

锅 炉 钢 材 制 造 工 艺 学

(中 册)

西安交通大学

锅炉教研室

1977年8月

赠阅 请交换
西安交通大学图书馆

毛主席语录

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

我们一定要努力把党内党外、国内国外的一切积极的因素，直接的、间接的积极因素，全部调动起来，把我国建设成为一个强大的社会主义国家。

在生产斗争和科学实验范围内，人类总是不断发展的，自然界也总是不断发展的，永远不会停止在一个水平上。因此，人类总得不断地总结经验，有所发现，有所发明，有所创造，有所前进。

认识从实践始，经过实践得到了理论的认识，还须再回到实践去。认识的能动作用，不但表现于从感性的认识到理性的认识之能动的飞跃，更重要的还须表现于从理性的认识到革命的实践这一个飞跃。

1111153/02

毛主席语录

学习有两种态度。一种是教条主义的态度，不管我国情况，适用的和不适用的，一起搬来。这种态度不好。另一种态度，学习的时候用脑筋想一下，学那些和我国情况相适合的东西，即吸取对我们有益的经验，我们需要的是这样一种态度。

红与专、政治与业务的关系，是两个对立物的统一。一定要批判不问政治的倾向。一方面要反对空头政治家，另一方面要反对迷失方向的实际家。

我国人民应该有一个远大的规划，要在几十年内，努力改变我国在经济上和科学文化上的落后状况，迅速达到世界上的先进水平。

目 录 (中 册)

第十三章 金属材料的切割

第一节 机械切割	1
(一) 龙门式剪床.....	1
(二) 圆盘式剪床.....	3
(三) 摩擦圆盘锯床.....	4
(四) 有齿圆盘锯床.....	5
(五) 专用切管机.....	5
第二节 火焰切割	6
(一) 火焰切割过程原理.....	7
(二) 可燃气体.....	10
(三) 气割对金属性质的影响.....	13
(四) 气割设备.....	14
(五) 火焰切割技术.....	25
(六) 高速火焰切割技术.....	31
(七) 液化石油气、天然气切割.....	38
第三节 等离子弧切割	44
(一) 等离子弧的基本原理.....	44
(二) 等离子弧的产生.....	45
(三) 等离子弧的特点.....	46
(四) 等离子弧的类型.....	46
(五) 等离子弧切割设备.....	47
(六) 等离子弧切割技术.....	50
第四节 碳弧气刨 (亦称电弧气刨)	54
(一) 碳弧气刨设备.....	55
(二) 碳弧气刨工艺.....	57
(三) 低碳钢、不锈钢及其他合金钢的碳弧气刨.....	58

第十四章 电弧焊接与电渣焊接

第一节 概述	61
第二节 焊接电弧	64

(一) 电弧放电过程.....	64
(二) 焊接电弧各个区域的物理特征.....	65
(三) 焊接电弧的静特性.....	66
(四) 电弧的极性.....	67
(五) 焊接电弧的稳定性.....	68
(六) 焊接电弧的磁偏吹及防止方法.....	69
第三节 电弧焊的焊接接头.....	70
(一) 电弧焊过程.....	70
(二) 焊缝的形成.....	70
(三) 焊接热影响区的显微组织.....	71
第四节 手工电弧焊接.....	73
(一) 电焊条.....	73
(二) 手工电弧焊机.....	78
(三) 手工电弧焊接技术.....	83
第五节 埋弧自动焊接.....	87
(一) 概述.....	87
(二) 埋弧自动焊的冶金过程.....	89
(三) 焊接过程的自动调节.....	93
(四) 埋弧自动焊机.....	100
(五) 锅炉锅筒纵缝及环缝埋弧自动焊接装置.....	106
(六) 埋弧自动焊接用的焊接材料.....	108
(七) 埋弧自动焊接的焊件准备.....	113
(八) 埋弧自动焊时焊接规范的选择.....	117
(九) 埋弧自动焊接技术.....	121
第六节 磁弧焊接.....	126
(一) 磁弧焊接的原理.....	126
(二) 磁弧焊接的优点.....	127
(三) 管件的磁弧焊接技术.....	127
第七节 电渣焊接.....	132
(一) 概述.....	132
(二) 电渣焊接用的焊接材料.....	136
(三) 电渣焊接设备.....	137
(四) 电渣焊接的焊前准备.....	144
(五) 丝极电渣焊接技术.....	145

(六) 环向焊缝丝极电渣焊接的特点.....	149
------------------------	-----

第十五章 气体保护电弧焊接

第一节 概述.....	152
-------------	-----

(一) 气体保护电弧焊的基本原理.....	152
(二) 气体保护电弧焊的优点.....	152
(三) 常用保护气体的种类及其性质.....	153
(四) 对气体保护电弧焊设备的基本要求.....	154
(五) 气体保护电弧焊的分类.....	155

第二节 钨极氩弧焊.....	155
----------------	-----

(一) 钨极氩弧焊的一般工艺特点.....	155
(二) 电弧在氩气中燃烧的特点.....	155
(三) 电极材料的选择.....	158
(四) 电源种类和极性的选择.....	158
(五) 钨极氩弧焊接设备.....	162
(六) 钨极氩弧焊接技术.....	167

第三节 熔化极氩弧焊.....	171
-----------------	-----

(一) 概述.....	171
(二) 熔化极氩弧焊的熔滴过渡.....	172
(三) 熔化极氩弧焊接设备.....	176
(四) 熔化极氩弧焊工艺.....	180

第四节 熔化极脉冲氩弧焊.....	181
-------------------	-----

(一) 熔化极氩弧焊的局限性.....	181
(二) 熔化极脉冲氩弧焊的基本原理.....	181
(三) 对脉冲参数的基本要求.....	182
(四) 熔化极脉冲氩弧焊接技术.....	183

第五节 二氧化碳气体保护焊(简称 CO ₂ 焊)	187
---	-----

(一) 概述.....	187
(二) CO ₂ 焊的冶金特点.....	188
(三) CO ₂ 焊用的气体和焊丝.....	190
(四) CO ₂ 焊的熔滴过渡特性.....	191
(五) CO ₂ 焊的飞溅问题.....	196
(六) CO ₂ 焊的焊接设备.....	196
(七) CO ₂ 焊焊接规范参数的选择.....	199

第六节 气电焊的发展情况	202
(一) 保护气体的选择	202
(二) 窄间隙焊接法	204
第七节 气电焊的劳动保护	211

第十六章 接触焊、摩擦焊与等离子弧焊

第一节 接触焊	213
(一) 概述	213
(二) 接触电阻概念	214
(三) 闪光对接焊过程	216
(四) 闪光对接焊机	218
(五) 锅炉受热面管件的闪光对接焊技术	222
(六) 闪光对接焊缝的灰斑问题	225
第二节 摩擦焊	229
(一) 摩擦焊接的基本原理	229
(二) 摩擦焊的优点	231
(三) 摩擦焊的焊接接头	232
(四) 焊接工艺规范的选择	232
(五) 长管摩擦焊接技术	233
第三节 等离子弧焊接	235
(一) 概述	235
(二) 等离子弧焊接设备	236
(三) 全位置脉冲等离子弧焊接技术	238

第十七章 焊接应力及变形

第一节 焊接应力及变形产生的原因	245
(一) 纵向焊接应力及变形	246
(二) 横向焊接应力及变形	247
(三) 弯曲变形	247
(四) 角变形及波浪变形	248
第二节 减少焊接应力及变形的办法	249
(一) 选择合理的装焊顺序	249
(二) 选择合理的焊接顺序	249

(三) 反变形法	250
(四) 刚性固定法	251
(五) 其他减少焊接应力及变形的办法	251

第十八章 锅炉钢材的焊接

第一节 普通低合金结构钢的焊接 252

(一) 普通低合金结构钢的焊接特点	252
(二) 普通低合金钢的焊后热处理和消除应力问题	272
(三) 16Mn钢的焊接	274
(四) 15MnV钢的焊接	277
(五) 14MnNb钢的焊接	278
(六) 18MnNb钢的焊接	280

第二节 低合金珠光体热强钢的焊接 283

(一) 低合金珠光体热强钢的焊接特点	283
(二) 低合金珠光体热强钢焊接材料的选择	285

第三节 奥氏体不锈钢的焊接 286

(一) 铬镍奥氏体不锈钢的焊接特点	286
(二) 奥氏体不锈钢焊条	287
(三) 不锈钢的手工电弧焊	289
(四) 不锈钢的埋弧自动焊	290
(五) 不锈钢的氩弧焊	290

第十九章 焊接缺陷及检验

第一节 焊接接头的缺陷 291

(一) 焊缝尺寸不符合要求	291
(二) 弧坑	291
(三) 焊穿	292
(四) 咬边	292
(五) 焊瘤	292
(六) 严重飞溅	293
(七) 夹渣	293
(八) 未焊透	293
(九) 气孔	294
(十) 裂纹	295

第二节 焊接接头的检验方法	297
(一) 焊接接头检验方法的分类.....	297
(二) 非破坏性检验方法.....	298
(三) 破坏性检验方法.....	300

第十三章 金属材料的切割

锅炉的各种零、部件都是以板材、管材以及各种型钢作为原材料的。在其制造过程中，均需经过切割下料工作。

工业生产中比较广泛应用的切割方法有三种：机械切割、火焰切割和等离子弧切割。这三种切割方法从其工作原理、操作方法、经济效果等方面来看，是有着原则性差别的。

机械切割时，金属材料的分离是依靠外力作用的结果。火焰切割是依靠金属在氧气中燃烧并予以吹除而达到分离金属材料的目的。等离子弧切割则是利用极高温的等离子焰流使金属熔化而把它切割开。

在锅炉制造中，这三种切割方法都在不同的情况下予以应用。

第一节 机械切割

机械切割是利用各种剪切机械，如龙门式剪床、圆盘式剪床、摩擦圆盘锯床、有齿圆盘锯床以及各种特殊的专用切割机械，将金属材料切割分离的。

机械切割具有生产率高、切口较光洁等优点，因而得到广泛的应用。

(一) 龙门式剪床

龙门式剪床的剪切情况如图 13-1 所示。被切割的钢板 3 放在上下两把剪刀 1 与 2 之

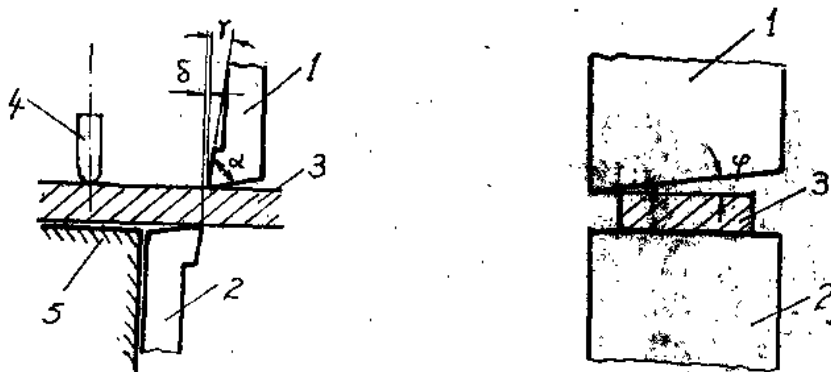


图 13-1 龙门式剪床切割示意图

1—上剪刀；2—下剪刀；3—钢板；4—压具；5—工作台。

间,为了不使钢板在剪切时翻倒,依靠压具4把钢板压紧在工作台5上,开动剪床的电动机,通过传动机构使上剪刀1向下移动。此时,上下剪刀均压入钢板内,并产生了剪切力,当产生的剪切应力超过钢板材料的抗剪切强度时,钢板就被剪断。由钢板的剪切断面观察可知:断口的上下各有一个狭窄的光滑区,具有金属的光泽,这就是由于上下剪刀压入钢板中所形成的;断口的中间部分为粗糙区,无光,这是在剪切力作用下,钢板被剪断的部分(参看图13-2)。

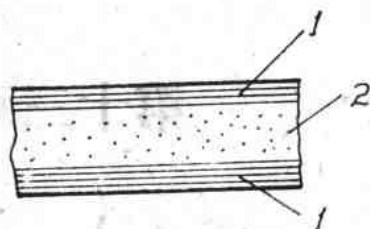


图 13-2 被剪切钢板的断口示意图
1—光滑区; 2—粗糙区。

金属材料被剪切后,除了其断口具有上述特点外,在切割线附近2~3毫米范围内,材料发生了冷加工硬化现象。

为了获得良好的剪切质量,并降低所需的剪切力,应使剪切过程尽可能接近于纯粹的剪切。如果使上下剪刀的刀刃严格地处在同一垂直平面内,便可达到此目的。但实际上,在上下剪刀的刀刃之间总需留有少许间隙,间隙的存在,就会使钢板剪切时造成一定的弯曲变形,使切割的光洁度变差,同时产生毛刺,因此间隙不能留得太大。间隙的大小与被切割钢板的厚度有关,一般不应大于0.5毫米,具体数值可参考表13-1所示。

表 13-1 切割不同厚度的钢板时,上下刀刃间的间隙值

切割钢板的厚度(毫米)	≤ 5	6~14	15~40
上下刀刃间距离(毫米)	0.03	0.1	0.4~0.5

为了使刃口工作时刀刃的前面与被切割钢板的断口减少摩擦,剪刀应具有前角 γ ,通常前角 $\gamma=2^\circ$ 。为了使剪刀易于切入钢板中,剪刀的切削角 α 应小于 90° ,通常 $\alpha=75^\circ\sim 80^\circ$ 。为了减少剪切力,上剪刀应倾斜成一定的角度,下剪刀应是水平的。上剪刀的倾角 φ 愈大,则所需的剪切力愈小。但倾角 φ 愈大,则钢板在剪切过程中易发生移动,妨碍了剪切过程的正常进行。通常,上剪刀的倾角 φ 限制在 $9^\circ\sim 14^\circ$ 左右。

龙门式剪床由于其生产率高,剪切质量较好等优点,在锅炉制造中得到广泛应用。但是,它只能切割直线边缘,切割长度也受到机床跨距的限制,通常最大切割长度可达2000~2500毫米。龙门式剪床可剪切的钢板厚度也有一定的限制。剪切厚钢板的龙门式剪床需要很大的功率,而且体积十分庞大,重量很重。例如,剪切钢板最大厚度达40毫米的龙门式剪床,电动机功率需100瓩,机床总重达145吨。这种大型的龙门式剪床一般应用较少。目前,我国各锅炉厂所用的龙门式剪床一般都是剪切钢板厚度在20毫米以下的设备。

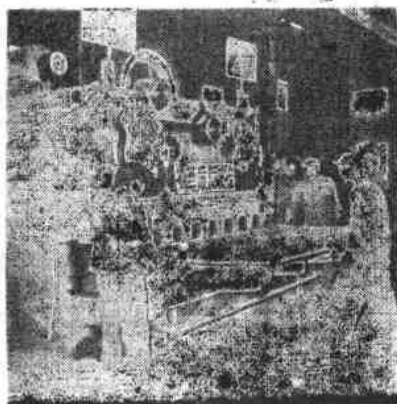


图 13-3 龙门式剪床

图13-3为石家庄锅炉厂工人师傅自力更生,土法上马制成的龙门式剪床。这台龙门式剪床采用

全焊接结构，重量较轻，由脚踏操纵，依靠弹簧压料架压紧被切割钢板，上下刀刃间的间隙可用螺钉调整。上剪刀的倾角也可根据所剪钢板厚度予以调整。上剪刀不仅可作上下运动，而且还可沿着下剪刀作纵向运动。

这台龙门式剪床的主要技术参数：

剪切钢板的最大尺寸（厚×长）：	18×2270毫米
剪切次数：	15次/分
剪切行程长度：	240毫米
两立柱间距离：	2400毫米
电动机：功率	20瓩
转速	1450转/分
机床外形尺寸（长×宽×高）：	2960×2738×2740毫米
机床总重：	12吨

（二）圆盘式剪床

圆盘式剪床的切割过程示意图如图 13-4 所示。这种剪床装置着一对圆盘形剪刀，这对剪刀可垂直装置如图 13-4 甲，也可倾斜装置如图 13-4 乙。工作时，上下两圆盘形剪刀作反向旋转，将钢板推送到与两圆盘刀刃相接触处时，钢板便受到上下圆盘剪刀的剪切作用，随着钢板的继续推送，钢板便被切开。

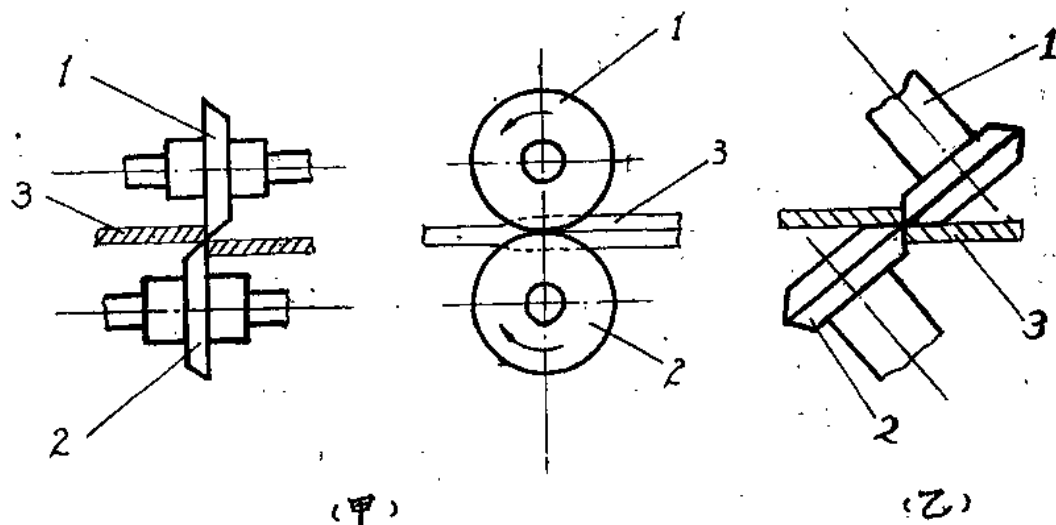


图 13-4 圆盘式剪床切割示意图
1—上圆盘剪刀；2—下圆盘剪刀；3—被切割钢板。

圆盘式剪床不仅可以切割直线边缘，而且可以切割各种曲线形边缘，其切割长度也不受限制，可连续进行切割工作。这种剪床的剪切速度通常为 5~20 米/分。

圆盘式剪床由于受机床结构的限制，不能切割较厚的钢板，一般最大只能切割 25 毫米厚的钢板，此时，机床已很笨重。通常的圆盘式剪床都是切割厚度在 10~12 毫米以下的钢板。

因此，在薄钢板的切割方面圆盘式剪床得到较广泛的应用。

(三) 摩擦圆盘锯床

摩擦圆盘锯床切割金属材料的基本原理是依靠高速旋转的薄片圆盘与金属材料相接触，在接触处摩擦所产生的热量，使金属材料局部熔化或软化，然后在高速下将它由切口处抛出，把金属材料切开。

在切割过程中，锯盘虽然始终与被加热至高温的被切割材料相接触，但是它本身几乎一点也不热。这是由于锯盘的速度很高，锯盘圆周上任一点与被切割材料接触的时间都很短，因此来不及发热，即使被加热，该点在不与被切割材料接触的时间内，便立刻把热量散失掉了。

此时，被切割材料所处的条件就不同了。其切口处的金属连续地受到锯盘的摩擦，由于摩擦热蓄积在切口处，使该处金属温度差不多在瞬间便增高到熔点，从而使切口处金属熔化，材料便被切开。

锯盘的圆周速度（或称切削速度）在用摩擦锯的切割过程中是十分重要的。

如果盘的圆周速度较低，则一方面由于被切割材料受热少而使切割过程不易进行；另一方面，会使锯盘边缘温度升高变软，锯盘很快就磨损了。因此，锯盘圆周速度的下限应保证摩擦锯连续工作时，锯盘不致发热。一般在用钢盘冷割金属材料时，此速度的下限可取为40~50公尺/秒。

锯盘圆周速度的上限主要决定于盘的强度。

如果锯盘采用碳钢制造，并且厚度适当时，锯盘的圆周速度可大致上按下列经验公式确定：

$$v = 0.05D + 60 \quad \text{公尺/秒}$$

式中： D ——盘的直径，毫米。

锯盘的转速为：

$$n = \frac{60 \times 1000v}{\pi D} \quad \text{转/分}$$

锯盘的厚度通常可取为：

$$B = \frac{D}{200} \quad \text{毫米}$$

关于锯盘所用的材料，必须保证摩擦发生的热量大部分传到被切割材料中，以便于切割过程的顺利进行。

我们知道，当两种不同的材料相互摩擦时，所产生的热量的分布是与其导热系数成正比关系的。即

$$\frac{Q_1}{Q_2} = \frac{\lambda_1}{\lambda_2}$$

此处： λ_1 及 Q_1 ——锯盘的导热系数及传到锯盘的热量；

λ_2 及 Q_2 ——被切割材料的导热系数及传到被切割材料上的热量。

由此式可知，要顺利地进行切割，就要使被切割材料上的热量 Q_2 较大，则应使 $\lambda_2 > \lambda_1$ ，即锯盘所用材料的导热系数 λ_1 应较小。根据这个原则，那些导热性较好的材料（如黄铜、

紫铜等)是不适宜用来作锯盘的。目前,摩擦锯盘都是用软而韧性大的低碳钢制造,也有用以树胶为基础的塑性材料来制造,因为这种材料的导热系数较低。另外,摩擦锯也常用薄片砂轮作为锯盘,其主要缺点是砂轮片很脆,较易破损。

在锅炉制造中,摩擦锯常用来切割各种型钢及小口径管件。

(四)有齿圆盘锯床

有齿圆盘锯是依靠锯齿对被切割材料的切削作用把材料割开的。用这种设备切割材料的切口质量好,但切割速度较慢。有齿圆盘锯在锅炉制造中常用以切割一些较大的型钢及管材等。

(五)专用切管机

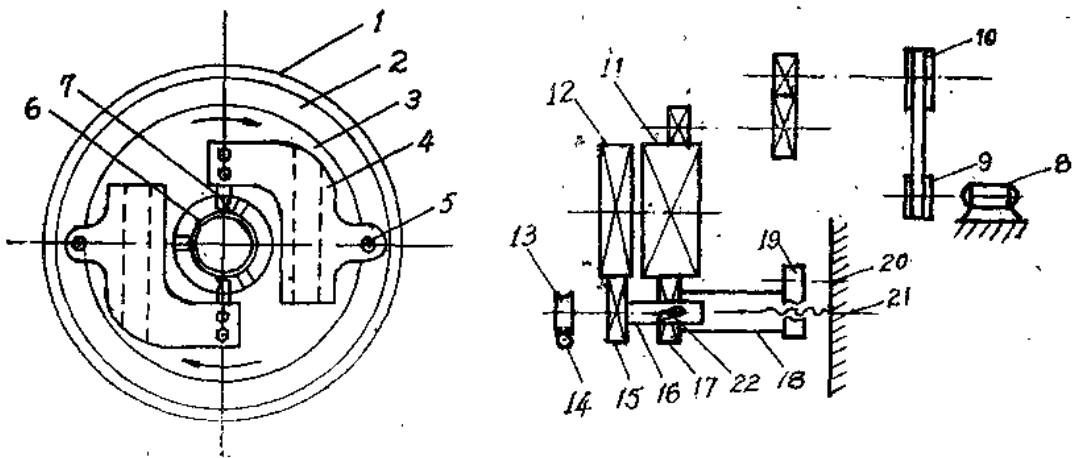
在锅炉制造中,管件的数量是很多的,因此管子切割的工作量较大,常采用各种专用的切管机进行管子的切割工作。

锅炉厂常用的专用切管机有两类:一类是刀具固定、管子旋转的切管机床,另一类是管子固定、刀具旋转的切管机。

刀具固定、管子旋转的切管机床类似车床,被切割的管子夹在卡盘中作旋转运动,依靠刀具的进给将管子割断。这类切管机床只能切割长度较短的直管。由于其适用范围较狭,因而应用较少。

管子固定、刀具旋转的切管机由于可以切割直管和弯管,切管的长度也不受限制,而且机床设备简单,生产率高,因而在锅炉制造中得到广泛的应用。

图 13-5 是管子固定、刀具旋转的切管机的简图。



甲、结构简图

乙、传动系统示意图

图 13-5 刀具旋转的切管机简图

- 1—机壳; 2—转盘; 3—刀架转盘; 4—滑槽刀架; 5—刀架转轴; 6—被切割管件; 7—刀具; 8—传动马达;
9、10—皮带轮; 11、12—传动齿轮; 13—蜗轮; 14—蜗杆; 15—齿轮; 16—转轴; 17—齿轮; 18—套筒轴;
19—螺母块; 20—固定杆; 21—进刀轴杆; 22—销轴。

转盘2与刀架转盘3等速一起转动,刀架4是依靠燕尾形滑槽装置在刀架转盘3上。因而,刀架随着转盘而旋转。在切管过程中需要进刀时,使转盘2与转盘3产生少量的相对转动(即使两转盘的转速不相等),此时,由于刀架4是套在转盘2上的轴5中的,转盘2与转盘3产生的相对转动,就使刀架4在燕尾滑槽内上下移动,以满足进刀或退刀的要求。

这种切管机的传动系统如图13-5乙所示。电动机8经皮带传动及齿轮减速,带动大齿轮11旋转(大齿轮11是与转盘3连在一起的)。大齿轮11带动齿轮17。齿轮17依靠梢轴22带动轴16。由于轴16与齿轮15是固定联接,因而齿轮15也被带着转动了。齿轮15又带动大齿轮12转动(大齿轮12是与转盘2连在一起的)。由于大齿轮11与12的直径相同,齿轮15与17的直径相同,因而,转盘2与转盘3得到相同的转速。当需要进刀时,转动手轮,通过蜗杆14及蜗轮13使轴杆21旋转。轴21是穿过轴16及套筒轴18的,轴21的端部有螺纹,并与螺母块19相结合,螺母块19是与固定杆20连接在一起的,因此轴21的旋转,只能使螺母块19作左右移动。螺母块19与套筒轴18为活络联接,螺母的移动使套筒轴18与齿轮17产生移动。齿轮17的移动通过梢轴22及轴16上开的斜槽,而使轴16及齿轮15产生少量旋转。这样,就使大齿轮12与大齿轮11产生了相对转动,从而形成进刀或退刀动作。

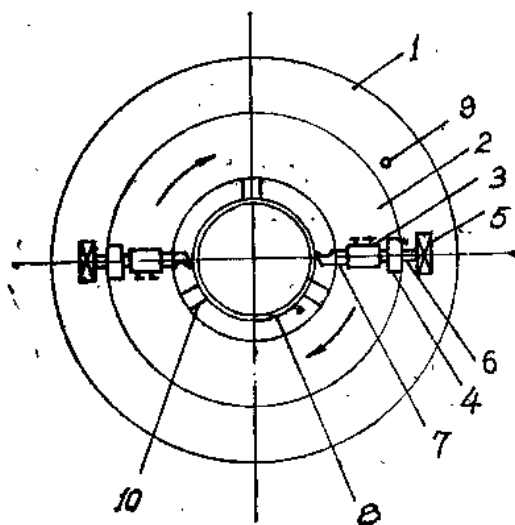


图 13-6 武汉低压锅炉厂自制机管机

- 1—固定盘; 2—转盘; 3—移动刀架; 4—螺母; 5—齿轮;
6—丝杆; 7—刀具; 8—被割管子; 9—进刀挡杆;
10—管子夹头。

武汉低压锅炉厂的工人师傅在大搞技术革新,自力更生制造土设备的过程中,创造了一种结构十分简单,操作方便的切管机。这种切管机的简图如图13-6所示。管子8被夹在三爪卡盘10中。刀具7装在可沿半径方向移动的刀架3上,在转盘2上共装置二个刀架。切割管子时,刀架随着转盘2转动,每转动一圈,刀架端部的齿轮5使被装置在固定盘1上的进刀挡杆9拨动一个齿,此时,刀架3便因丝杆6的作用,而作少量的径向移动(进刀)并切割管子。这种切管机的进刀是间断地进行的,但由于每转一圈的进刀量是很小的,因而不会影响割管工作的正常进行。这种切管机制造很方便,很适宜在小型锅炉厂中推广使用。

第二节 火焰切割

火焰切割简称气割。它是利用可燃气体与氧气混合燃烧的预热火焰,将被切割金属加热到其燃烧点,然后喷射切割氧,使割缝处的金属剧烈燃烧,并吹除燃烧后产生的氧化物而把金属分割的方法。可燃气体与氧气的混合以及切割氧的喷射是利用割炬来完成的。

气割主要用于各种碳素结构钢和低合金结构钢材的切割工作。它的特点是设备简单、生

产率高以及成本低。特别适用于切割厚件、复杂件以及各种位置 and 不同形状的零件的备料。因此火焰切割在锅炉制造等行业中得到十分广泛的应用。

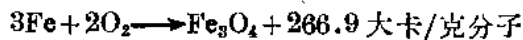
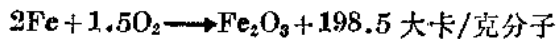
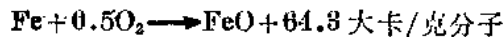
气割可以代替机械切割在金属切割下料时无法胜任的工作。如果采取适当的工艺措施，还能切割高合金钢、铸铁以及部分有色金属等材料。

近年来，气割技术的发展很快，国内已采用了光电跟踪自动切割技术，并正在试用数字程序控制气割设备，各种高速氧气切割新工艺也开始使用，这样大大提高了气割的生产率和切割质量，同时降低了成本。

(一) 火焰切割过程原理

(1) 火焰切割过程

一些金属在氧气中燃烧（剧烈氧化）会产生大量的热量，例如铁在氧流中燃烧就会产生下列各种反应，并放出大量热量。



气割就是利用这一特点来进行切割工作的。

如上所述，气割时先把金属加热，通氧使金属燃烧，并用氧流把生成的金属氧化物吹掉，火焰切割过程如图 13-7 所示，它包括下列三个阶段。

i) 气割开始时，用预热火焰将起割处的金属加热到其燃烧温度（燃点）。这是一个物理过程。

ii) 向被加热到燃点的金属喷射切割氧，使金属剧烈地燃烧，生成金属氧化物并放出大量热量。这是一个化学过程。

iii) 熔化了金属氧化物（熔渣）被切割氧射流吹除。这是一个机械过程。

第二和第三两个阶段在实际操作中是不容易分辨出来的，因为过程进行得很快。

对被切割金属的整个厚度来讲，在表面层下面的金属得不到预热火焰的直接加热，它们是依靠上部金属在切割氧流中燃烧生成的热量而达到燃点。当上部的熔渣被吹走后，切割氧流和下部金属接触，由于它已达到燃点，就在氧流中燃烧并熔化氧化物。这种情况继续下去就能把整个厚度切穿，保证气割工作不断地进行下去。

(2) 火焰切割的条件

火焰切割过程是预热——燃烧——吹渣的过程。但并不是所有的金属都能满足这个进程的要求，而只有符合下列条件的金属才能进行火焰切割。

i) 金属的燃点应低于金属的熔点，这是火焰切割过程正常进行的最基本条件，它保证

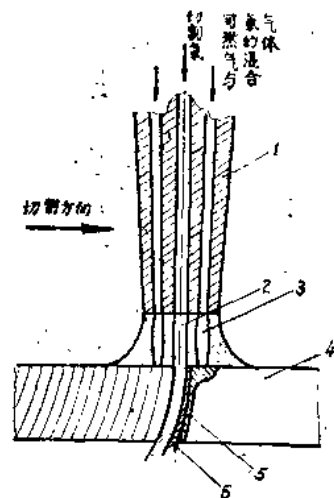


图 13-7 火焰切割过程示意图

1—割嘴；2—切割氧射流；3—预热火焰；
4—割件；5—熔化金属层；6—氧化熔渣层

火焰切割是燃烧的过程。例如低碳钢的燃点约为 1350°C ，而其熔点约为 1500°C 。它完全满足了这个条件，所以低碳钢具有良好的气割条件。

ii) 燃烧产生的金属氧化物的熔点应低于金属的熔点。火焰切割过程产生的金属氧化物必须是低熔点的，它应该低于气割处金属的熔点，同时流动性要好，这样的氧化物才能以液体状态从割缝处吹除。

如果金属氧化物的熔点比金属熔点高，则被加热金属表面上的高熔点金属氧化物，会阻碍下层金属与切割氧射流的接触，而使气割发生困难。

常用的金属及其氧化物的熔点见表 13-2。

表 13-2 常用金属及其氧化物的熔点

金 属 名 称	熔 点 $^{\circ}\text{C}$	
	金 属	氧 化 物
纯 铁	1534	1370~1565*
低 碳 钢	1500	1370~1565*
高 碳 钢	1300~1400	1370~1565*
灰 口 铸 铁	1200	1370~1565*
铜	1083	1230~1336
铝	658	2050
铬	1550	1990
镍	1450	1990
锌	419	1800
锰	1250	1560~1785

备注 * 其中 FeO 的熔点为 1370°C ， Fe_2O_4 的熔点为 1527°C ， Fe_2O_3 的熔点为 1565°C

iii) 金属在切割氧射流中燃烧应该是放热反应。在气割过程中这一条件也很重要，因为放热反应的结果是上层金属燃烧产生很大的热量，对下层金属起着预热作用。例如气割低碳钢时，由金属燃烧所产生的热量约占70%左右；而由预热火焰所供给的热量仅为30%。可见金属燃烧时所产生的热量是相当大的，所起的作用也很大；相反，如金属的燃烧是吸热反应，则下层金属得不到预热，气割过程就不能进行。各种氧化物形成时所放出的热量见表 13-3。

表 13-3 各种氧化物形成时放出的热量

金属氧化物	放出热量 (大卡/克分子)	金属氧化物	放出热量 (大卡/克分子)	金属氧化物	放出热量 (大卡/克分子)
FeO	64.3	ZnO	83.36	Mn_2O_4	336.5
Fe_2O_3	198.5	SnO	67.9	WO_2	130.5
Fe_3O_4	266.9	NiO	58.4	WO_3	195.7
CuO	37.5	Cr_2O_3	273	V_2O_5	320
Cu_2O	40.6	MnO	93.1	MoO_2	130
Al_2O_3	393.3	Mn_2O_3	232.7	MoO_3	184