

机械工人学习材料

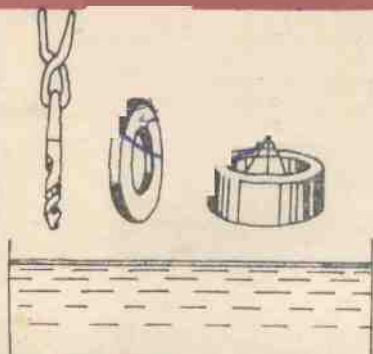
JIXIE GONGREN XUEXI CAILIAO

热处理工件变形的校正

(修订本)

栗世奇 编著

热处理



机械工业出版社

目 次

一 校正原理和校直用设备.....	1
1 校正工作的意义和目的(1)——2 工件热处理变形的形式及原因(1)——3 校正原理(4)——4 校直的设备(6)	
二 冷压校直法.....	13
1 工件变形的测量与冷压的方法(13)——2 适用范围(13)——3 操作实例(14)——4 注意事项(18)	
三 淬火后趁热校直——热校直法.....	19
1 操作方法(19)——2 适用范围(20)——3 操作实例(20)——4 注意事项(22)	
四 冷反击校直法及其新应用.....	25
1 冷反击校直法(25)——2 冷反击校直法的新应用(31)	
五 热反击校直法.....	35
1 原理(35)——2 操作实例(35)——3 注意事项(37)	
六 回火中的校直方法.....	38
1 原理(38)——2 操作方法(39)——3 适用范围(39)——4 操作实例(39)——5 注意事项(41)	
七 高频热点校直法.....	42
1 高频热点校直法的原理(42)——2 高频热点校直法所采用的设备及操作方法(42)——3 适用范围(43)——4 操作实例(43)——5 注意事项(45)——6 高频热点推广应用——缩孔处理(46)	
八 氧-乙炔热点校直法.....	48
1 原理(48)——2 氧-乙炔热点校正孔径的方法(49)——3 适用范围和注意事项(50)	
九 弹簧卡头变形的校正方法.....	1

十	长刀杆捆扎淬火的校直方法.....	53
1	原理(53)——2 操作方法(53)——3 操作实例(53)——4 应用范围(55)	
十一	模具内孔淬火中的校正方法.....	56
1	原理(56)——2 操作实例(56)——3 适用范围(56)——4 几点说明(60)	
十二	用缩孔方法校正孔件的变形.....	60
1	原理(60)——2 无相变缩孔法(61)——3 有相变缩孔法(68)	
十三	校直操作中应注意的安全事项.....	69

一 校正原理和校直用设备

1 校正工作的意义和目的 校正工作，是工件热处理工艺过程中重要的工序之一。各种机械零件，以及刀、夹、量、模等工具，在热处理过程中(特别是淬火)，由于热应力和组织应力等的作用，将产生不同程度的变形。

由于热处理后工件产生较大的变形，对于一些比较精密的工件来说，有可能不符合图纸的技术要求，为了达到工件图纸的技术要求，除热处理时选择先进合理的工艺(如加热时间、温度、冷却剂、增加预热、采用分级或等温淬火等)外，还必须用校直的方法，来挽救和弥补形状和尺寸上的变形。

此外，校正工作，不仅用于热处理后工件的校直，还应包括热处理前，由于机械加工或其它因素产生变形的校直。如：细长拉刀、钻头、铰刀等。对于这类工件的变形，如果在热处理前不经过校直，就会增加热处理时的变形，甚至会因变形过大而造成废品。另外，采用适当的校正方法，还可以挽救一些因正常磨损而报废的工件。

所以，热处理操作者，除应熟练地掌握热处理工艺外，还应该熟练地掌握各种校正方法。

2 工件热处理变形的形式及原因 热处理变形通常有两种主要的形式。一种是体积的变化；另一种是形状的变化(包括翘曲)。

(一) 体积的变化：体积变化是相转变时比容改变而引起的。钢的马氏体的比容比其它组织的比容要大，因此，热处理时钢由奥氏体转变为马氏体时，必然引起淬透部分体积的膨胀。

(二) 形状的变化：形状的变化主要是由于内应力或者外加应力作用的结果。在加热、冷却过程中，由于工件各个部位的温

度的差别，形成的热应力和由于相转变的时间有先后，所形成的组织应力，综合引起的瞬时内应力，如果这种内应力超过了材料的弹性极限，就产生塑性变形，引起形状的改变。

此外，工件的热处理变形，还与材料的成分、原始组织、几何形状、原始应力状况（包括机械加工残余应力）、热处理操作不当（例如加热、冷却时方法不当、夹持或支撑不当等）因素有关，而且任何一个因素的改变往往会引起不同的后果。

总之，工件形状的变化，是上述各因素综合作用的结果。

热处理工件校正的主要对象，是第二类发生形状变化的工件。

一般说来，热应力造成的变形趋向好象一个真空中受内压力的容器，使零件的表面趋向于球状。对于正方体来说，是趋向球状；对于长圆柱体，其长度缩短，直径胀大；对于扁平圆板（高度小于直径），则直径减少，高度反而增大。组织应力造成变形的趋向也好像一个真空的容器，使零件的表面趋向于凹形面，尖角突出，产生与热应力完全相反的变形。

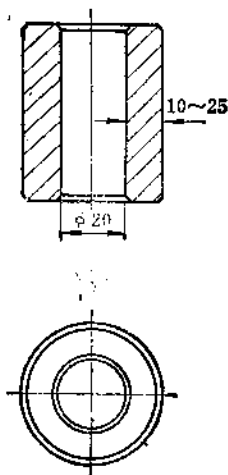


图1 套筒

举例

例1 套筒，如图1。材料为45钢，经820℃水淬。

变形特点：内径、外径及高度都增大，而内径增大最多，外径和高度次之。其增大量随壁厚的增加而减少。

原因分析：

1) 内孔胀大是相转变时的体积膨胀和组织应力引起的；而

外径和高度的增大主要是由相转变时体积膨胀引起的。45钢淬水虽然冷却速度很快，热应力很大，但由于所采用的试样壁厚不超过25毫米（都能淬到HRC53以上），因而，马氏体转变时的体积膨胀和组织应力对变形起主导作用。45钢820℃淬水后，内外径、高度都胀大，其原因就在于此。

2) 随着壁厚的增加淬硬深度减小，因而体积膨胀量和组织应力减小，因此，内外径和高度的胀大量也就减少。同时，壁厚增加也使由于内外层温差引起组织转变不同而造成的平均内应力减小，因而变形较少。

但当壁厚过小（10毫米以下）时，冷得快，虽存在初阶段的内外温差，但因冷到后阶段时，温差早就消失，不产生组织应力。此时，主要是热应力和体积的膨胀起主导作用，随壁厚的增加，热应力减少，所以内径的胀大随壁厚的增加而增加。

例2 轴类零件，如图2。

1) 低碳钢或20Cr 750℃以下水冷后完全是热应力引起的变形：直径胀大，中间鼓起来，长度缩短，而在800℃以上发生相变，则产生组织应力；直径缩小，长度伸长。

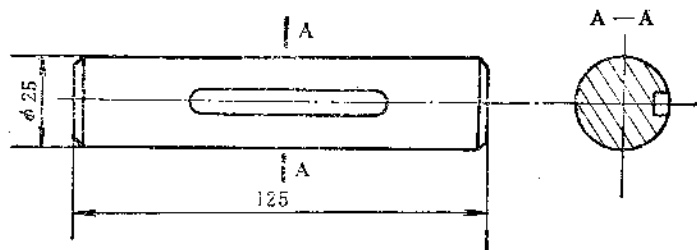


图2 小轴

2) 中碳钢(45钢等) 中碳钢 800°C 以上水淬: 直径缩小, 长度伸长。说明组织应力在变形时起主导作用。

3) 轴上有键槽, 变形情况相当复杂, 其变形决定于热应力和组织应力的比例关系。淬火过程中, 热应力作用超过组织应力, 键槽总是收缩; 反之, 键槽胀大。

例3 刀杆如图3所示。材料为45钢, 820°C 水淬。

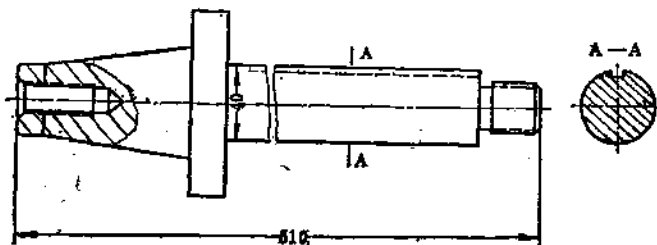


图3 刀杆

变形特点: 经淬水冷却后, 都是带有键槽面呈凸面。

原因分析: 形成槽面凸起的原因, 是组织应力和热应力的影响, 而且应是组织应力起主要作用。

由于键槽的存在, 使槽面形成了两条较薄的刃口(也就是尖角部位), 冷却时, 刃口部分首先发生奥氏体向马氏体的组织转变, 故先冷却部位发生局部体积胀大, 从而使槽面形成凸面。

3 校正原理 校正工作是弥补工件在热处理过程中, 因变形较大而影响机械加工工序或正常使用所采用的必要方法。

其原理是利用工件的热胀冷缩、组织转变及工件本身在外力作用下产生塑性变形的道理, 选择不同的加温、加力的方法, 以达到校正的目的。

本文主要是叙述施加外力和利用金属热胀冷缩原理的几种校正方法(对于轴、杆类零件变形校正亦称校直)。

钢制工件在加热到临界温度以上时，其组织就发生变化：把亚共析钢和共析钢加热到 A_{c3} 以上，即由原始组织转变为奥氏体；把过共析钢加热到 $A_{c1} \sim A_{cm}$ 之间，则转变为奥氏体和渗碳体的组织。然后急速冷却，奥氏体转变为贝氏体（等温淬火）和马氏体组织。在这一加热和冷却过程中，因热应力与组织应力的相互作用，各工作部位受力不均匀，致使工件发生胀缩现象，膨胀的一面凸起，收缩的一面凹下。

在凸面施加一定压力时，凸面受压应力产生缩短的塑性变形，而凹面就产生拉应力，造成伸长的塑性变形（即冷压校直）。利用金属的延展性，反复敲击工件的凹面，在被敲击部位造成伸长的塑性变形，从而，使工件反弓过来（即冷、热反击校直法）。直到凸凹两面的缩短和伸长使工件恢复到原来状态时，便起到了校直的作用。

此外，淬火后，趁冷却过程中奥氏体尚未完全转变为马氏体组织的温度（在 M_s 点左右），由冷却剂中取出工件，利用奥氏体塑性好的特点和相变超塑性，在工件凸面部分迅速施加压力，以达到校正目的（热校直法）。

利用高频感应加热或氧-乙炔高温火焰，在变形工件的最凸处，迅速加热一点或几点，再适当冷却下来，使其发生组织变化和物理变化，起到校正作用（即高频热点校直法和氧-乙炔热点校直法）。

掌握和利用各种工件变形的规律，在淬火前用铁丝或卡固方法进行捆扎，给工件一个与淬火变形方向相反的预变形（淬火后使两变形抵消，从而达到校直目的，即捆扎淬火校直法）。

在淬火前对一些模腔或孔形工件，用石棉绳（或石棉板）和铁皮包扎后再淬火的方法，以便控制模腔或内孔的变形，达到校正的目的（即用热处理控制变形的校正方法）。

对一些孔形工件经淬火后内孔胀大或因机械加工和正常使用磨损等原因使孔径变大的孔形工件，可将其加热到钢相变点以上和以下的适当温度，然后以一定的冷却速度冷却下来，使孔缩小，从而达到校正的目的，即用缩孔方法校正孔形工件的变形。

4 校直的设备 热处理车间应根据本厂经常生产的工件大小和复杂程度，配备校直设备和工具。如：平台、手动螺旋压力机、油压机、锤子等。

选择压力机时，要尽量采用一机多用的设备。最普通的是一种中型的手动螺旋压力机（图4），其优点是：构造简单，容易制

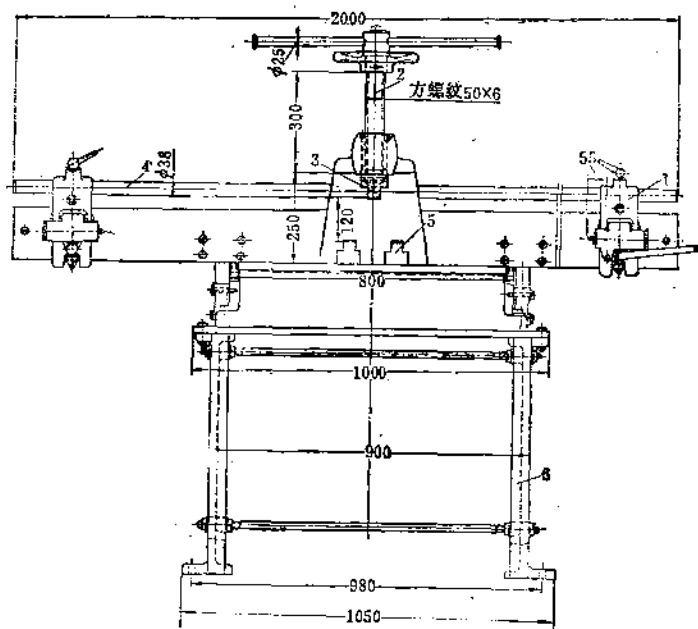


图4 手动螺旋压力机

1—滑动盘 2—螺旋压杆 3—压头 4—滑动轴 5—V形垫块 6—支架

造。对一般的工件都能校直,能热压直径在50毫米以下,硬度低于HRC35的圆柱形工件和简单的板形工件。此种压力机,对20毫米至2000毫米长的工件,能进行边检查边校直的操作,非常灵活方便(在检查100毫米以内的圆柱形工件时,可把左边的滑动盘移到右边来进行)。

柱形工件经检查变形,又能在垫铁上敲击。

对于直径50毫米以上,变形也较大的零件,应在油压机上(图5)进行校直。如果本厂不经常生产较大的工件,还可参考图6,制造小型螺旋压力机(把工作台适当加长,可校直一般长形工件)。

对于圆柱形拉刀,校直时要求压力小,加压停留时间短,还可采用如图7所示的手扳压力机进行校直,操作方便,效率高。

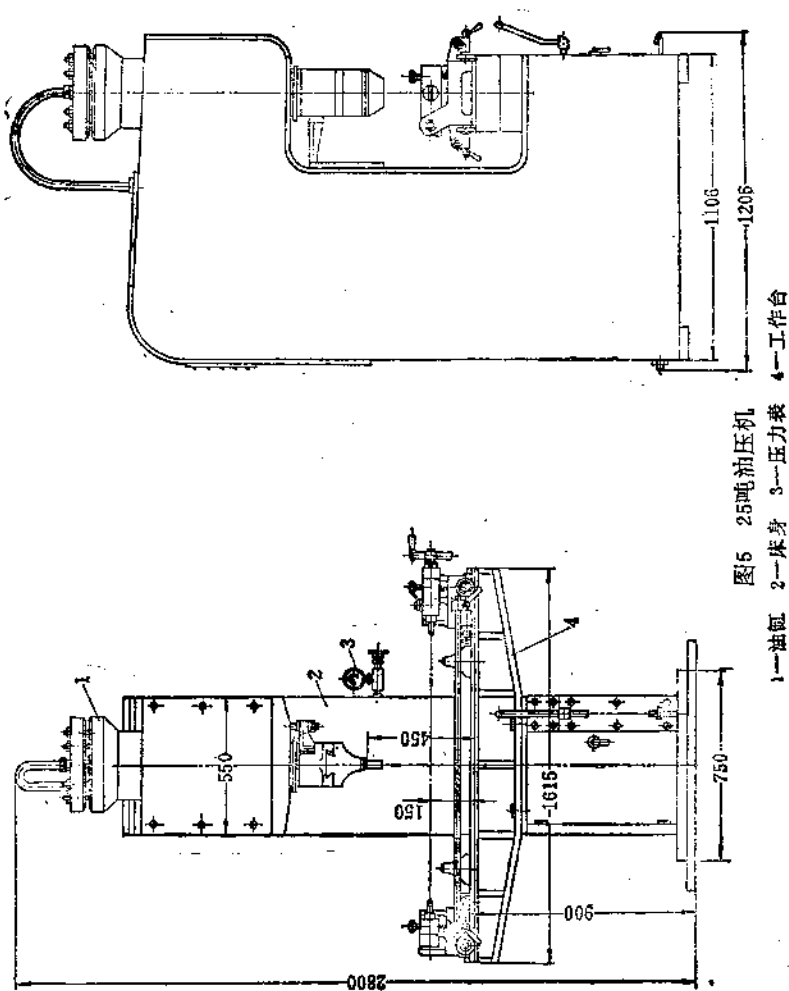
对于板形和无顶尖孔的柱形工件(如小直径钻头),可以用平台检查变形。在成批生产板形工件时,为了方便和迅速地检查变形,一般来说,除了最后送检时,用塞尺准确检查外,通常可用目测或敲动摩擦检查法(详见冷反击校直法)近似地检查工件的变形。

下边介绍一下校直工件所用的锤子。

1) 校直低硬度($HRC \leq 35$)的工件 校直板形、柱形未淬火或低硬度的工件时,要用平顶锤子。对于表面要求严格或带有齿、刃的工件要用铜或铝锤子。如校直未淬火的钻头、铰刀时只能用铝锤子(如图8)。

2) 校直淬火零件($HRC > 35$) 校直淬火零件所用的锤子,硬度要求较高。对一般板形、柱形工件,都用扁头锤子(图9a)。在校正薄片零件(厚度为2~3毫米)时,如片铣刀,采用尖头锤子,因敲击面小,冷作应力小,可避免敲裂(如图9b)。

根据被校工件硬度的不同,又把锤子硬度分为中硬度(HRC54



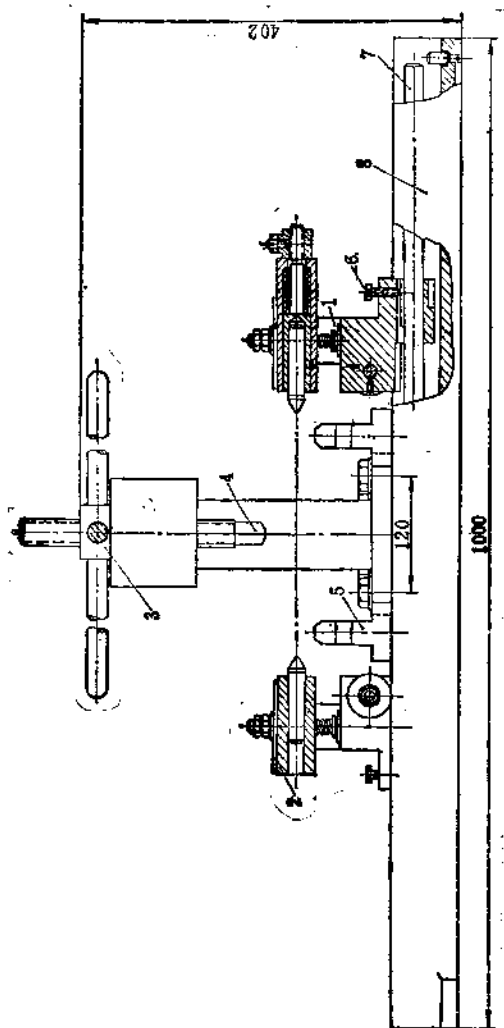


图8 小型螺旋压力机

1—右顶尖架 2—左顶尖架 3—螺旋压杆 4—压头 5—垫块
6—定位螺钉 7—滑动杆 8—底座

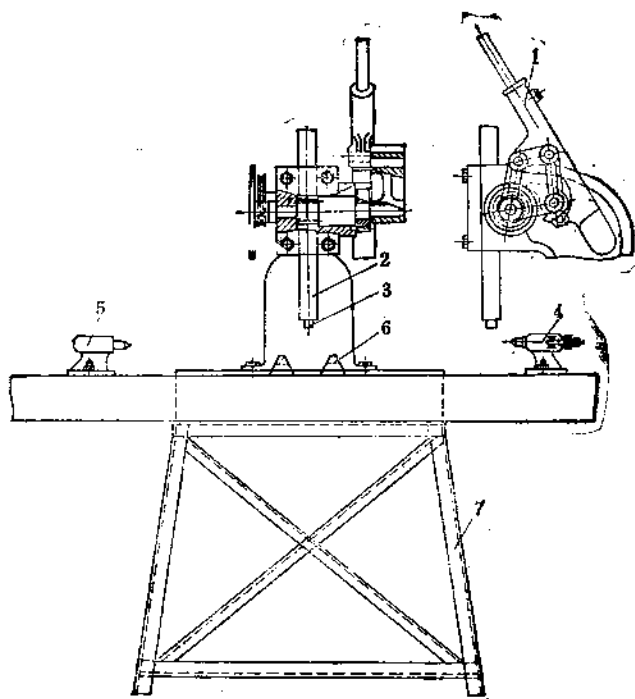


图7 手扳压力机

1—压力板把 2—齿条压杆 3—压头 4—右顶尖架
5—左顶尖架 6—垫铁 7—支架

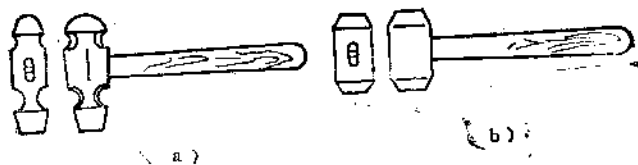


图8 平头锤子

a) 钢锤子 b) 铜或铝锤子

~58) 和高硬度 (HRC58~62) 两种。根据被校工件的大小, 可把锤子分为小号、中号、大号, 其尺寸可参照图9c和表1。

表1 校直用锤子的型号和尺寸 (毫米)

型 号	材 料	A	B	C	D	K	R
小 号	W18Cr4V或T10	70	20	10	15	8	1.0
中 号	W18Cr4V或CrWMn	100	25	15	20	10	1.5
大 号	W18Cr4V	130	25	15	25	15	2.0

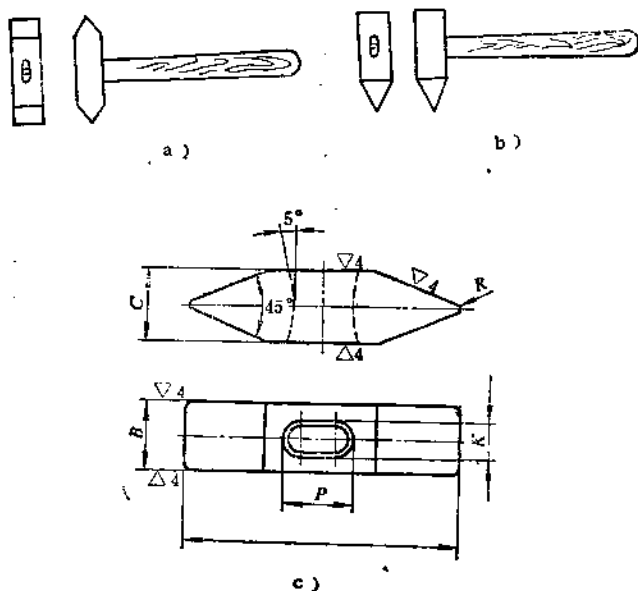


图9 专用锤子

a) 扁头锤子 b) 尖头锤子 c) 扁头锤子尺寸

根据工件直径（或厚度）的大小和硬度的高低，适当选用锤子，能得到更好的效果。列表举例如下（表2）。

表2 校正钻头所用锤子参考表

钻头直径 (毫米)	钻头硬度 (HRC)	锤子硬度	锤子型号
2	工作部分 62~64 尾部 35~40	高硬度锤 中硬度锤	小号
16	工作部分 >62 尾部 35~40	高硬度锤 中硬度锤	中号
40	工作部分 62~64 尾部 54~58	高硬度锤	大号

下面介绍一下测量工件变形用的百分表：

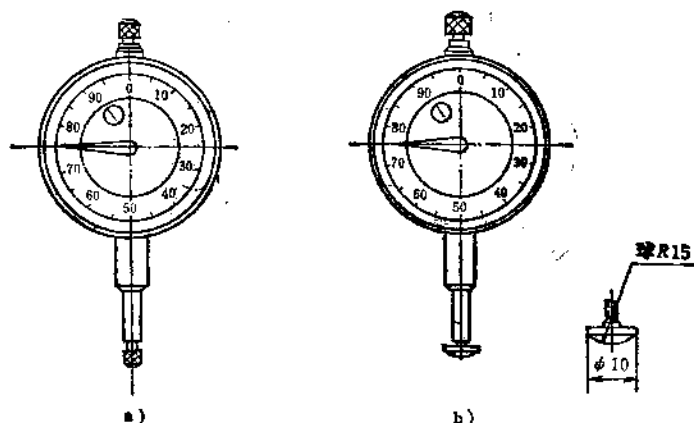


图10 测量工件变形用百分表

a) 标准百分表测头 b) 测量键槽用百分表测头

测量一般的柱形工件变形，可用标准百分表测头如图10a。为了测量带有键槽类工件，如钻头、铰刀、拉刀和带有键槽的刀杆及花键轴等，可用图10b所示的百分表测头来测量。实践证明，

这样测量可避免百分表测头掉在工件槽中产生较大的径向跳动，能迅速地测量出变形的大小。

对工件内孔变形的测量，可用内径百分表。

二、冷压校直法

这是一种在变形工件的凸面施加压力的校直方法。

1 工件变形的测量与冷压的方法 把变形工件放在压力机的顶尖架上，用百分表测量其两头和中间三部分的弯曲度，并在凸面的最高处，用粉笔作好记号。如果三部分弯曲方向一致时，即可将工件两端支承在压力机的两块“V”形垫铁上。凸面朝上，其最高点就是压力机施加压力的部位。根据工件的尺寸和变形大小，施加一定的压力，直到符合要求为止。

在校直时，往往会遇到工件的变形方向不一致，这种情况就得采用分段校直，先把工件变形较大的部分校过来（如图11a所示）使全长变形方向一致，然后再按正常变形进行校直，如图11b，校直后如图11c所示。

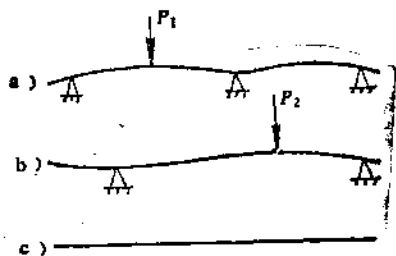


图11 工件的分段校直示意图

2 适用范围 未经淬火或经淬火、回火后硬度为 $HRC \leq 35$ 的碳素钢和合金工具钢及高速钢经分级-等温淬火冷却到室温后，都可以采用冷压校直法。

高速钢刀具采用分级-等温淬火冷校直，可改善劳动条件，操作方便，并能避免校不过来和压断裂现象。

对于渗碳淬火后的工件，直径在20毫米以上，变形较大的工

件，一般都放在压力机上冷压。直径20毫米以下的变形工件，根据其长短不同，可放在大小不同的圆环上用钢锤子敲击工件的凸面（如图12示），这种校直方法，不但可以避免把工件压出死弯，而且能提高校直效率。

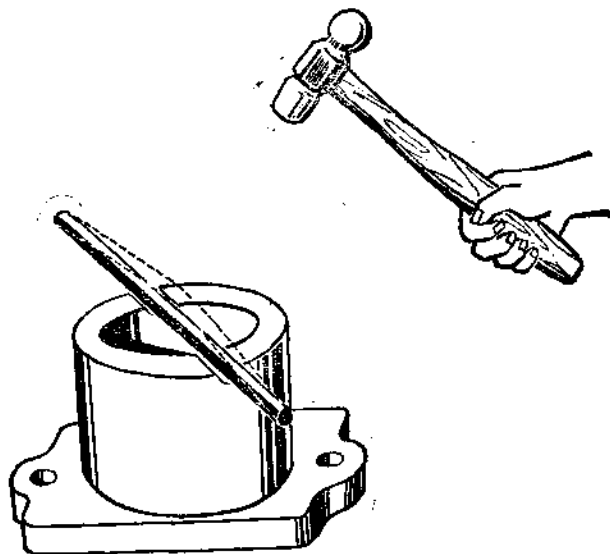


图12 敲击校直

3 操作实例

例1 凸轮轴，如图13a，材料为20Cr，经渗碳淬火后，凸轮硬度 $\geq$ HRC56，其余部分为HRC30~35，全长弯曲度小于0.2毫米。

批量生产时，在箱式电炉中加热淬火、回火后，一般变形都在2~3毫米左右，变形特点大多如图13b所示的情况。在初压时，两垫铁要放的远一些，施加压力适当大些。但由于凸轮硬度较高，往往会出现局部压反过去（如图13c），然后再按图13c、13d所示，