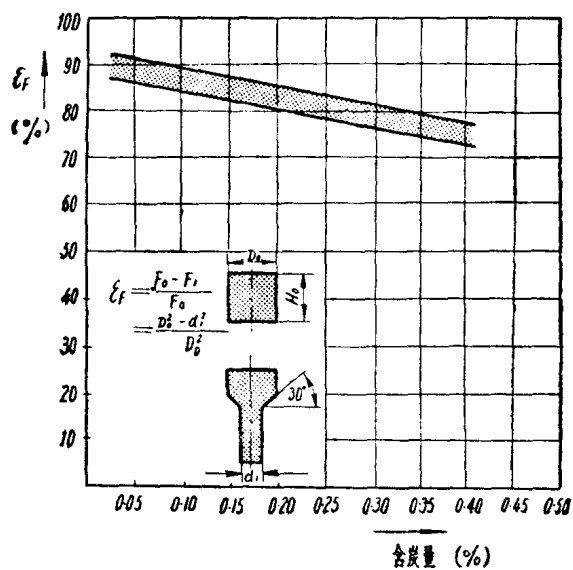


图4 正挤压实心黑色金属工件的许用变形程度
($H_0/D_0=0.7\sim1.0$, 磷化+润滑, 毛坯退火) 附: 退火后钢材的参考硬度

钢 号	相 应 硬 度 HB
纯 铁	70~80
10 号 钢	95~110
20 号 钢	110~125
30 号 钢	120~135
45 号 钢	130~145

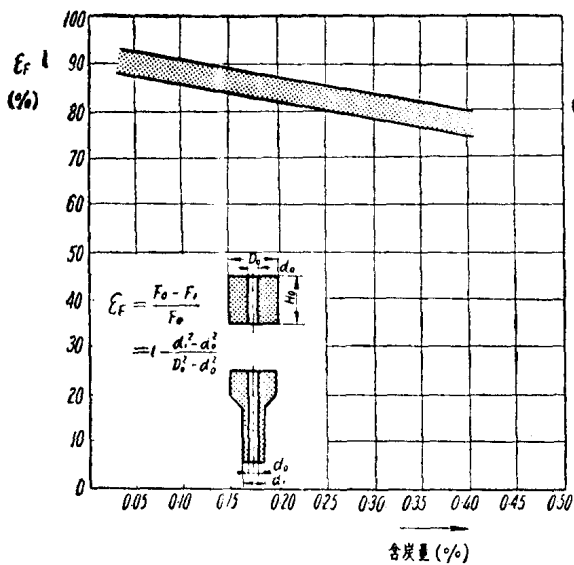


图5 正挤压空心黑色金属工件的许用变形程度
($H_0/D_0=0.7\sim1.0$, 磷化+润滑, 毛坯退火)

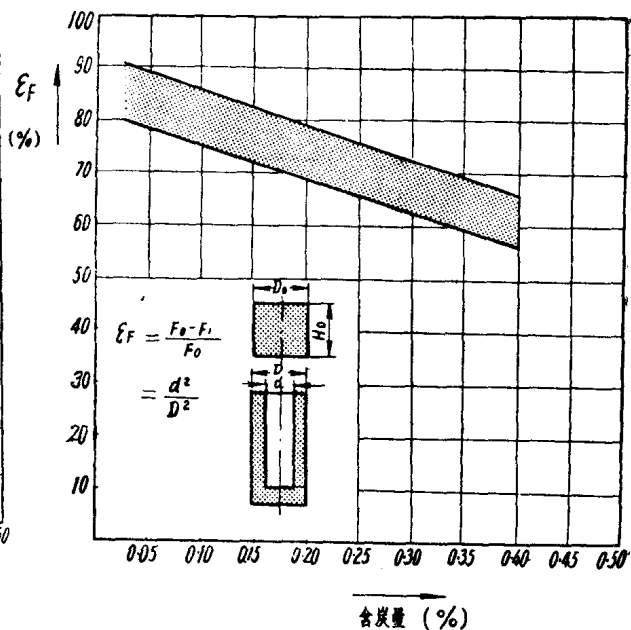


图6 反挤压黑色金属杯形工件的许用变形程度
($H_0/D_0=0.7\sim1.0$, 磷化+润滑, 毛坯退火)

吸”之中（图7）。在一定的单位挤压力之下，模具经过一定的“弹性呼吸”之后，便会产生疲劳以致发生横穿开裂。

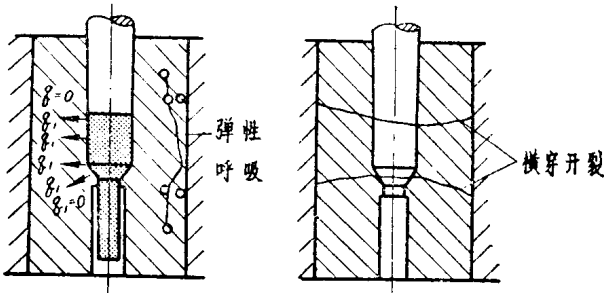


图7 模具的“弹性呼吸”与横穿开裂

考虑到模具的疲劳破坏，如果要使模具达到10万次乃至30万次以上的寿命，就不能再使用图4、5、6这样高的许用变形程度——应当把许用变形程度降低。图8曲线是由生产1000万件零件（用相似的模具）的经验所绘成的，曲线（1）以下很少发生疲劳破坏，只会发生磨损。曲线（1）相应于平均寿命30万次（用硬质合金凹模30万次时发生疲劳破坏），曲线（2）相应于模具寿命10万次（用硬质合金凹模），曲线（3）则相应于模具寿命1万次（用工具钢凹模）。将图8的曲线（3）与图4的斜线相比较，可以知道图8的曲线（3）刚好座落在图4的斜线宽度之中。曲线（3）以上的区域是过载破坏区。

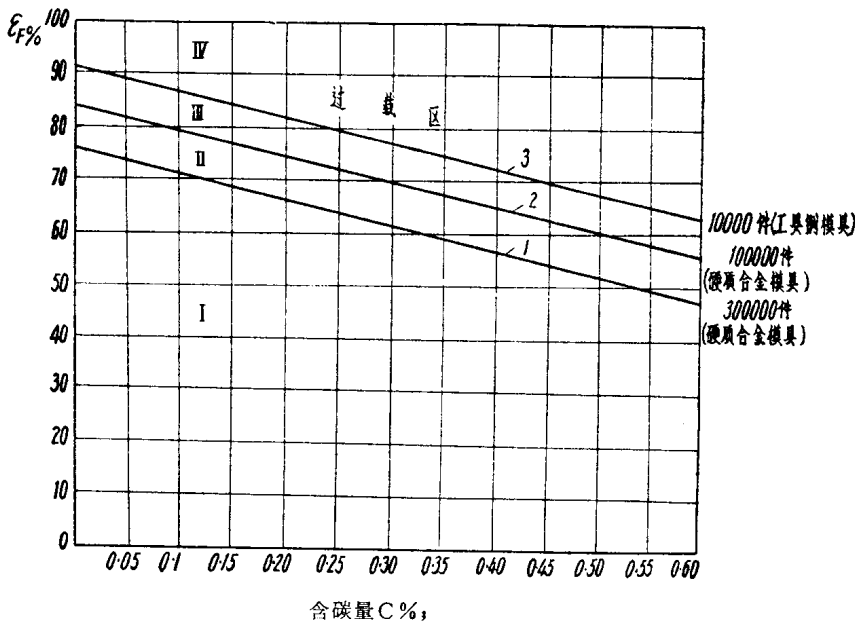


图8 考虑模具疲劳损坏条件的正挤压黑色金属许用变形程度

以上讨论的是碳素钢冷挤压时变形程度对模具寿命的影响。
 在有色金属挤压时，就可以允许比较大的变形程度，如：
 纯铝反挤压 $\epsilon_{F许用} = 95\%$ （南京无线电厂）
 紫铜反挤压 $\epsilon_{F许用} = 90\%$ （哈尔滨某厂）

(二) 挤压材料的选择对冷挤压模具寿命的影响

用于冷挤压的金属材料最好能具备以下的性质：

1. 屈服极限 σ_s 以及变形抗力应尽可能低，这样可以使冷挤压时单位挤压力相应减小，从而提高模具的寿命。

2. 材料的冷作硬化敏感性越低越好。

以硬铝 LY12 (Д16) 来说，在冷挤压前经退火以后硬度为 HB60；以纯铝来说，冷挤压以前经退火后的硬度为 HB20。硬铝经淬火时效以后硬度可达 HB120。能否有一种新材料，挤压前退火后像纯铝一样软，在冷挤以后经热处理达到 LY12 同样的硬度呢？如果采用这种新的铝合金去进行冷挤压，一定可以提高模具的寿命。目前我国已经有些厂开始应用 160 变质铝合金。这种铝合金的成分是：

Mg	0.5~0.8%	Ti	0.02~0.04%
Si	0.6~1.1%	Fe	0.4%
Cu	0.1~0.34%	Zn	0.1%
Mn	0.1~0.25%	Al	其余

(注意含铜量应为 0.15~0.20%，如超过 0.20%，则会使退火后的硬度增加)

由此我们可以知道选用代用材料是降低挤压力，提高模具寿命的重要途径之一。

由于冷挤压以后材料产生加工硬化，因此可以利用低强度的材料经过冷挤压以后代替高强度的钢材使用。例如导杆零件(图 9)原来采用 30* 钢切削加工，现在采用冷挤压以后，材料改用 10* 钢已可满足零件要求。由于 10* 钢冷挤压时单位压力比 30* 钢低得多，因此可以达到提高模具寿命的目的。

钢材中的杂质含量对模具寿命以及挤压件质量都有很大的影响。如汽车球头销，原来冷挤压钢材的含磷量为 0.03%，生产情况正常。当钢材含磷量增加到 0.045% 以后，模具与零件都发生丝痕，对模具寿命产生不良的影响。因此，为了提高模具的寿命，应当对钢材的杂质给予控制。

根据上海地区一些工厂的生产经验，沸腾钢的冷挤压性能不及镇静钢，在生产中发现沸腾钢较硬，流动性能也不及镇静钢。为了提高模具寿命，对复杂零件的冷挤压，应当尽量采用镇静钢*。

(三) 挤压毛坯形状与尺寸对模具寿命的影响

黑色金属冷挤压所用毛坯，一般用剪切模截切得到。这个方法的优点是生产率高，废料少，但这种方法也存在一定的缺点，例如毛坯的端面比较粗糙，端面与中心轴不能保持垂直而带有一定的斜度。即便采用全封闭口的截切模，此一缺点仍然不能避免。如果用这样的毛坯直接进行反挤压，凸模就往往由于单面受力而弯折。因此毛坯在挤压前应当用墩平模将圆柱形毛坯的上下两个端面墩平。对于底部形状复杂的零件(例如图 3 的反挤压)，在墩平的

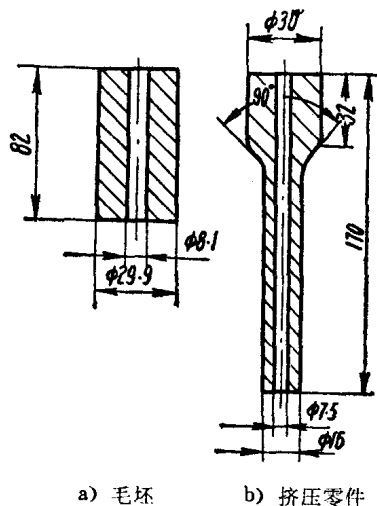


图 9 导杆挤压件

* 沸腾钢并不是不能用于冷挤压，仅是挤压性能较差而已。

同时将底部预先成形，使毛坯便于安放稳妥，避免凸模的弯折，有利于寿命的提高。

除去毛坯的形状之外，冷挤压毛坯的尺寸对模具寿命也有很大的影响。一般挤压时毛坯尺寸不宜太紧地放入凹模，毛坯直径应比凹模尺寸小0.15~0.20毫米，这样在挤压开始前，毛坯先发生镦粗（相应于一个缓冲阶段）而不致使挤压力急骤上升，这样就可以有效地防止凹模的碎裂。

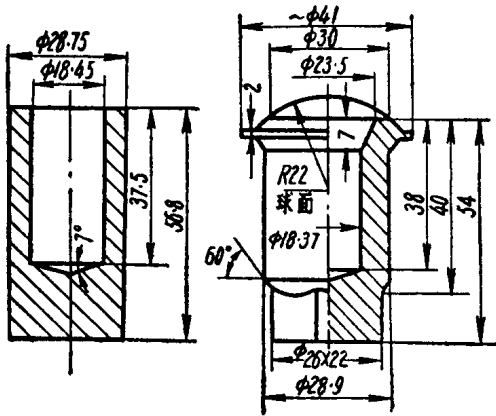


图10 轮胎螺帽的反挤压工序与镦压工序

在另一方面，毛坯放在凹模内亦不宜过松，特别在反挤压时，如果毛坯的直径太松，就不能保证反挤压凹模的同心度，从而使凸模在工作时弯折。一般毛坯放在凹模内的间隙在反挤压时不应大于0.20毫米（双向）。

在多道冷挤压工序中，前一道工序的尺寸精度对后道工序的模具寿命也有很大的影响，例如在挤压汽车轮胎螺帽中（图10），如果采用先反挤再镦压的工序，反挤时半成品的同心度对镦压工序凸模心轴的寿命就有很大的影响。一般规定反挤压后工件的不同心度应小于0.20毫米，否则，下一道挤压凸模心轴就极易折断。

（四）挤压工件的尺寸对模具寿命的影响

在镦挤变形过程中，挤压工件的飞边尺寸对模具寿命有很大的影响。上海地区挤压汽车球头销时原来飞边尺寸取1.5毫米，现在将飞边尺寸放大到2.0毫米以上，模具寿命大幅度增加。

在冷镦滚珠轴承钢 GCr15 的拖拉机零件（图11）时，原来模具寿命不高，在冲床上冷镦时，如果毛坯重量稍有出入即会造成模具损坏。后来在工件上端留出毛刺0.3毫米（单边），使模具受力情况大为改善（封闭式模具镦压力为60吨，留0.3毫米飞边后挤压力下降为40吨（图12），使模具寿命大为提高。

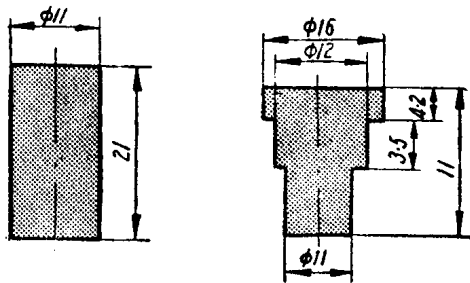


图11 滚珠轴承钢GCr15的冷镦

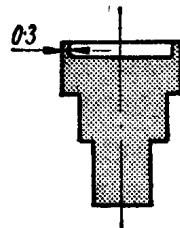


图12 上端留出0.3毫米的飞边可以使模具寿命大幅度提高

（五）高合金钢挤压时适当预热对模具寿命的影响——温热挤压

在高合金钢挤压时，如果变形量比较大，单位挤压力就比较大，模具寿命就较难提高。但如果采用热挤压工艺，就会产生很严重的氧化脱炭，零件的尺寸精度，表面光洁度都较差。为了弥补热挤压产品质量差的缺陷，又要免除冷挤压单位压力高的不足，在高合金钢的加工

方面，最近发展了一种新的挤压方法——温热挤压。这种方法可取冷挤压与热挤压之长（尺寸精度，表面光洁度较好，单位挤压力又不大），而避免其不足之处。我国成都与上海地区最近采用温热挤压的方法加工了 1Cr18Ni9Ti 不锈钢、2Cr13 不锈钢、18CrNiW 等材料。挤压温度有 260°C、650°C 与 800°C，都有满意的效果。对于高合金钢来说，采用适当的温度预热可以有效地提高模具寿命。

（六）润滑对冷挤压模具寿命的影响

合理的润滑可以降低挤压力，避免变形金属与模具的直接接触，从而提高模具寿命。

黑色金属的冷挤压润滑是采用磷酸盐处理（即磷化处理）再加润滑，一般可采用皂化润滑或用二硫化钼拌猪油进行润滑。

对于不锈钢 1Cr18Ni9Ti 冷挤压来说，一般磷化较难附上，需采用草酸盐处理，草酸盐处理的配方如下：

草酸 $\text{H}_2\text{C}_2\text{O}_4$	50 克
钼酸铵 $(\text{NH}_4)_6\text{Mo}_7\text{O}_{24}$	30 克
氯化钠 NaCl	25 克
氟化氢钠 NaHF_2	10 克（毒品，应注意安全）
亚硫酸钠 Na_2SO_3	3 克
水 H_2O	1 公升

处理温度：90°C（不宜超过 95°C）

处理时间：15~20 分钟

毛坯经草酸盐处理后再经采用下列配方的润滑剂，在冷挤压中效果甚佳：

二硫化钼 MoS_2	15%
氯化石蜡	85%

以上不锈钢的润滑处理可用于冷挤压以及 350°C 以下的温热挤压之中。

对于温度较高的温热挤压，例如 680~800°C 的温热挤压，以上润滑层都被烧坏，从而不起作用，模具挤压 2~3 个零件以后即出现刮伤痕迹，因此必需采用与挤压温度相应的润滑剂。成都地区创造的“906”低温玻璃润滑剂在温热挤压中使用效果甚好，其配方如下：

硼酸	41%
红丹 (PbO)	30%
石英砂 (80~120 目)	23%
硝酸钠	4.2%
氧化铝	1.8%

以上成分在坩锅中焙烧后置于水中激冷，再球磨，磨碎后加水用刷涂法或喷雾法覆盖在毛坯面上。这种玻璃粉的熔化温度为 600~800°C，在此温度内玻璃粉软化，包在毛坯面上防止工件氧化。在挤压时更是一种良好的润滑剂，挤压时模具上用二硫化钼油膏作辅助润滑。

至于有色金属的冷挤压，例如纯铝的冷挤压，一般认为猪油润滑较好，但实际上猪油并不是一种理想的润滑剂。对纯铝冷挤压来说，更好的润滑剂是硬脂酸锌（粉末状）。有一个纯铝挤压件用猪油润滑时用 300 吨压力挤不出，但采用硬脂酸锌润滑时仅需 220 吨压力即可挤出。上海某厂采用硬脂酸锌润滑，采用 GCr15 作纯铝冷挤压凹模，模具寿命可达 400~500 万次。

在硬铝 LY12 的冷挤压方面，最理想的润滑剂是表面氧化（1 公升水中放 40 克氢氧化钠，在 60°C 加热二分钟）后再用工业菜油润滑。如果氧化后不采用菜油（或豆油）润滑而用一般的机油润滑，就很易发生硬铝微粒焊合在凸模上的不正常现象。

二、冷挤压模具结构对模具寿命的影响

（一）模具工作部分的几何形状对模具寿命的影响：

模具工作部分的几何形状不仅对挤压力有很大影响，而且对模具寿命也有很大的影响。图 13 是正挤压 15# 钢时，凹模角度 α 对挤压力的影响。显然，应当采用挤压力较低的凹模形状。应当注意图 14 的统计寿命数字：在采用同一凹模材料的条件下，如果凹模形状合理，模具寿命就能从 15000 个提高到 300000 个——提高 20 多倍。

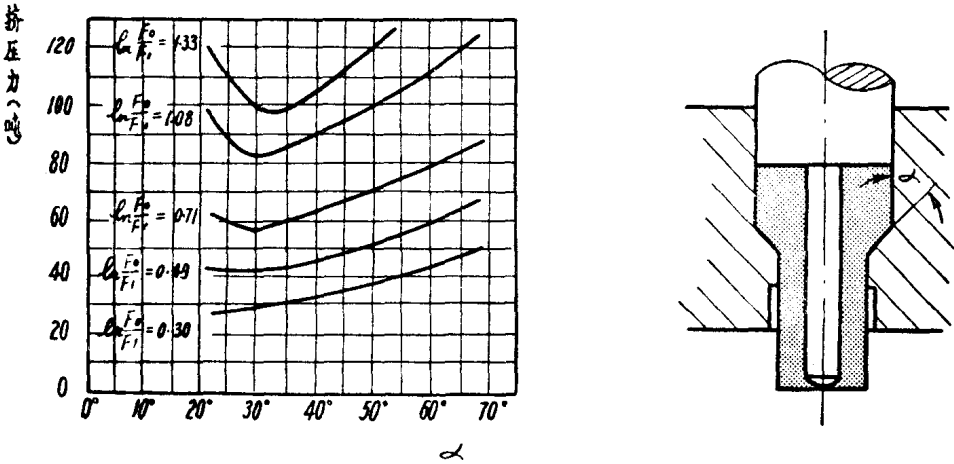


图 13 正挤压 15 号钢时，凹模几何形状对挤压力的影响

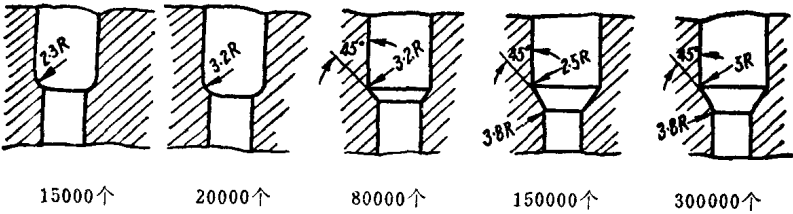


图 14 正挤压时凹模几何形状对模具寿命的影响

（二）模具工作部分的结构对寿命的影响

图 15 是常用的反挤压凹模结构型式。a、b 两种是整体式凹模，这两种凹模一般用于挤压直径较小的有色金属零件，其缺点是在底部 γ 处容易产生开裂下沉，因而模具寿命不高。对于有色金属薄壁零件的冷挤压凹模，最好采用 c、d 两种结构型式，可以保证有较高的寿命。型式 d 的寿命更高于 c 式。对于黑色金属的反挤压凹模、型式 e 不及型式 f 好，因型式 e 也容易产生底部圆角部分开裂下沉而影响模具使用寿命。

对于反挤压凸模，一般采用图 16 的几种型式。根据我校试验，图 a、b 两种型式的凸模，其单位挤压力可以比型式 c 的平端凸模降低 20%，因此寿命可高于型式 c。至于型式 b，其斜角 $9 \sim 13^\circ$ （见图 16）不宜过大，如角度过大，虽然可以继续降低挤压力，但由于斜角过大，在挤压过程中凸模易于偏歪，不仅挤出零件的同心度降低，反而会因凸模弯折而降低其使用

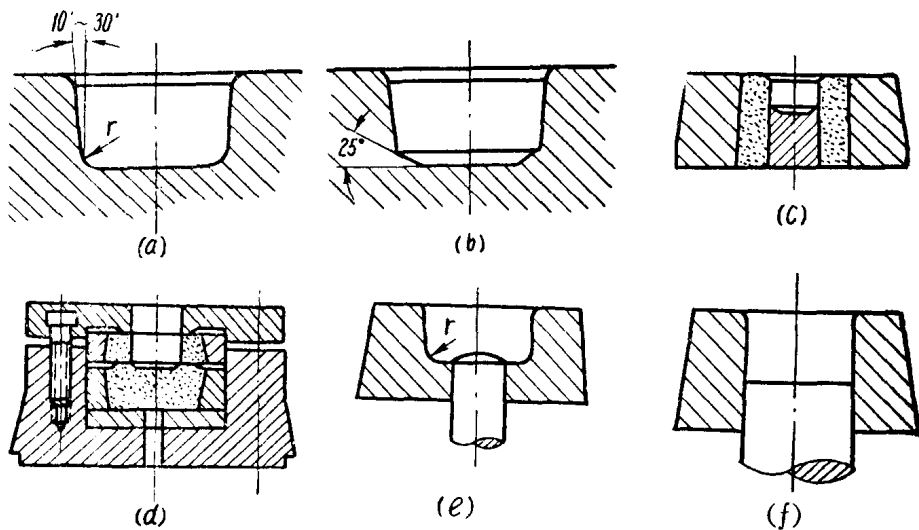


图15 常用的反挤压凹模结构型式

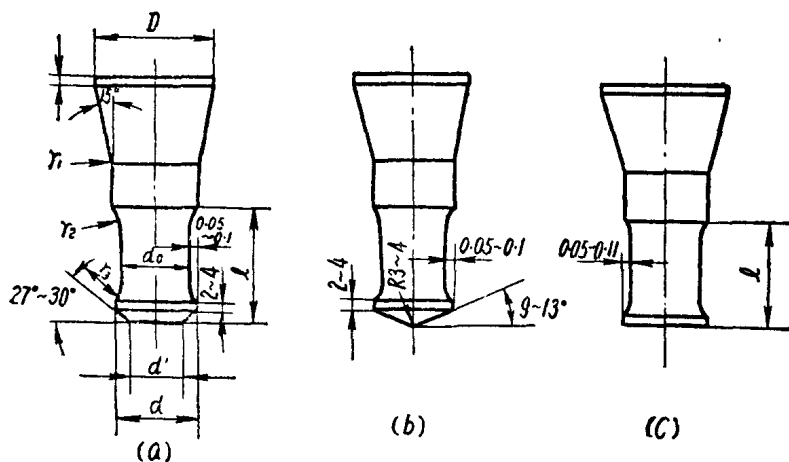


图16 各种反挤压凹模型式

寿命。

在正挤压凹模发生横向碎裂的情况下，可用图17的各种拼合型式。图17 a 中的镶块以迫合座与中套配合，这种凹模在成都三机部工厂有成功的应用。图17 b、c、d 则采用横向拼合的原则，在吉林省与上海市地区都有成功的应用。

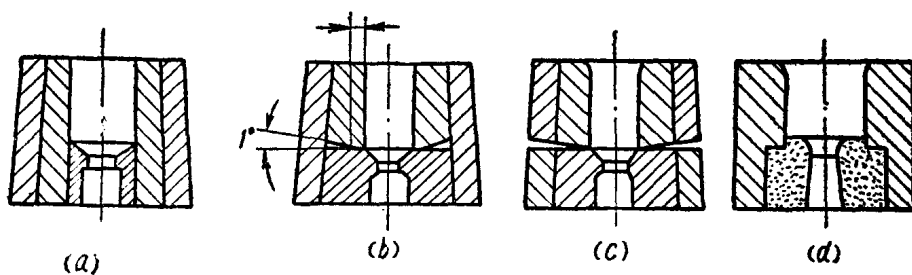


图17 各种正挤压凹模的拼合结构

(三) 正挤压空心零件模具心轴结构型式对寿命的影响

对于正挤压空心零件的凸模，必须有一根心轴预先塞在毛坯的相应孔内，用以控制挤压零件的孔径。这根心轴是模具中的薄弱环节，很易发生断裂。一般正挤压空心零件凸模的型式有图18的三种。图18 a 是整体式凸模，将凸模与心轴制成一体。这种型式的心轴仅能用于挤压纯铝等软金属。在挤压较硬的金属材料时，就很易在直径急剧变化(a)处发生断裂。图18 b 与 c 的两种由于采用了拼合结构，避免了应力集中现象，从而使心轴寿命有显著提高。我们曾经分析过心轴断裂的原因，主要有以下三方面：

1. 由于结构不合理而发生局部的应力集中——例如图18(a)图的 a 处；

2. 由于挤压工件时摩擦力的影响，就把心轴带着一起向下移动，心轴受到强烈的拉伸应力；

3. 由于坯料同心度不好而使心轴弯折断裂。

对于第一个原因，可以用拼合结构（图18 b、c）来解决。对于第三个原因，可以用提高空心坯料同心度的方法来解决，同时，也可用高速钢贝氏体淬火提高拼合心轴韧性的方法来解决。对于第二个原因导致的断裂，图18 c 就比图18 b 较为优越。因为在图18 c 的方案中心轴可以有一段活动的余地，可以随流动金属一起向下移动，因而免除了心轴的受拉，在挤压完

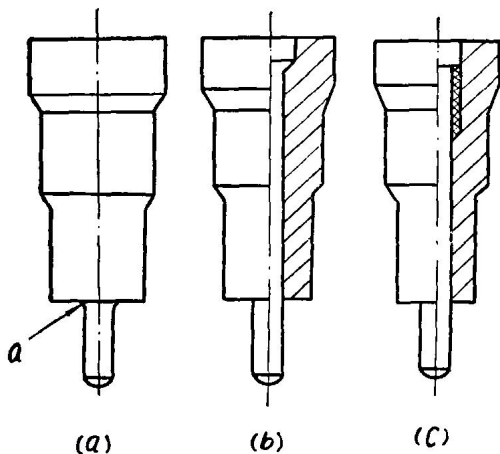


图18 三种心轴的结构型式

成后心轴由于弹簧的作用而恢复原状。图18 c 的结构过于复杂，如果能够在毛坯磷化前将坯料内孔的氧化皮彻底去除，那么方案 b 也可以保证有较高的寿命（由于氧化皮彻底去除后，保证了润滑质量，心轴的拉力可以减少很多）。

(四) 预应力凹模的使用

冷挤压时，凹模内腔受有变形金属的径向应力。如果凹模的强度不够，就会发生图19的切向破裂。

采用多层套式组合凹模（图20 b 与 c）是解决冷挤压凹模切向开裂行之有效的办法。

对一定尺寸的组合凹模进行强度分析后可知：三层组合凹模的强度是整体凹模强度的 1.8 倍，而两层组合凹模的强度是整体式凹模的 1.3 倍。组合式预应力凹模的主要优点是在同样的凹模外形尺寸条件下，它的强度比整体式凹模强度大得多。此外，由于组合凹模的内圈尺寸减小，模具钢材的质量提高了，更容易保证热处理质量，可以提高模具寿命。在大量生产硬质合金凹模时，由于硬质合金性脆、抗拉能力差，更应当采用多层套组合凹模。

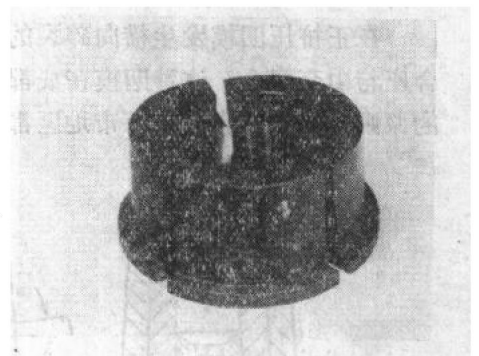


图19 冷挤压凹模的切向破坏

图21表示了三种冷挤压凹模的许用冷挤压单位压力。图中的横座标 a 是凹模的总直径比

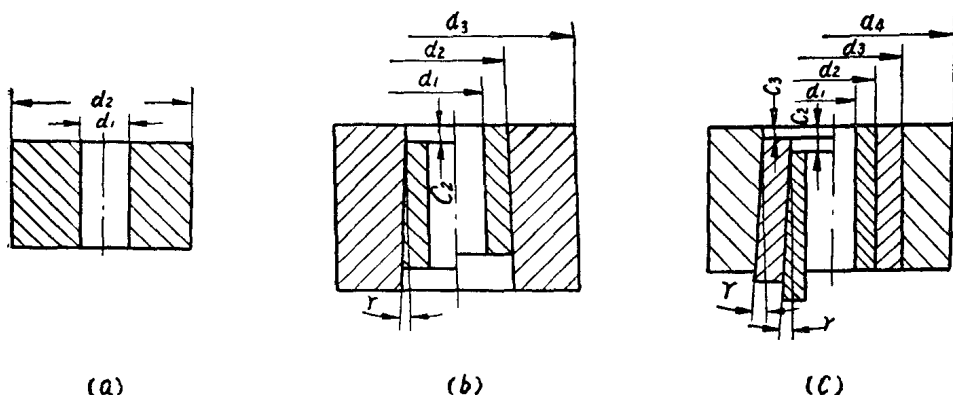


图20 冷挤压凹模

a — 整体式凹模； b — 两层组合凹模； c — 三层组合凹模。

(对整体凹模而言 $a = a_{21} = d_2/d_1$ ；对两层组合凹模而言 $a = a_{31} = d_3/d_1$ ；对三层组合凹模而言 $a = a_{41} = d_4/d_1$ 。 d_1 、 d_2 、 d_3 、 d_4 的符号意义见图20)。21图中的纵座标 $p_{\text{许用}}$ 是冷挤压许用单位挤压力。图中分为 I、II、III 三个区域，I 区是整体式凹模的许用范围；II 区是两层组合凹模的许用范围；III 区是三层组合凹模的许用范围。

理论分析与实践证明，凹模总直径比 a 越大，则凹模的强度便越大，但是当 a 增大到 4~6 (即组合凹模外径为内径的 4~6 倍时) 以后，再增大直径比 a ，便没有多大的意义了。因此，在生产中采用较多的总直径比 a 的范围是 4~6。

由图21可知：当 $a = 4 \sim 6$ 时；

整体式凹模的许用单位挤压力 $p \leq 110$ 公斤/毫米²；

两层式组合凹模的许用单位挤压力为

$$110 \text{ 公斤/毫米}^2 \leq p \leq 140 \text{ 公斤/毫米}^2；$$

三层式组合凹模的许用单位压力为

$$140 \text{ 公斤/毫米}^2 \leq p \leq 250 \text{ 公斤/毫米}^2。$$

应当指出，以上的数据已考虑了足够的安全系数，因此是偏于安全的。实际生产中各种凹模的许用单位压力要比上列数值为高。

正如上述，凹模的总直径比 a 一般取 4~6 的数值，但对多层组合凹模来说，中间各圈的直径数值必须合理，否则会影响到凹模的强度。

两层组合凹模的合理内圈直径比 a_{21} 可按图22决定，可由图22按既定的总直径比 a_{31} (一般取 $a_{31} = d_3/d_1 = 4 \sim 6$) 查出合理的 a_{21} 。

$$a_{21\text{合理}} = \frac{d_2}{d_1}，\text{即 } d_{21\text{合理}} = d_1 \times a_{21\text{合理}}$$

对于三层的组合凹模的合理中间直径比 $a_{21\text{合理}}$ 以及 $a_{31\text{合理}}$ 可由图23按既定的总直径比

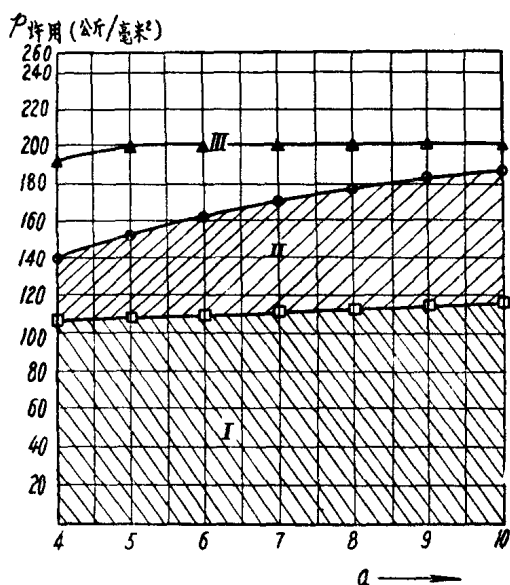


图21 三种凹模的许用单位压力

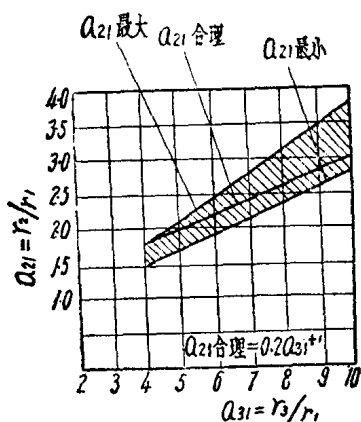


图22 在两层组合凹模中，合理的内圈直径比

$$(a_{21} \text{ 合理} = \frac{d_2}{d_1} = \frac{r_2}{r_1}) \text{ 与总的直径}$$

$$\text{比 } (a_{31} = \frac{d_3}{d_1} = \frac{r_3}{r_1}) \text{ 之间的关系。}$$

a_{41} (一般取 $a_{41} = 4 \sim 6$) 查出。

d_2 与 d_3 的数值即可按下式决定：

$$a_{21} \text{ 合理} = \frac{d_2}{d_1}, \text{ 即}$$

$$d_2 \text{ 合理} = a_{21} \text{ 合理} \times d_1$$

$$a_{32} \text{ 合理} = \frac{d_3}{d_2}, \text{ 即}$$

$$d_3 \text{ 合理} = a_{32} \text{ 合理} \times d_2$$

在决定了各圈直径之后，便可按下式决定
二层组合凹模的径向过盈量 u_2 与轴向压合量
 c_2 (图 20b)：

$$u_2 = \beta_2 \cdot d_2$$

$$c_2 = \delta_2 \cdot d_2$$

上式中符号图 20b

d_2 ——中圈直径 (毫米)

u_2 —— d_2 处的双向径向过盈量 (毫米)

β_2 ——径向过盈系数 (可查图 24 得知)

c_2 —— d_2 处的轴向压合量 (毫米)

δ_2 ——轴向压合系数 (可查图 24 得知)

在三层组合凹模中，径向过盈量 u_2 、 u_3 与轴向压合量 c_2 、 c_3 (图 20c) 可按下式决定：

$$u_2 = \beta_2 \cdot d_2$$

$$c_2 = \delta_2 \cdot d_2$$

$$u_3 = \beta_3 \cdot d_3$$

$$c_3 = \delta_3 \cdot d_3$$

上式中符号 (图 20c)：

u_2 —— d_2 处的双向径向过盈量 (毫米)

c_2 —— d_2 处的轴向压合量 (毫米)

u_3 —— d_3 处的双向径向过盈量 (毫米)

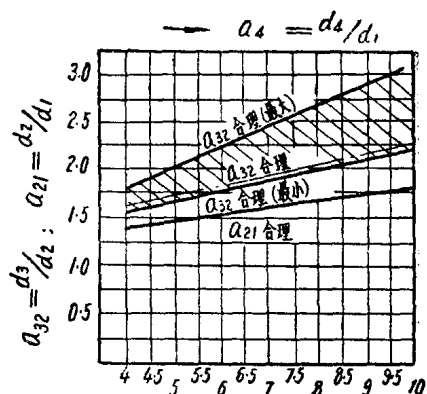


图23 在三层组合凹模中， a_{32} 及 a_{21} 合理
数值与总直径比 a_{41} 之间的关系