

帶材軋機用壓磁式壓頭

冶金工业出版社

带材轧机用压磁式压头

〔苏〕K.M.拉德钦科等著

冶金工业部建筑研究院译

冶金工业出版社

本书是苏联“技术”出版社1970年出版的“МАГНИТОУПРУГИЕ ИЗМЕРИТЕЛИ УСИЛИЙ ДЛЯ ПОЛОСОВЫХ СТАНОВ”一书的翻译本。内容探讨用于测定带材轧机轧制力的压磁式测力仪；对各种构造的压磁式压头作了分析，指出压头在带材轧机自动化中的作用；介绍苏联基辅自动化研究所研制的压磁式测力仪的构造。本书总结了作者在压磁式测力仪的设计、制作、调整及在带材轧机上使用等方面所积累的经验。供冶金与机械制造工厂及科研设计单位的工程技术人员使用，也可供高等学校的学生参考。

带材轧机用压磁式压头

〔苏〕K.M.拉德钦科等著

冶金工业部建筑研究院译

★

冶金工业出版社出版

新华书店北京发行所发行

冶金工业出版社印刷厂印刷

★

开本 大32 印张 2 1/4 字数 62 千字

1973年11月第一版 1973年11月第一次印刷

印数 0,001~6,900 册

统一书号：15062·3083 定价（科三）0.25元

前 言

压头是一种用于监视轧制过程，防止轧机零部件超载而可能损坏的仪器。

随着轧制机械设备和工艺过程的不断完善，对压头的要求也就越来越高。近年来，在轧制生产中日益广泛地采用能分别调节轧制厚度、轧制速度及张力等参数的自动化系统。带材厚度自动调节系统如果没有精确可靠的轧制力测定仪就无法工作，这种测定仪的电测系统应能保证压头的稳定供电、输出信号的转换、一个工作机架上两个压头信号的加减运算及把信号送给带材厚度自动调节系统。

国内外各型压头的使用经验表明，根据弹性元件的导磁率随弹性变形而变化的原理制成的压磁式压头是目前最有发展前途的一种压头。

自动化研究所(基辅)、起重运输机械科学研究所(克拉玛托尔斯克)及瑞典通用电器公司等单位先后研制的压磁式压头，与其它类型的压头相比，寿命长，读数可靠而稳定。

制作压磁式测力仪之所以复杂，是因为研制压头和电测系统缺少可靠的试验计算数据，而压磁元件装配工艺和电测系统调整的复杂性也造成一定困难。

本书介绍作者在制作和使用热轧和冷轧带材轧机上的压磁式测力仪方面所积累的经验。

本书探讨了各种类型和构造的压头，对其构造特点作了分析，并介绍了带材轧机轧制力测定仪的压磁式压头和电测系统的构造。还探讨了压头的制作和装配特点，并列举了有关设计压磁式测力仪的推荐资料。

目 录

前言

一、轧制力参数的测定	1
1. 电感式压头	1
2. 丝式和薄片式压头	3
3. 压磁式压头	4
4. 压头的校准	10
5. 各型压头构造特点的比较分析	12
6. 压头在带材轧机自动化中的作用	15
二、压磁式压头的构造	19
1. 1000吨压磁式压头	19
2. 1500吨压磁式压头	24
3. 500吨压磁式压头	25
4. 压磁元件的强度计算	28
三、电测系统	34
1. 输出特性	34
2. 轧制力测定仪的方框图	36
3. 用工频交流电供电的轧制力测定仪的电测系统	38
四、压头的制作与装配	46
1. 压磁元件的制作	46
2. 元件的缠绕与绕组电绝缘的检验	48
3. 压头的装配	49
五、压磁式测力仪的使用	51
1. 测力仪电路的调整	51
2. 测力仪的校准	54
3. 测力仪的使用	55
4. 有关选择压磁式测力仪的推荐资料	60

一、轧制力参数的测定

在轧制过程中，工作机架上承受的轧制力取决于带材的尺寸和机械性能、工作辊的直径及外摩擦系数等因素。

在测定轧制力时，使用根据不同物理原理制成的，能把工作机架某零件或弹性元件的弹性变形转换为电信号的仪器。测定轧制力有两类方法。一类的原理是测定工作机架某零件的变形，另一类的原理是测定安在轧机工作机架上压头的弹性元件的变形。根据第二类方法制成的压头已广泛用于测定轧制力。

前前后后曾制作了压电式、角度式、电感式、电阻式及压磁式压头，其中电感式、电阻式及压磁式压头已在工业上得到推广。

1. 电感式压头

电感式压头系根据工作机架牌坊立柱的变形或压头本身弹性元件的变形来测定轧制力。

电感式传感器是根据激磁线圈电感变化的原理进行工作的。激磁线圈作为感抗接入电路，当工作机架零件或弹性元件的弹性变形导致铁心移动时，感抗值就发生变化。

按牌坊立柱的变形测定轧制力时，电感式压头安在工作机架牌坊上；而按弹性元件的变形测定轧制力时，则安在上支承辊轴承座与压下螺丝之间。

乌拉尔重机厂（斯维尔德洛夫斯克）的ТИМ-500 和 ТИМ-1000 型电感式压头，用于测定冷轧带材轧机的轧制力[17]。工作机架上安有两个压头，在牌坊每个立柱上各安一个，呈对角布置。此时的测定精度可达 $\pm 10\%$ 。电测系统的主要环节是一个电感桥，电感式传感器的两个激磁线圈为其可变桥臂。

在轧制过程中，牌坊立柱经受弹性变形。由于连杆长度不变，上述变形使焊在牌坊上底板的间距发生变化，这种变化通过弹簧移动铁心而达到平衡，从而导致线圈电感的变化，进而使电桥系统产生不平衡。根据不平衡程度可判知轧制力。

电感式压头的特点是零点不稳定，其原因在于底板间距的变化不仅取决于轧制力，而且还取决于牌坊的温度变化。

可以设想，连杆与安装压头的牌坊立柱之间会有一定温差 Δt 。

当温差 Δt 为 1°C ，连杆与立柱的温度膨胀系数相同时，电感式传感器铁心的位移为：

$$\Delta L = \alpha \Delta t L = 11 \times 10^{-6} \times 1 \times 500 = 0.0055 \text{ 毫米} \quad (1)$$

式中 $\alpha = 11 \times 10^{-6}$ ——钢的温度膨胀系数；

$L = 500$ 毫米——压头的原尺寸。

因此，当牌坊立柱与连杆之间的温差 Δt 为 1°C 时，按变形0.05毫米调整的压头的零点位移大于刻度盘的1/10。

为监视工艺过程而测定可逆式轧机的轧制力时，零点漂移的作用不大，因为当带材末端从工作机架出来后，操作者可乘轧辊分开之机将压头调整到零点。在测定连轧机的轧制力时，当轧辊有“鼓肚”（Забой）时，即当工作机架的弹性变形大于被轧带材的轧后厚度时，零点难于确定。

零点必须经常校核，因此，轧制过程的人工操纵就有一定困难，而在自动调节带材厚度时也就没法使用ТИМ-500和ТИМ-1000型电感式压头。

ЦНИИТМАШ（中央工艺与机械制造科学研究所）的电感式压头有好几种规格种类，用于测定25至500吨*范围内的轧制力[17]。压头安在压下螺丝下面。为使荷载均布，压头的下部有球面止推轴颈。当压头受到轧制力作用时，铁心进行位移，其大小等于外壳的变形，从而导致线圈电感的变化和电桥的不平衡。

ЦНИИЧМ（中央黑色冶金科学研究所）的电感式压头用于测定1000初轧机的轧制力[17]。压头安在压下螺丝下面。与前一种不同，这种压头的弹性元件在内外侧有不只一个而是几个电感式传感器。

当压头受到轧制力作用时，弹性元件产生变形，导致环形凸缘的间距发生变化，铁心向着电感式传感器的激磁线圈移动。根据此时电

* 根据ГОСТ9867—61，1吨=1.02×10⁴牛顿。

桥系统的不平衡程度可判知轧制力。

中央黑色冶金科学研究所的另一种电感式压头，用于测定2350中板轧机的轧制力[9]。压头安在压下螺丝下面。与前一种相比，这种压头的构造简单，圆柱形弹性元件的外侧布置有几个电感式传感器。电感式传感器的激磁线圈连成四臂电感桥。

由于电感式传感器的连杆与牌坊立柱之间的温差造成零点漂移，因此尽管ТИМ-500和 ТИМ-1000 型电感式压头的构造比较简单，使用维护方便，但在使用上仍有一定困难。为了缩小温差，把压头安在牌坊立柱的专门铣切的巢内或把连杆用厚实罩保护，但都没有收效。

为了减少温差对压头读数的影响，研制了几种尺寸小得多的电感式压头。这时，由于牌坊立柱上应力极小（不大于100~150公斤/厘米²）因而变形也小，压头就不安在牌坊立柱上，而安在压下螺丝下面。

2. 丝式和薄片式压头

丝式和薄片式压头系根据其本身弹性元件的变形来测定轧制力。

丝式和薄片式传感器（电阻式传感器）的作用原理是，当粘有传感器的零件产生弹性变形时，传感器的电阻发生变化。传感器制作简单，尺寸不大，输出信号具有线性特性。

丝式传感器由直径0.02~0.025毫米的康铜丝弯成几列平行弯曲线，并在两侧粘有薄纸而构成。薄片式传感器是把有格状印痕的薄片在氯化铁的水溶液中酸洗后得出。与丝式传感器相比，薄片式传感器具有某些优点：在其他条件相同的情况下输出信号较大，引线的焊接比较可靠等等。

压头的外壳内安有弹性元件（圆柱体或圆筒体），弹性元件的侧面上粘有或缠有传感器。有时，压头外壳本身就可充当弹性元件。把压头安在上支承辊轴承座上，此时取下止推轴承的外壳。

除了轧制力外，压头还承受扭矩，它等于球面止推轴承内的摩擦力矩。根据压头构造的不同，扭矩可通过外壳或弹性元件传给上支承

* 根据ГОСТ9867—61，1公斤/厘米²（大气压）=1.02×10⁻⁵牛顿/米²。

辊的轴承座。在两种情况下，压头均不应在轴承座上旋转。

丝式和薄片式压头有以下几种：

УИЧМ（烏拉尔黑色金属研究所）的压头，用于1450冷轧连轧机的检测[2]；

НИПИГОРМАШ的压头，用于1700可逆式冷轧机的检测；

ВНИИМЕТМАШ（全苏冶金机械科学研究所）的压头，用于测定热轧机的轧制力[17]；

ВНИИМЕТМАШ的万能压头，有МУ，М，МУО三种型式[17]，前两种用于冷轧机，后一种用于热轧机；

ЦЛА（中央自动化设备实验所）的压头，用于带材厚度自动调节系统[14]；

НИИМ的盘式、环式和柱式鼓胀敏式压头，用于测定轧机的100吨以上的压力[5,6,7]；

按全苏冶金机械科学研究所的设计制作的压头[29]，用于测定冷轧带材轧机的轧制力。

圆柱形压头安在可逆式轧机上，用于把信号送给轧制力自动控制系统[23、24、25]。

3. 压磁式压头

压磁式压头系根据压磁元件的变形再通过磁弹效应转换成电信号来测定轧制力。

压头由外壳和压磁元件组成。

外壳有密封的、防尘防溅的和一般的三种。

密封外壳能完全防止压头的内腔受到诸如灰尘、氧化皮、水分和油等外部介质的作用。安在下支承辊轴承座下面的压头的组合外壳就是一例。

防尘防溅外壳不能完全防止压头的内腔受到灰尘、氧化皮和水分的作用，因为内腔是用诸如橡皮绳等一般填料进行防护的。

使用防尘防溅外壳的压头一般安在压下螺丝的下面，因此，这种压头除承受轧制力外还承受扭矩的作用。为部分减轻压磁元件所承受的扭矩，上盖板的形状应能保证把扭矩传到外壳上。

一般外壳不能防止压头的内腔受到灰尘、氧化皮、水分和油的作用，因此，工业用压头不能使用这种外壳。

压磁元件由内有激磁和测量绕组的导磁体组成。在导磁体上有几组孔洞，每4个为一组分布在一个正方形的顶角上。在两个对角布置的孔洞内缠绕激磁绕组，在另两个孔洞内缠绕测量绕组。激磁绕组和测量绕组的平面互相垂直，与被测力的作用方向成 45° 角。

当压头上空载而激磁绕组内通入交流电时，测量绕组内的电压等于或接近于零。加压时，压磁元件与压力平行方向上的导磁率减小，而与压力垂直方向上的导磁率增大，因此，在测量绕组内产生电动势，其数值在一定范围内与压力成正比。

导磁体可做成平行六面体、圆筒（或环）和圆柱体等形状。

平行六面体导磁体可用整块金属制作或由单个硅钢片组成。用整块金属制作导磁体在工艺程序上的困难在于要钻很深的通孔。用薄片组成导磁体虽然比较复杂，但导磁体元件的尺寸包括孔洞的尺寸和位置都比较稳定，这对于得到相同或近似的输出特性曲线是很重要的。

为了得到各向同性的导磁体，将带钢按平行和垂直于轧制方向冲压成薄片。将这种冲片交替叠置组成叠片组。为使叠片具有纵向弯曲强度，叠片可用夹板和双头螺栓把紧，用胶粘或用带凹台的板夹紧。

制作导磁体用的叠片的形状可根据被测力大小、压磁元件接触面尺寸及所需输出特性灵敏度等参数选定（图1）。不同形状叠片也能组成外形尺寸完全相同的压磁元件，但压头所测出的最大压力是不相同的。应予以指出，测定较大单位压力所用的冲片，其输出特性灵敏度有所降低。

平行六面体导磁体承受全部被测力，因此在计算其强度时应考虑全部被测力。

Φ. B. 玛依奥洛夫的研究[16]表明，用单个冲片叠成的导磁体在其他条件相同的情况下能得到较大的输出信号，而且输出特性的灵敏度也比较高。

圆筒形（或环形）导磁体系用硅钢带缠在环上而制成。为使导磁体具有机械强度，再在圆筒外用环套紧。

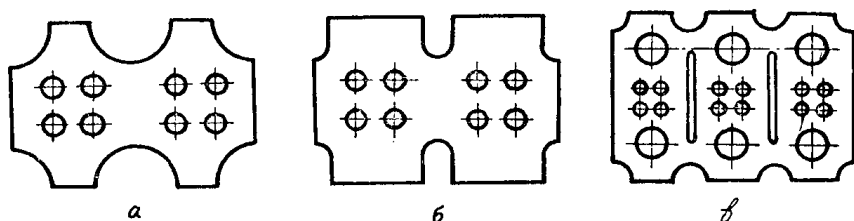


图 1 测定下列单位压力用的导磁体的硅钢片

a —600公斤/厘米²以下； b —800公斤/厘米²以下； c —1000公斤/厘米²以上

圆筒形导磁体有很多缺点影响其用于测定轧制力，主要缺点是：

1. 在其他条件相同的情况下，圆筒形（或环形）压磁元件的接触面比平行六面体压磁元件要小30~40%；
2. 环形导磁体的内径因受相邻几组绕组区域内饱和情况的制约而限制了激磁与测量绕组的数量；而导磁体的内径越大，可安置的绕组也越多，而接触面越小。

尽管圆柱形导磁体的接触面略小，但在其他条件相同的情况下能较均匀地承受被测力。圆柱形导磁体供安在压下螺丝与上支承辊轴承座之间的压头使用。

目前研制了各种不同构造的压头。

НИИПТМАШ（起重运输机械科学研究所）的压磁式压头用于冷轧薄板轧机。压头（图2）由带止推轴承座的上盖板1内安有液压校准装置柱塞3的外壳2及带压磁元件5的环4组成。压磁元件系由硅钢片用环箍6夹紧而成的叠片组。为防止压头的内腔受到灰尘和杂物的作用，设有护罩。

叠片组有14个孔洞排成两行，激磁和测量绕组从这些孔洞穿过。因为叠片组的尺寸不大，所以另设环4，以便承受部分被测力，并限制压磁元件的变形。

作用在压头上的轧制力，部分由导磁体承受，部分由环承受。可以设想，在压磁元件内，导磁体与环之间会出现温差。此外，环与导磁体所用钢种的线膨胀系数也不相同。因此，导磁体与环之间的轧制力将是非均布的。

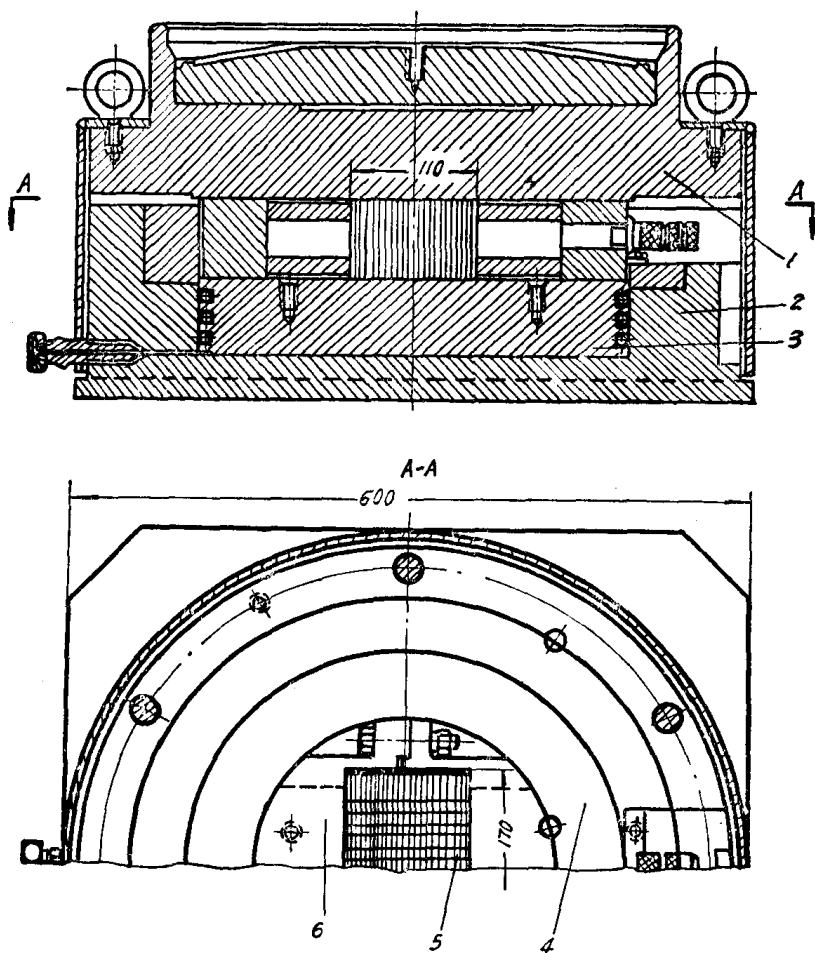


图 2 起重运输机械科学研究所的压磁式压头

南乌拉尔机器制造厂的压磁式压头〔4〕，用于测定 900/700/500 钢坯连轧机的轧制力。压头安在压下螺丝与上支承辊轴承座之间。导磁体做成圆筒形，按径向布置的孔洞内有 4 个串联绕组分路。两个分路由水平绕组组成，另两个则由垂直绕组组成，从而形成一等臂电桥。

上述压头的可靠性高，输出功率大，因此无需电子管放大器，制作和使用简便。此外，压头的高度小，可安在旧轧机上。测定精度为 5%。同时应指出，压力——输出信号校准曲线是非线性的。

圆筒形（或环形）压磁式压头[22]，用于测定带材轧机的轧制力。压头（图3）由导磁体1、内环2和外环3、激磁绕组4和测量绕组5组成。导磁体系用0.35~0.5毫米厚硅钢带卷成圆筒而制成。

压头的输出特性在压应力为800公斤/厘米²以内时是线性的，而压头能承受1200~1300公斤/厘米²的荷载。

ASEA（瑞典通用电器公司）的压磁式压头用于测定各型轧机的轧制力。它们安在压下螺丝与上支承辊轴承座之间，或安在下支承辊轴承座与牌坊之间。在最新产品中，圆柱形压磁式压头值得一提。

压磁元件做成圆柱形就能均匀受力，而且压磁元件本身和压头的造型比较合理。图4示有压磁元件，表1为被测力的范围和元件的主要尺寸。上述压磁元件能测定700~2800吨的压力（最大）。

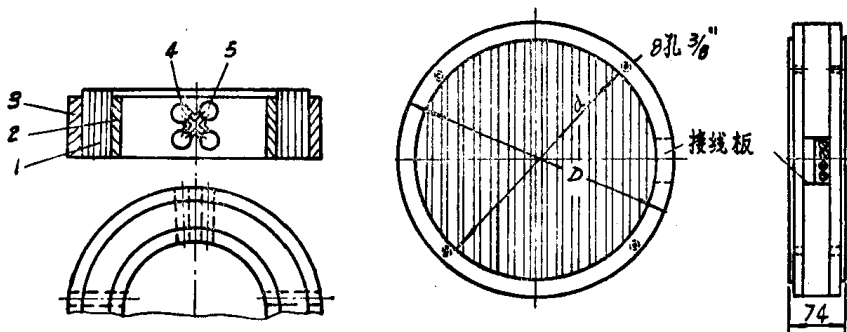


图3 圆筒形压磁式压头 图4 ASEA(瑞典通用电器公司的压磁元件)

图5示有瑞典通用电器公司用于带材轧机的压磁式压头。压头由垫板1、压磁元件2、外壳3、隔板4、止推轴承5及法兰盘6组成。法兰盘6能使压头悬挂在压下螺丝7的上面。为防止在压下螺丝抬高（为更换带轴承座的支承辊）时压头的旋转，在牌坊上安有插入法兰盘相应切口内的插销8。垫板插入上支承辊轴承座开口内的间隙不大，使压头不致绕压下螺丝的轴旋转。为避免把扭矩传给压磁元件，在外壳内安有插入止推轴承相应凹槽内的制销9。

在更换带轴承座的支承辊时，压下螺丝随同悬挂的压磁式压头向

ASEA (瑞典通用电器公司) 圆柱形压磁元件的类型尺寸 表 1

类 型	最大被测力 (吨)	直 径 (毫米)	
		导 磁 体 d	压 磁 元 件 D
A	700	300	350
B	800	330	380
C	1000	360	410
D	1200	390	440
E	1400	420	470
F	1600	450	500
G	1800	480	530
H	2000	510	560
I	2250	540	590
J	2500	570	620
K	2800	600	650

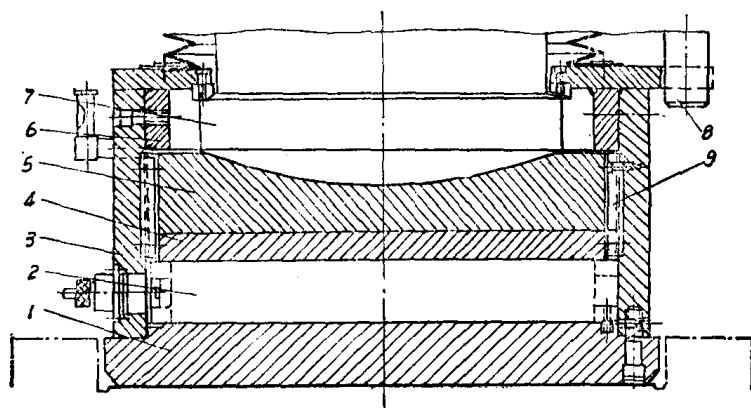


图 5 ASEA (瑞典通用电器公司) 的压头

上抬起。因此，压磁式压头无需重新配置，电缆也无需重新连接。

图 6 示有瑞典通用电器公司的安在带材精轧机组工作机架上的压磁式压头。与前一种压头相比，这种压头用止推滚柱轴承代替止推轴承，止推滚柱轴承的下环以外壳为准进行固定，以免把扭矩传给压磁元件。

瑞典通用电器公司的压磁式压头在国外的许多轧机上用于测定轧制力，并把信号送给热轧和冷轧带材轧机的带材厚度自动调节系统。

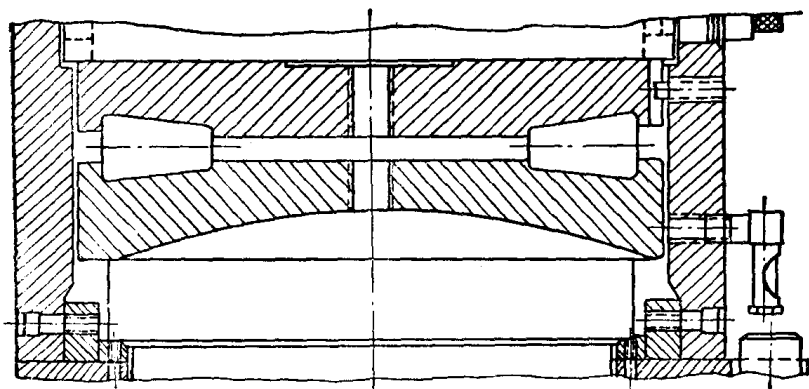


图 6 瑞典通用电器公司的带止推滚柱轴承的压头

自动化研究所的压磁式压头由外壳和平行六面体压磁元件组成。这种压头用于测定 500~1500 吨的轧制力，并把信号送给热轧和冷轧带材轧机的带材厚度自动调节系统。这种压头安在压下螺丝与上支承辊轴承座之间或下支承辊轴承座与牌坊之间。

4. 压头的校准

为了监视工艺过程或自动调节带材厚度而进行轧制力测定，其测定精度应相当高，测定误差不应超过计算值。

轧制力的测定精度取决于校准精度。

由于压力与牌坊立柱变形之间的关系还不清楚，所以 ТИМ-500 型电感式压头直接在工作机架上进行校准。校准时采用由液压缸、高压泵及气压表组成的液压校准装置。液压缸安在压下螺丝下面，此时取下止推轴承的衬套。用压下装置挤压工作机架，同时产生作用于轧辊上的压力（为防止出现“耳子”，工作辊和支承辊按穿引速度旋转）。然后根据气压表的读数确定推挽力。在这以后，作出压力——电感式传感器输出信号曲线。

工作机架上按等量连续加荷，先按上升曲线，然后按下降曲线。由于有滞后现象，所以校准曲线按中点作出，中点是上升曲线与下降曲线之间纵座标的平均值。

高压液压泵的作用是在压下螺丝的电驱动不能得出所需压力时用

来增大工作机架上的荷载。

烏拉尔重机厂的液压泵。用于校准 ТИМ-500 型电感式压头。液压缸安在压下螺丝下面。液压缸的密封圈用双头螺栓以法兰盘夹住。双头螺栓的拉紧力可在不同范围内变化，在装配时未加控制，因此，按密封圈内摩擦损耗而确定的液压缸的效率也将在一定范围内变化。所以电感式压头的校准精度不高，只能近似地测定轧制力，其精度为 $\pm 10\%$ 。

安在压下螺丝下面的电感式和电阻式压头，用单独的或安在压头内的液压校准装置进行校准，也可用专用液压机校准。

ЦНИИТМАШ (中央工艺与机械制造科学研究所) 的液压校准装置[17]，安在压下螺丝下面，由外壳 1、压环 2、柱塞 3 及胀圈 4 组成 (图 7)。该装置有限制柱塞行程的保护螺栓。为加速校准过程，宜用往复式高压泵。校准前，在把装置安在上支承辊轴承座上以后，必须把压下螺丝抬高几毫米，并在装置的内腔里灌满油以形成油层。然后用压下装置对工作机架加荷，并校准压头。

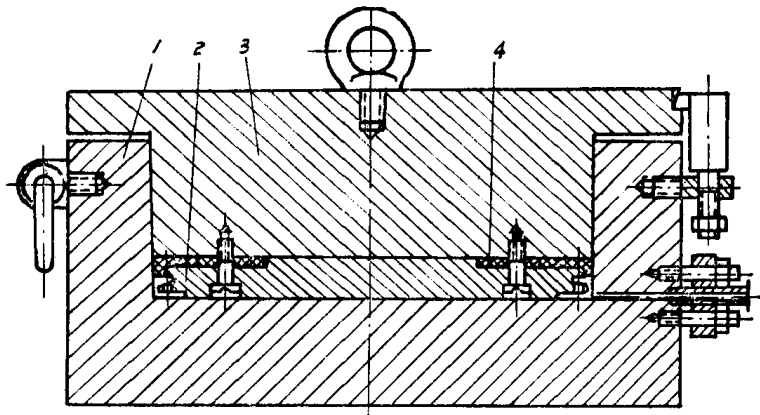


图 7 中央工艺与机械制造科学研究所的液压校准装置

ВНИИМЕТМАШ (全苏冶金机械科学研究所) 的 МУ 和 МУО 型万能压头[17] 有内设的液压校准装置，用压下装置校准工作机架。高压液压泵用于预先把油送到液压缸的内腔，并对工作机架加荷。为避

免损坏工作辊的表面，校准时在工作辊之间放置软金属板。

由于密封圈的摩擦损耗不详，因此，这种情况下的校准精度也不高。

自动化研究所的压头用ИПС-1000型试验机校准。这种试验机的压力在1000吨以内，用于金属和非金属材料的试件和不同结构进行抗压和纵向弯曲的静载试验。

试验机由压力机本身、高压泵装置及摆锤测力计组成。1000吨刻度盘的最小分度值为2吨。试验机读数的平均相对误差为 $\pm 1\%$ 。与此同时，在试验机上安有两个压头（一个倒置），在其间安有插入止推轴承座内的中间零件。

因此，校准压头有两种方法：一种是压头直接在工作机架上用单独的或安在压头内的液压校准装置进行校准，另一种是压头在工作机架以外用试验机校准。

第一种校准方法的优点是能在工作机架上校准，压头直接安在处于运转过程中的工作地点上。但这种情况下的校准精度不高。

压头的第二种校准方法（在工作机架以外用试验机校准）的校准精度可达 $\pm 1\%$ 。在现代轧制生产条件下这种校准方法最为合理，应建议采用。

车间里有几台轧机时，用试验机校准压头在技术经济上是完全合理的。轧机数量较少时使用试验机校准不经济，宜用轧机工作机架本身进行压头的重复校准，方法如下：把出厂的经过校准的压头放在轧机的工作机架上，利用电感式压头（Продуктиметра）的读数用压下装置作出工作机架的弹性变形曲线，作为以后压头进行重复校准时的标准曲线。这种方法甚至在车间里设有试验机的情况下也可用于重复校准。

目前出现一种测力计，它在原则上可直接在工作机架上校准压头，校准精度较高。测力计应安在支承辊轴承座之间的孔内，此时轴承座应具有足够的强度。

5. 各型压头构造特点的比较分析

我们利用压头的安装地点、构造、使用特点及输出信号等项目对