

Dubbel

机械工程手册

(第一卷)

W. Beitz und K.-H. Küttner

张维 张淑英等 译

清华大学出版社 施普林格出版社

G 机械零件 (Machine parts)

一般参考资料: *Decker, K.-H.*; Maschinenelemente, Gestaltung und Anwendung, 6. Aufl. München: Hanser 1973. *Dittrich, O.*; *Schumann, R.*; Anwendungen der Antriebstechnik, Bd. I-III. Mainz: Krausskopf 1974. *Fronius, St.*; *Tränkner, G.*; Taschenbuch Maschinenbau. Bd. I/II: Grundlagen. Berlin: VEB Verlag Technik 1975. *Klein, M.*; Einführung in die DIN-Normen, 8. Aufl. Berlin: Beuth 1980. Stuttgart: Teubner 1980. *Köhler, G.*; *Rögnitz, H.*; Maschinenteile, Teil 1 und Teil 2. 5. Aufl. Stuttgart: Teubner 1976. -Konstruktionsbücher. Herausgeber: *G. Pahl*. Berlin: Springer. *Niemann, G.*; Maschinenelemente, Bd. I, 2. Aufl. Berlin: Springer 1975. *Niemann, G.*; *Winter, H.*; Maschinenelemente, Bd. II A und IIB. Berlin: Springer 1980/81. *Roloff, H.*; *Matek, W.*; Maschinenelemente; Normung, Berechnung, Gestaltung. 6. Aufl. Braunschweig: Vieweg 1974. *ten Bosch, M.*; Berechnung der Maschinenelemente, 3. Aufl. Berlin: Springer 1953. *Tochtermann, W.*; *Bodenstein, F.*; Konstruktionselemente des Maschinenbaus, Teil I u. 2. 9. Aufl. Berlin: Springer 1979. *VDI-Handbuch: Konstruktion*. Berlin: Beuth.

期刊: *Konstruktion im Maschinen-, Apparate- und Gerätebau* (Herausgeber: *W. Beitz*). Berlin: Springer, *Antriebstechnik* (Herausgeber: *H. Winter*). Mainz: Krausskopf. *DIN-Mitteilungen*. Berlin: Beuth.

1 联接 Connections

吴宗泽 译

陈伯鑫 校

1.1 焊接 Welding

J. Ruge, H. Wöfle, 不伦瑞克 (Braunschweig)
(1.1.1 节 K. A. Ebert, 哈特沙姆 Hattersheim)

焊接是用焊接接头的焊缝把零件在焊口处联接起来。很多焊接零件构成焊接组件而很多焊接组件构成焊接结构。因此,对某些结构,焊接是必须采用的加工方法。工件的破损表面用补焊可以重新修复。耐磨性差的材料的表面用耐磨材料作保护层(耐磨堆焊),抗腐蚀性差的材料可以用抗腐蚀性强的材料“包覆起来”(焊接覆层),或者,在两种不同的材料中间堆焊材料,可以得到应力分布比较合理的联接结构(缓冲)。除了金属以外,还可以用焊接把塑料联接起来。

1.1.1 焊接方法 Welding processes

K. A. Ebert, 哈特沙姆 (Hattersheim)

一般参考资料: *Aichele, A.*; *Smith, A. A.*; MAG-Schweißen. Fachbuchreihe Schweisstechnik Bd. 65. Düsseldorf: DVS-Verlag 1975. *Bartsch, W.*; Die Arcatomschweißung. Halle: Marhold-Verlag 1953. *Bernard, P.*; *Schreiber, G.*;

Verfahren der Autogentechnik, Fachbuchreihe Schweisstechnik Bd. 61, Düsseldorf: DVS-Verlag 1973. *Brunst, W.*; Das elektrische Widerstandsschweißen. Berlin: Springer 1952. *Conn, W. M.*; Die Technische Physik der Lichtbogenschweißung. Technische Physik in Einzeldarstellungen Bd. 13. Berlin: Springer 1959. *DIN-Taschenbuch 8*: Schweisstechnik 1: Normen über Schweißzusätze, Fertigung, Güte und Prüfung. Berlin: Beuth 1980. *DIN-Taschenbuch 65*: Schweisstechnik 2: Normen über Geräte und Zubehör für Autogenverfahren, Löten, Thermisches Schneiden, Thermisches Spritzen und Arbeitsschutz. Berlin: Beuth 1980. *DIN-Taschenbuch 145*: Schweisstechnik 3: Normen über Begriffe, Zeichnerische Darstellung und Elektrische Schweißeinrichtungen. Berlin: Beuth 1980. *Hadick, Th.*; Schweißen von Kunststoffen für Praktiker und Konstrukteur. Schweisstechnische Praxis Bd. 5. Düsseldorf: DVS-Verlag 1969. *Koch, H. u. a.*; Handbuch der Schweisstechnologie, Lichtbogenschweißen. Fachbuchreihe Schweisstechnik Bd. 19. Düsseldorf: DVS-Verlag 1961. *Marchandise, H.*; Plasmathechnologie - Grundlagen und Anwendung.

DVS-Berichte Bd. 8. Düsseldorf: DVS-Verlag 1970. - Müller, P.; Wolff, L.: Handbuch des Unterpulverschweißens. Teil IV: Schweißen mit Bandelektroden. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 63/IV. Düsseldorf: DVS-Verlag 1976. - Munske, H.: Handbuch des Schutzgasschweißens. Elektrotechnische Grundlagen - Schweißanlagen Einstellpraxis. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 30 /II. Düsseldorf: DVS-Verlag 1975. - N. N.: Die Verfahren der Schweißtechnik. Ringbuch. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 55. Düsseldorf: DVS-Verlag 1974. - N. N.: Elektroschlackeschweißen. DVS-Berichte Bd. 6. Düsseldorf: DVS-Verlag 1969. - Ruge, J.: Handbuch der Schweißtechnik, Bd. I und II, 2. Aufl. Berlin: Springer 1980. - Taschenbuch / DVS-Richtlinien/ DVS-Merkblätter. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 68, Teil II. Düsseldorf: DVS-Verlag 1978. - Wellinger, K.; Eichhorn, F.; Gimmel, D.: Schweißen. Stuttgart: Kröner 1964.

联接可能性 靠金属焊接把金属材料联接起来:

把接头部分加热到熔点(熔焊) 大多数情况是填加相同类型的材料(填充材料), 填充材料的熔点与被联接材料相同或接近. 因而在接缝处产生一个熔化区, 在它冷却之后得到铸造的组织.

把接头部分加热(在必要时达到熔点) 并加压力(压焊) 在联接接头处没有熔化的液体, 但是却出现大的塑性变形, 在冷却后它的组织是规则的细颗粒.

材料在冷态下加压力(冷压焊) 这种联接只是在靠接头处的未被氧化表面产生大的塑性变形(超过抗压屈服极限), 而得到的很强的冷变形组织.

在真空或保护性气体中使焊接区加热 在联接的接头处施加小的压力, 不产生塑性变形(扩散焊接). 联接接头处的温度必须足够高, 以便金属原

子扩散.

热源 产生必要的焊接温度的热源有: 气体火焰(气焊)、电弧(电弧焊)、工件的焦耳热(电阻焊)、感应(感应焊)、流体焊渣的焦耳热(电渣焊)、接触面之间的相对运动(摩擦焊和超声波焊接)、高加速电子能(电子束焊接)、高度聚焦的光能(光束焊)、放热的化学反应(热剂焊)、流体载热介质(浇铸焊)和炉子(炉焊).

焊接方法 气焊和电弧焊中占压倒多数的还是手工焊. 焊工手工操纵热源, 热源是气体火焰或电弧. 为了提高焊接速度, 可以使用焊丝(电焊条)向焊接接头供给填充材料. ——半机械化焊接——这种方法由于电流在接近电弧处直接引入电极, 所以电流密度可以比手工焊高很多. 特别在容器制造中或进行堆焊时, 热源还可以沿焊缝推进, 靠移动焊接机头或移动或转动工件来实现. ——全机械化焊接——在大量生产(大规模连续生产)中, 要求焊接工作在一定间距和固定方向上使焊接过程自动化, 必要时可用计算机控制. ——自动焊——在某些情况下使用焊接机器人.

目前经常遇到的焊接方法及其特点和主要应用范围列在表1中. 焊接方法总计将超过200种. 其中一部分只有历史意义了. 另一些没有能够推广. 有些与大家熟悉的方法只有微不足道的差别. 还有一些还没有越过特殊应用研究的阶段, 因此还不能有把握的肯定它们, 它们将会是重要的.

除了已经提出的加热方法的特点和机械化程度以外, 这些方法还在使用可能性方面有区别. 有些只在一定的位置才能焊接. 焊缝的形式和类别都是部分或全部地与焊接方法有关. 此外, 电弧焊按其焊透深度区分, 焊透深度指焊缝面在电弧作用下的熔化深度.

选择最适当的焊接方法进行生产, 不但要考虑很多技术因素而且要考虑许多经济因素, 因此不能提出一个普遍适用的规律.

表1. 主要焊接方法一览

焊接方法	特 点	主要用途
气焊	用喷射式或非喷射式焊炬加热焊缝达到熔点. 燃烧的混合气主要为乙炔、氧气. 混合比例 1:1 到 1:1.1. 由补充的焊丝(气焊条)供给焊缝缺少的材料.	特别用于对接和角焊缝, 任何焊接位置, 主要用于钢和铜的薄板和管道. 壁厚一般到 5mm, 最大约 15mm. 壁厚 3mm 以下用左向焊; 3mm 以上, 右向焊.

续表1

焊接方法	特 点	主要用途
明弧焊 手工电弧焊 (熔化电焊条)	可以看到电弧在大气中燃烧。 电弧在电焊条与工件之间燃烧。同时,电焊条熔化作 为填充材料。由特殊结构的设备供给焊接电流 $15 \sim 20\text{A}/\text{mm}^2$ 焊条芯面积,电弧燃烧电压 $10 \sim 45\text{V}$ 。由焊接换流器或焊接整流器供给直流电或由电焊变压器供给交流电。焊条的芯大多数由与被焊接零件的化学成分相同或相似的材料制成的。药皮(例如无药皮、酸性的、钛型的、碱性的或纤维素的)的种类对电焊条的操作工艺性、和焊缝的性质有影响。药皮除了对冶金有作用以外,(焊渣与焊缝金属之间的作用)它还能在焊缝中提高(高效焊条)或加入合金。	适用所有接头和焊缝,如正确选择焊条和焊接条件(预热,焊接导热,冷却,后热处理)适用于所有的焊接位置及几乎全部钢材和非铁金属,最小厚度约为 1mm 。
利用药芯焊丝的金属极电弧焊	从滚轮引出的要熔化的焊丝与工件之间,电弧燃烧没有保护气体。焊丝也就是填充材料 管状焊丝(外径 1.6mm 或更大些)其中主要装有矿物性的物质,用来还原熔化金属,也能使熔化金属成为合金。	主要用于单层的角焊缝(对多层焊缝仍有形成气孔的危险)并用于形成无合金元素碳钢的硬化层(抗磨损)
碳弧焊 (电极不熔化)	电弧在碳电极和工件之间或两个碳电极之间燃烧,因而它靠一种特殊的通过焊接电流的线圈,用磁力影响并使电弧定向,使之吹向工件。 移动电极架靠手动,半机械化或机械化。	角焊缝和卷边焊缝,几乎只用于大量生产中薄钢板全机械化焊接,实际上用得不多。
埋弧焊 躺焊 (E-H 焊接法)	电弧在特殊的保护层下面燃烧。 在一定形状的铜导体表面,电弧在沿全长涂有药皮的电焊条和工件之间燃烧。电焊条位于焊缝中或焊接件的坡口中。	水平位置焊接的对焊使用夹具(钣厚 3mm 以下)或制成焊缝坡口(钣厚超过 5mm)。对非合金结构钢,同样的坡口钣厚可大一些。
在焊剂层下焊接 (UP 焊接)	在一层特殊的焊剂下面,电弧在由滚轮导入的光焊丝和工件之间燃烧。用手(半自动)或机械移动焊接机头,可以根据电弧长度调节焊丝的供给速度。在焊药层下面,通过在焊接电压上叠加高频电压点燃电弧。为了调整熔化能力,可能配置三个焊接机头,在它们组成的空间中燃起电弧。	对于对接或填角焊缝,主要用于水平焊接位置,但也用于垂直壁上的水平方向焊缝,要用特殊的装置以保存焊药。适用的最小钣厚约为 2mm ,但是因为熔化能力大所以主要用于厚钣和长焊缝。
在焊剂层下带极自动焊接	在一个由滚子送进的带形电极(宽度约可达 100mm)和工件表面之间,在特殊的合成焊药层下面燃起电弧。焊接机头由机械拖动,带形电极的移动速度可以按电弧长度调整。	完全的埋弧焊接,主要用于大面积防腐蚀覆层(堆焊),因为焊接会产生变形,只用于大厚度工件。
单面焊接	与在焊药下面焊接一样,在坡口中的焊药层下面电弧在电焊丝与工件之间燃烧。为了提高熔化能力可以依次排列三个焊头。在坡口中,也可以在施焊位置前面加入铁合金的颗粒。因为焊接熔池大而局部引入热量多,要求熔池可靠(底层厚或坚固的底部焊道)。	主要用于造船,焊接长的对接焊缝,只由一面焊接不翻转的工件(分段制造方法)对于非合金钢和细晶粒钢(到 StE360)工件厚度可达 40mm 左右。

续表 1

焊接方法	特 点	主要用途
气体保护焊 氢原子焊接	在气体保护区内电弧稳定地燃烧.在氢气环境中电弧在两个钨电极之间燃烧.电弧中分解出来的原子态氢被吹到施焊位置,在那里再结合为氢分子,没有化合热.电弧与辐射共同作用下,施焊位置升温,同时氢气起还原作用.	对轻金属有特殊的进展,但被现代的焊接方法(如 TIG 焊接)所取代.对于钢制薄板和薄壁管道在任何焊接位置都有很好的使用可能性.
钨极惰性气体保护焊 (WIG 或 TIG)	电弧在惰性气体保护气流中,在钨电极(加钍合金)和工件之间燃烧.填充材料用手或用机械经滚轮送进.在德国,保护气体几乎只用氩气,此外(极少的)用氩氮混合气和纯氮.焊接用直流电,只有铝及其合金用交流电.为了点火容易用高频外差.	几乎适用于全部金属材料的,全部接头和焊缝形式及任意焊缝位置,但主要用于防腐蚀和抗氧化的铬镍钢,铝及其合金(无焊剂)、铜及其合金(有焊剂).可用于中等厚度板材的焊接.
等离子弧焊接	等离子弧(一种或多种气体——主要有氩气、氮气、氢气分解为电子和离子)熔化母体材料和填充材料.	
微束等离子弧焊接	电弧在钨电极与喷嘴内壁之间燃烧(不发射电弧).由喷嘴压出的等离子束(离子化的保护气体)在施焊处熔化材料(及由焊丝或焊条引入的填充材料)或加热工件表面达到粘结温度,并加热引入的粉末状的填充材料(主要是硬质合金)达到熔化温度.	主要用于焊接薄壁高合金钢(如管道的长焊缝)和为了较少的熔化母体材料而涂敷(焊接镀层)含有难熔成分(碳化物)的合金材料.
等离子电弧焊接	电弧在钨电极和工件之间燃烧(发射电弧).在喷嘴中的钨电极和喷嘴内壁之间点燃电弧.电流密度小(引导电弧)使电弧容易点燃.加入的填充材料主要为粉末状的.母体材料的熔化(熔融)厚度与微束等离子弧焊接相同.	主要用于寿命较低的母体材料上,涂敷(焊接镀层)抗腐蚀和磨损层和高温稳定性材料.
熔化极惰性气体保护焊 (MIG)	在由惰性气体保护的气流中,在由滚轮送进的熔化金属焊极和工件之间点燃电弧,同时电极就是填充材料,并与被焊接的材料一致.对于非合金钢与合金钢焊接保护气体用氩气也有用氩气及吹氧(达3%).由于电极的导线贴近电弧,电流密度可达 100 A/mm^2 ,因而可能达到高熔化速度.电极直径多数在 2.4 mm 以下.散射电弧(高电流密度)用于大的壁厚和水平方向涂敷,短电弧(低电流密度和细电焊丝)用于小的壁厚,焊接敏感性材料和任何焊接位置.	用于全部的非合金钢和合金钢,铝及其合金,铜和铜合金(采用焊剂).在任何焊接位置的几乎全部接头和焊缝型式.板厚约为 1 mm 左右.
高能束焊接	高能束在它撞上或进入工件时,产生焊接过程所需要的热量.	
电子束焊接	高电压(达 150 kV)把电子加速到高速度的动能,使工件在相碰撞的部位加热到熔化温度.将电子束聚焦(用电子透镜)焦点直径在 0.1 mm 以下限定局部加热并具有较大的深度.因为在正常大气压下,能量损失很大(空气电离)焊接过程在真空中进行.	至今只用于焊接敏感材料和特殊任务.成批生产时,设备(装置)费用大,冲制边缘需精确地准备.

续表 1

焊接方法	特 点	主要用途
激光焊接	一个固体或气体激光源产生的激光光束经透镜聚焦后,射在工件的焊接部位使之加热到焊接所需的温度。为了保护焊接熔液,由喷嘴将保护气体送到施焊位置,激光要求机械操纵,但同时提供程序控制焊接光束的可能。	因能量有限制至今只限于特殊情况。目前有很大可能用于切割塑料(以及织物)。
电阻熔焊 电渣焊	由电阻作用产生熔融金属。 易熔的焊渣成分与在焊药下面焊接的焊药相似,靠通过它的电流加热,熔化被焊接零件和填充材料。通过由转盘放出的填充金属焊条向构成电阻的焊渣输送电流,由被冷却的铜垫板保持熔池和成型。 对于焊接敏感的材料以及其他特殊情况,用电子装置控制焊接电流有节奏的中断电弧(脉冲电弧)以控制传入焊接部位的热量。	至今只用于非合金钢和低合金钢对接焊缝,焊接位置垂直,由下到上,工件厚度由 8 mm 至 1000 mm 左右。
熔化极混合气体保护焊(MAG)	由氩气、二氧化碳(达 18%)和氧气(达 5%)组成混合气,可能避免惰性保护气体的缺点(价格贵,对某些材料形成气泡)和二氧化碳的缺点(生毛刺,合金元素的氧化损失)。散射弧、短弧和脉冲电弧与 MIG 焊接(金属电极惰性气体焊接)相同。	用于各种厚度的非合金钢、低合金钢和一些高合金钢,并在任何位置焊接。当焊接高合金耐腐蚀钢时,将使耐腐蚀性下降,因为碳化铬结构与保护气体中二氧化碳的含量有关。
二氧化碳气体保护焊(CO ₂ 焊)	二氧化碳用作较贵的氩气或氮气的代用品,但是在高温下,氧气将由气体中分解出来与被焊接材料和填充材料起反应(氧化)。可燃烧的合金元素(硅、锰)必须由填充材料(过渡合金)中供给而且使熔敷金属还原。 二氧化碳保护采用带槽焊条或填料焊条,一个带有凹槽的管装入焊药作为焊条和填充材料,这是二氧化碳保护焊接方法的进一步发展:为了得到对焊缝熔化金属更好的冶炼的作用。	主要用于各种厚度的镇静非合金钢,用于散射弧或短弧焊。(用于厚度薄,位置受限制时)。 主要用于非合金钢,水平位置焊接和用于堆焊(抗磨损层)。
电阻焊	焊接区的电阻在电流通过时产生焊接所需的热量,要联接的零件靠互相压紧零件构成联接。温度愈低,要求的压挤力,必然愈高。	
点焊	两个重叠的平板型工件,由两个相对的,大部为球形的铜电极,在一点上互相压紧。焊接电流为大电流低电压的交流电,由接触电阻加热被联接的零件,在点形面积内达到或稍低于熔化温度。	用于联接非合金钢和合金钢,轻金属和其他有色金属板。板厚一般限制为:对钢约 2 × 6 mm,有色金属约 2 × 3 mm。厚板(达 30 mm 或 6 mm)要求很大的电功率。
电阻对焊	两个处理干净,加工过的平行对接平面,在压力下互相叠在一起,焊接电流(高电流强度和低电压的交流电流)在接触面上因接触电阻而发热,工件在狭窄的范围内超过焊接温度,这个温度稍低于熔化温度。采用凸块结构在连续的冲击压力下焊接。加热方法除直接通电以外还可以用感应的方法。	非合金钢的杆件和简单轮廓形状的对接焊缝,断面面积可达 500 mm ² 左右。

表 1 续

焊接方法	特 点	主要用途
闪光对焊	未经加工的冲击面, 当在很轻的接触面通过电流时, 在小块的局部接触面上因为大电流而产生稳定的灼烧. 液体金属由冲击部位射出. 在熔化区有足够的深度以后, 在切断电流的同时, 靠冲击式的顶锻实现焊接. 在施焊位置有由于对接焊缝挤出的液体材料产生的飞边.	型材和板材的对接焊缝, 材料为非合金钢和合金钢, 轻金属和铜断面面积达 5000mm^2 . 可以联接不同种类的材料, 例如高速钢和工具钢.
凸焊	两个互相叠在一起的平坦的工件, 在它上面有压下的凸台或压印的花纹凸起点(可用螺母或环形零件)用平板形电极互相压紧. 焊接电流(高电流强度、低电压的交流电)将零件接触部位加热到焊接温度以上稍低于熔化温度. 凸台或花纹凸点被冲压力压平.	在平面上固定铁皮、螺母等, 特别在大量生产中(冲压零件)当很多焊接部位距离很近, 并且可以由板状电极同时焊接时.
缝焊	搭接或对接焊缝, 大部份用高电流强度低电压的交流电, 电流通过盘形电极在加压的同时传递电流或者采用滑动接点, 形成一个不间断的焊缝. 对于对接焊缝要求一面或双面焊缝用薄膜覆盖(薄膜焊缝).	大多数用于非合金钢板的联接, 特别用于容器制造. 二块钢板的厚度均为 3mm , 轻金属板厚均为 2mm .
采用其他方式输入能量的压焊		
气热压焊	用气焊枪在焊接部位自外部加热被联接件, 例如用环形喷嘴(封闭气热压焊)或在焊接接缝处用喷嘴(开式气热压焊)加热达到结合零件的熔点温度左右, 并在压力下联接起来.	对焊主要用于非合金钢棒材, 也用于小直径管材. 重载荷(静载荷)优先采用闪光焊.
电弧加热压焊 (例如 Cyc 电弧法, Nelson 法)	主要用在平板上焊接圆形零件(螺栓). 在切断电流后零件与平板相接触, 在提起时引出电弧, 并在电流断路情况下, 停止点燃电弧时, 螺栓突然压在平板上.	主要用于平面上焊接联接螺栓和定位螺栓.
电容脉冲放电 电焊接	当工件靠近时, 电容器放电产生熔化热, 在熔剂中保持压紧力直到熔池凝固把零件联接起来. 热量集中, 热量散失小, 因此熔化温度差别很大的零件也能焊接.	主要用于在厚板上焊接细螺栓和销钉. 用焊条进行对焊.
摩擦焊	旋转对称零件在高转速回转装置中互相压紧. 当一个零件转动时, 靠它固定住另一个零件. 在充分加热后, 切断拖动力并将两个零件用压力互相联接起来.	主要用于大量生产中, 联接小的和中等的回转对称的管道和实心断面.
超声波焊	平面零件在压力下给予在超声波范围内的机械振动, 并靠它互相联接起来. 这种机械振动不但产生热量而且去掉阻碍联接的表面(氧化)层.	主要用于不能用点焊方法焊接的材料联接. 至今限于特殊情况.

1.1.2 材料的焊接性能 Weldability of materials

参考资料: Aus der Fachbuchreihe Schweißtechnik. Düsseldorf DVS-Verlag: Koch, H.: Handbuch der Schweißtechnologie. Lichtbogenschweißen. Bd. 19. 1961. -Lueb, H.: Kleine Werkstoffkunde für das Schweißen von Stahl und Eisen. Bd. 8.4. Aufl. 1964. -Boese, U.; Werner, D.; Wirtz, H.: Das Verhalten der Stähle beim Schweißen. Grundlagen, 3. Aufl. Bd. 44, 1980. -Matting, A., u. a.: Schweißen der Leichtmetalle u. seine Randgebiete. Bd. 14, 1959. -Wirtz, H.: Das Verhalten der Stähle beim Schweißen Grundlagen, 3. Aufl. Bd. 44, 1980. -Strassburg, F. W.: Schweißen nichtrostender Stähle. Bd. 67, 1982. -DAST-Richtlinie 009. Empfehlungen zur Wahl der Stahlgütegruppen für geschweißte Stahlbauten. Stahlbauverlag 1973. -Werkstoff-Handbuch Stahl und Eisen, 4. Aufl. Düsseldorf: Verlag Stahleisen 1965. -Houdrement, E.: Handbuch der Sonderstahlkunde. Berlin: Springer 1956. -Ruge, J.: Handbuch der Schweißtechnik, 2. Aufl., Bd. I: Werkstoffe, Bd. II: Verfahren und Fertigung. Berlin: Springer 1980. -Rapat, F.: Edelstähle, 5. Aufl. Berlin: Springer 1962. -Dampfkessel Bestimmungen. Techn. Vorschriften für Dampfkessel (TRD). Berlin: Beuth. -AD-Merkblätter (Ausschuß für Druckbehälter). Berlin: Beuth. -Aluminium Zentrale Düsseldorf: Aluminium-Taschenbuch, 13. Aufl. Düsseldorf 1974.

按DIN 8528 焊接性能(由于材料的性能决定接头能否加工) 金属材料的焊接性分为: 焊接的可能性(指可加工性)和焊接的可靠性(零件的工作可靠性)。在选用适当的焊接方法和合理结构的情况下, 几乎所有的钢和非金属都是可焊的。

钢的焊接性能

材料的影响 其影响分类如下:

熔炼的方式 平炉(M 钢)或顶吹氧气转炉(Y 钢, LD 钢)熔炼的普通钢, 在感应电炉或碳弧电炉中熔炼的(E 钢)特殊钢。

浇注方式(脱氧) 在焊接时, 不应该熔化铸造沸腾钢心部的偏析带, 因为它含有富集的硫(热脆性)、磷(冷脆性)、氮(硬化)和碳(硬化)。在凝固时, 靠镇静的熔炼(含 Si 0.1% 至 0.3%)可避免偏析。

硬化(应变硬化) 钢硬化的一个最重要的特征是在冷变形时韧性降低, 即由韧性转为脆性断裂(缺口冲击试验已接近室温)。在同样不利的情况下, 硬化增加了脆断的危险。

化学成分 除了硫、磷和氮以外, 一些其它元素对焊接性能的影响:

碳含量 含碳量在 0.25% 以下的碳素钢, 在正常焊接条件下, 在接近焊缝处, 预期没有明显的硬化现象。由于只是含碳量高(超过 0.25%)或由于碳和合金元素如锰、钼、铬、镍等的共同作用, 使临界冷却速度降低, 会首先出现硬化现象。有些合金钢可焊性好, 例如低碳量、含锰 4% 以下的锰钢。

锰含量 在非合金钢中含锰约 4% 以下时, 锰起好作用, 因此在强度较高的细晶粒钢中锰为主元素(约达 1.5%)。因为要求 ε 马氏体结构而其含量超过 12% 时(高锰钢), 焊接时采用特殊的措施(很快的冷却)。在奥氏体铬镍钢中加入锰(约达 6%)可减少产生裂纹的趋势。

硅含量 在非合金钢中含硅量超过约 0.6% 时, 趋于形成气孔或裂纹。在电焊条中, 为得到金属活性气体(例如 CO₂), 约含硅 1.1% 以满足焊件脱氧的要求。

铜含量 一般只作为杂质。在耐大气腐蚀钢中含铜在 0.5% 左右, 与高含碳量(超过 0.20%)共同作用, 有引起产生裂纹和脆化的危险。

铬含量 在非合金钢中只作为杂质(在 0.2% 以下)耐热钢(含铬达 5%)中, 使临界冷却速度强烈地下降(空气硬化钢): 因而只有采用预热(约 400℃)才可以焊接, 铁素体和马氏体铬钢(含铬 9 至 30%), 由于在焊缝中和焊缝附近为大晶粒和西格马相结构, 只是有条件的可焊, 可能用奥氏体焊接填充料并采用预热和后热处理是可焊的。在奥氏体铬镍钢中(含量 16 到 25%)由于不利的高含

铬量及不恰当的焊接条件, 西格马相有变脆的危险。

镍含量 在高强度细晶粒和优化钢中是主要元素(约达2%)。由于调质均匀性的要求, 需要精确调整焊接条件和采用控制氢气的电焊条。低温韧性的镍钢(主要含镍5%至9%)也是调质钢, 但含碳量低(0.1%以下)。采用奥氏体或高含镍量焊接填充料进行焊接, 在奥氏体铬镍钢中, 镍作为奥氏体形成元素, 并且一般对于焊接性是无害的。

钼含量 在高强度细晶粒钢(达0.5%)和在耐热钢中(达1%)对焊接性没有直接的影响。在奥氏体铬镍钢中含量也许超过3%, 由于产生西格马和拉夫斯相, 当焊接条件不利时, 首先有脆化的危险。

钛和铌含量 在细晶粒钢中(约达0.3%)对焊接性能没有直接影响。在奥氏体铬镍钢中用于阻止晶界断裂(碳结合成特殊的碳化物)。

当含量过多时(超过约1%)基体有脆化的危险。

铝含量 在细晶粒钢中作为脱氧剂和脱氮剂同时有细化晶粒的作用。当含量过高时(超过约0.03%)在焊缝金属和在热影响区域内, 由于晶粒边界析出有产生裂纹的趋势。

材料与断裂危险形式的关系 高应力的焊接联接对可能的过载的反应, 应该是塑性变形而不是没有变形的断裂(脆断)。当温度下降, 施加应力的速度增加, 应力的维数增加(例如裂纹引起的应力集中作用, 不合理的结构)和板厚增加时, 脆断的倾向增加。此外在钢中加入一些对硬度或脆性起促进或增加作用的附加元素时, 脆断的倾向增加, 细晶粒钢(铝镇静钢)由镇静钢到沸腾钢其脆断倾向增加(参见DIN17100)。当轧制钢板沿厚度方向存在应力时(加工应力, 例如由于焊接内应力或工作载荷产生的), 产生分层破坏的危险。产生的原因是有厚的层状排列的硫化夹杂物。

焊接可靠性 一种结构的焊接可靠性, 取决于它的结构形状(力流、焊缝布置、工件厚度、应力集中、刚度突变)和载荷情况(应力的类型和大小、维数、应力施加速度、温度、腐蚀)。

焊缝布置的主要规则 焊缝数目要少, 不要在应力最大和不利的地方。安排焊缝要考虑力的传递, 避免焊缝交叉。对于轧制型材要考虑有利的焊缝位置, 例如, 自己焊接的工字梁腹板(图1a), 焊接槽钢(图1b), 加强隔板(图1c)要避免沸腾区并在型钢上焊接。在受拉伸内应力的区域内(图1d)避免

焊接。

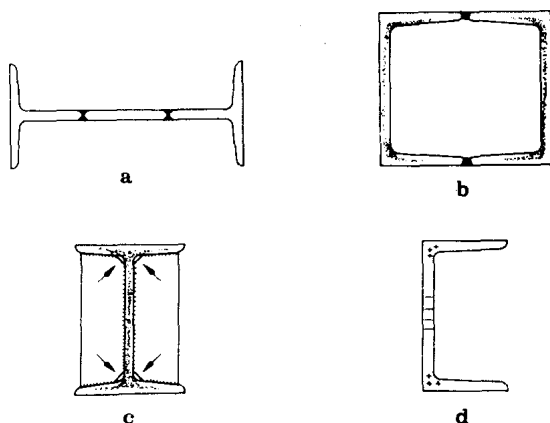


图1. 轧制型材焊缝布置

- 焊接钢板以提高工字钢断面系数;
- 在无偏析区焊接两个槽钢;
- 加强隔板, 在轧制槽钢角处有缺口(镇静钢);
- 槽钢中的内应力(+ 拉应力, - 压应力)

构件厚度 对于薄板, 焊接以后在板内主要产生二维的内应力(图2a,b), 第三维的应力随板厚度的增加而增加。三维的拉伸应力状态意味着增加了脆性断裂的危险, 因为第三维方向的拉伸应力(沿板厚方向)阻碍了塑性变形因而也阻碍了应力的衰减。除上述情况之外, 随着板厚的增加, 在焊缝附近变脆的危险增加(热影响区), 这与焊接方法和焊接条件有关。

因此, 对非合金钢板厚超过25mm时, 根据材料和厚度不同预热到100到400℃, 并且(或者)加以消除应力退火, 例如采用600到650℃。对于合金钢预热和后热处理温度与合金元素有关, 这个温度按焊接断面尺寸和焊接方法决定(钢厂的卡片)。

按蒸汽锅炉技术条件(TRD)和压力容器规范(AD), 如果焊接接头的性能只有靠热处理才能达到, 则在焊接以后要求正火或调质, 在冷成形时最外部材料纤维伸长可超过5%(工作温度 $> -10^{\circ}\text{C}$)或2%(工作温度 $< -10^{\circ}\text{C}$); $R > 10S$ 至25S时, 在焊接以前或以后, 由于超过正常退火温度, 达到变形温度结果引起热变形。

消除应力退火或调质按材料成分、壁厚、和结构形式的要求而定(AD标记卡片HP 7/1和HP 7/2)。

按焊接钢结构标准, 在主要受静载荷时(DIN4100)采用沸腾钢的优质2组型钢(DIN 17100), 最大厚度只允许

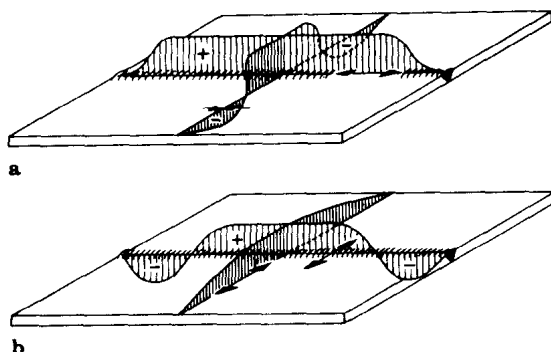


图 2. 焊接的内应力. a. 沿焊缝方向(纵向应力);
b. 垂直焊缝方向(横向应力)

11mm, 否则必须将许用应力降低一半. 对于冷成型结构钢, 在变形区内, 包括宽度为 $5S$ 的邻近表面内, 对任意的板厚只当弯曲半径 $R \geq 25S$ 时, 或对板厚 $S \leq 16\text{mm}$, $R \geq 10S$ 时, 允许不受限制的进行焊接. 特别应注意以下的规范:

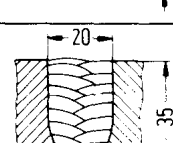
当 $S \geq 16\text{mm}$ 时 $R \geq 10S$ } 质量等级为2级和3级.
当 $S \leq 12\text{mm}$ 时 $R \geq 3.0S$ } 按规定在焊接前再一次正火.
当 $S \leq 8\text{mm}$ 时 $R \geq 1.5S$ } 质量等级为2级和3级

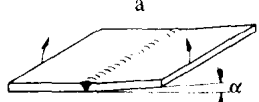
工艺条件决定的焊接可靠性 影响可靠性的有: 焊接前的准备(焊接方法、填充材料、接头形式、坡口形状、预热), 焊接工作进行情况(控制热量、导入热量方式、焊接顺序)和焊后处理(热处理、加工、酸洗).

当断面较厚时, 优先采用供热量大的焊接方法(补救措施: 采用细晶粒钢、高强度调质钢、全奥氏体钢、铬钢). 选择的焊缝形式应使在准确的熔化焊接坡口表面时, 保持焊接熔化金属量尽可能地小. 大断面的焊接, 与单层焊相比优先用多层焊, 因为在焊上面的一层时, 下面焊的一层就被热处理了(正火). 最后一层和单层焊一样, 具有铸造的结构.

焊缝的收缩量是指冷却时被焊接零件的尺寸和形状的变化, 或焊缝熔化金属凝聚时产生的内应力. 这种作用由于下述原因而加剧: 首先在加热时, 材料的被焊接部分因周围冷材料的限制而被顶挤, 横



焊缝断面形状	焊接方法和焊缝构成	横向收缩变形 mm
	涂药焊条手弧焊, 2层	1.0
	涂药焊条手弧焊, 5层, 封底, 背面焊2层	1.8
	向右气焊	2.3
	涂药焊条手弧焊, 20道, 无背面封焊	3.2



焊缝断面形状	焊接方法和焊缝结构	角收缩变形 α
	涂药焊条手弧焊, 5层	$\left(3\frac{1}{2}\right)^\circ$
	涂药焊条电弧焊, 5层, 封底, 封底3层	0°
	涂药焊条手弧焊, 8宽层	7°
	涂药焊条手弧焊, 22道	13°

图 3. 对焊的收缩量 [3]. a. 横向收缩量;
b. 角度收缩量

向收缩与焊接方法有关. 工件厚度和焊缝层数(图 3a), 特别对于不对称的焊缝形状产生角度变形. 见图 3b. 考虑到尺寸和角度的变化, 可采用预置余量和角度增量. 对较薄的工作, 特别是对于填角焊缝, 由于纵向收缩量引起收缩(0.1 到 0.3mm/m), 弯曲、凸起和翘曲. 但是在桥梁和起重机构中也

有意识而且有控制的利用弯曲的作用。如果焊接零件不能无阻碍的跟着收缩,则产生特别危险的“反应应力”,因而不可能作无裂纹的背面填缝焊接。

结构零件的矫正,在焊接以前或之后,或者在外力作用下,或者靠冷却零件的收缩作用(用火焰矫正)进行矫正。冷矫正因为有产生裂纹的危险,要尽可能避免。

焊接次序,即在一道焊缝中和在整个结构中的焊接工作的排列次序,它影响到尺寸和形状的变化以及焊接内应力。在焊接次序方案中,可以适当安排各焊接步骤,将上述二者(指变形与内应力——译者注)控制在一定范围以内。例如,滚筒先焊纵向焊缝,然后焊周向焊缝。平板的纵向和横向焊缝次序按图4a。分段焊接纵向焊缝,采用分段退焊法,见图4b。

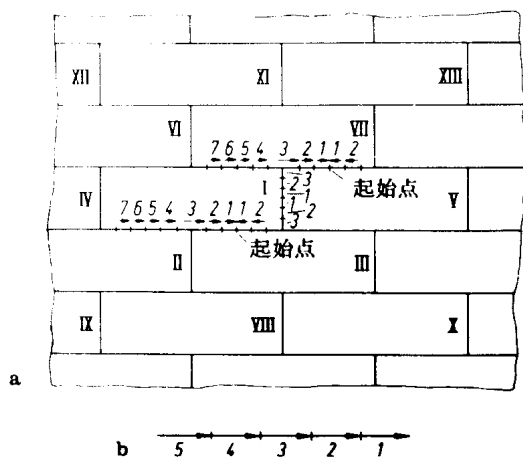


图4. 焊接次序。a. 平板壁板的纵向焊缝的焊接步骤排列次序(1至7)和横向焊缝的排列次序I至XIII (焊接顺序1至3); b. 分段退焊法。

按焊接位置的顺序: 平焊(w), 向下立焊(f), 向上立焊(s), 横焊(q)以至仰焊(u)焊接的困难程度逐渐增大, 参见图5. 焊接位置(f)只在采用一定的焊条(向下立焊焊条)和焊接条件(短弧焊接, 利用MIG/MAG(见表1——译者注)焊接方法)时, 才是可能的。

当必须在冰点以下进行焊接时, 则焊接地点至少要加热到 $+10^{\circ}\text{C}$, 而且工件要预热(50 到 100°C); 在高空工作应采用防风措施。

焊接填充材料 选择填充材料应使焊接接头的强度值(屈服极限、抗拉强度极限、延伸率及冲击韧性)至少能达到母材的选定值(计算值)或标准值。当母

材焊接适应性差,或者由于其他原因构成脆断危险时,则焊缝金属有足够的变形能力有特殊意义。在这种情况下,宁愿采用能控氢的碱性药皮的焊条并提高含锰量(1.0 到 1.8%)或者等效的电焊条。

标准:DIN1913:无合金和低合金钢制成的焊接用棒形电极。DIN8554:无合金和低合金钢制成的焊接用气焊焊丝。DIN8555:堆焊用焊接填充材料。DIN8556:不锈钢和耐热钢焊接用焊接填充材料。DIN8557:在焊剂层下焊接用焊接填充材料和焊剂。DIN8559:气体保护焊用焊接填充剂。个别型号钢的焊接性能见E3.1。

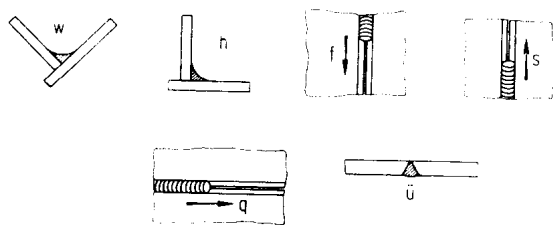


图5. 焊接位置(见正文)

铸铁、可锻铸铁和非铁金属的焊接性

灰铸铁(GG-10至GG-40) 主要在修理和修补时进行焊接。对较薄的壁厚适用气体熔焊, 对较厚的断面适用手工电弧焊, 采用特殊的合金铸铁焊丝, 使用一种焊剂, 或部分地使用一种焊剂时, 用焊条焊接, 并将工件预热到 600 至 700°C (热焊)。冷焊(手工电弧焊)采用镍、镍铜(蒙乃尔)或镍铁焊丝的焊条, 在预热到 100 至 200°C 时进行焊接。这种焊缝金属良好, 热影响区大多数良好(与焊接条件有关)可以加工, 却不用标准的钢焊条(B型)或钢特殊焊条(含碳量较高)不作焊接后热处理。

黑心可锻铸铁(GTS)与白心可锻铸铁(GTW)还可能用软焊料钎焊。焊接性必须与制造者特别商定。GTW-S38壁厚在 8mm 以下时, 焊接结构始终具有可焊性(不进行热处理)。对于次要的用途, GTS(在整个断面上为石墨碳)和GTW(边缘层脱碳)也可以采用标准的或低合金的填充剂焊剂, 由于在焊缝金属中附加的钎焊的碳(熔化的石墨碳)GTS焊缝硬化并有产生裂纹的危险(预热到 200 到 250°C)。

球墨铸铁(GGG)可以焊接, 要采用特殊的焊条(镍合金)经过预热(500°C)和焊后热处理(900 到 950°C)并回火(700 到 750°C)。不热处理时,

性能与黑心可锻铸铁相近。

铝 无合金元素时,几乎按所有的方法都是可焊的。在热影响区域内,由于晶体回复和再结晶,将消除冷作硬化作用。

时效硬化的铝合金 通常采用冷时效硬化或热时效硬化,大部分几乎可以用一切方法进行焊接。在焊缝金属中和在焊接影响区内不存在时效硬化,即由于热效应而消除了硬化。铝锌镁合金能在时效硬化状态下进行焊接。在焊缝区域内,由于自动硬化而提高强度。为了强度的缘故,优先采用在焊缝旁边热影响区较窄的焊接方法。使用相同的填充材料,可以在焊接后用同一热处理,得到与母体材料相同的强度。

非时效硬化铝合金 一般能用一切焊接方法很好的焊接。当镁作为合金元素出现时,如果含镁量超过5%则焊接困难,因此对于焊接结构不放入这种合金元素。

铜 在缺氧类型材料中焊接无困难。但是在电工技术中使用含氧的铜很多,它在气焊时起泡沫。使用气体保护焊接方法和在一定情况下用特殊的合金填充材料,不但对于强度而且对导电性能够产生令人满意的结果。

铜合金 如铜锌(黄铜)、铜锡(青铜)、和铜锡锌(炮铜)合金,当经验足够时能够满意地焊接。在用电弧焊接方法时,锌由黄铜中浓缩出来,因而焊缝中富集了铜,对于各种青铜也能产生偏析过程。

镍和镍合金 焊接性好(例外:镍铁合金)。气体(氧气、氢气)的吸收率高和晶粒变粗的趋势一样,都要求特殊的措施。对于焊接要求供热量小,对气体保护和填充材料要求有还原作用的成份。要求高清洁度(无油)。优先用电弧焊方法。

焊接填充材料 同类材料焊接始终有一基本原则,只有在例外的情况或者当同类材料的焊接在技术上不可能时,才应该偏离这个原则。

标准: DIN 1732: 铝焊接填充材料。DIN 1733: 铜和铜合金用焊接填充材料。DIN 1736: 镍和镍合金用焊接填充材料。DIN 8573: 铸铁焊接用焊接填充材料。T1 片状或球状石墨铸铁和可锻铸铁手工电弧焊用涂料棒状焊条; T2 片状或球状石墨铸铁焊接用无涂料棒状焊条或焊丝。

1.1.3 焊缝和接头的形式 Type of weld and joint

接头的形式是由被焊接零件的结构布置得到的。

它影响到焊缝形式的决定。对于各种接头形式,根据焊接方法,标准给出了规范: 工件厚度、坡口角度、间隙、间隙和坡口的高度。

标准: DIN 8551 第1部分: 焊前加工, 气焊、电弧焊和气体保护焊钢的坡口形状。DIN 8551 第4部分: 焊前加工, 在焊剂层下焊接钢的坡口形状。DIN 8552 第1部分: 焊前加工, 气焊和气体保护焊接铝和铝合金坡口形状。DIN 8552 第3部分: 焊前加工, 气焊和气体保护焊接铜和铜合金的坡口形状。DIN 8553: 电镀钢焊接规程。

坡口加工 采用机械切割而主要是火焰切割。钢的易切割性能由其合金成份决定。

碳: 达0.3% (达1.6%时预热),

硅: 达2.5% (最高极限4%),

锰: 达13% (最高达18% 锰和1.3% 碳),

铬: 达1.5% (达3%时预热到600℃),

钨: 达10% (当含碳 $\leq 0.8\%$, 镍 $\leq 0.2\%$ 和铬 $\leq 5.0\%$ 时),

镍: 达7% (可达35%, 当含碳 $\leq 0.3\%$ 时),

钼: 达0.8% (最高极限2.5%),

铜: 达0.5% (含量更高时采用低的切割速度)。

利用现代的喷嘴,能使非合金钢,例如厚20mm的钢板,按DIN 2310切割质量达到I级,切削速度在550mm/min以下。为了得到整齐的切口,要求有机械的喷嘴导向装置。为此可以用手工操纵(画出线条图),靠磁滚轮(钢样板),光学装置(按轮廓图用光电管,也可按1:100缩小的图形)或数控装置(程序穿孔纸带来完成)导向。为了加工合理,需要在钢板上安排要切制的零件,拟定一个切料的方案,以免产生多余的废料。与火焰切割相对,虽然焊口边缘要求补充加工,但是这种方法节省了费用昂贵的机械切割这一步骤。对于非合金钢与低合金钢等离子切割也不要补充加工,它的切割速度可达到通常采用的火焰切割速度的四倍。

封底勾缝 为了在背面焊接,可以用凿子(带有凿子的压缩空气锤)、磨轮(手动砂轮机)、电弧气刨、火焰烧缝(与火焰切割相似的特殊喷嘴,它的切削方向接近切向)或碳弧气刨(由碳弧熔化材料,并用压缩空气吹掉)。这些方法的适用性决定于材料(火焰烧缝参看火焰切割的应用范围),焊缝形式

(直线、曲线)、结构条件和可接近性。

对接焊缝 I型坡口 最简单的焊缝形式,当负荷较大时,要求焊接后在背面补焊勾缝。

V型坡口(图3及6a) 为了减小角度收缩量,应保持用小的坡口角($\approx 60^\circ$)。对于还要完整地进行封底焊接时,最小坡口角 $>45^\circ$ 。半机械和全机械操纵的焊接方法,也可以采用较小的坡口角。

双V型坡口(X型坡口)(图6c) 用于板厚度大时,与V型焊缝相比,当坡口角相同时只需要熔化一半焊缝金属。如果由两面反复进行焊接,可进一步缩小角度收缩变形。应该在由背面焊接以前封底勾缝(与焊接方法有关)。

其他坡口型式 卷边坡口、Y型焊缝、U型坡口和双U型坡口。最后列举的两种形式因为通常成本较高,限于特殊情况采用。

不等厚度零件的对焊(图6) 在受力方向,断面形状尽可能设计成对称的(6c,f),板厚度差在 $s_1-s_2=10\text{mm}$ 以下而且受静载荷时可不必调整位置,否则应该有斜度如图6d。在受动载荷时,超过 $s_1-s_2=3\text{mm}$ 已作成斜面(斜度1:4至1:5),以得到最佳的力流传递。受最大载荷时,厚板在 $h\geq 2s_2$ 长度范围内加工,图6g。

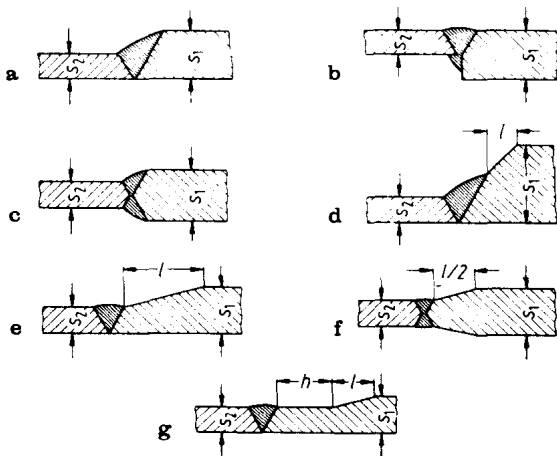


图6. 不等厚度断面对接的结构形状 a—d. 用于静载荷; e—g. 用于动载荷

搭接焊缝(图7) 角焊缝的传力情况,用下凹角焊缝(图7c)比平角焊缝(图7b)好;凸起的角焊缝(图7a)最差。受动载荷时,力的偏转一般是不利的。焊缝计算厚度 a 由公称等腰三角形的高求得。 a 不

应比计算要求的值更厚,而最高取 $a=0.7s$ 。对于端面角焊缝,在受静载荷时,钢结构规定焊缝最小厚度为 $a=0.5s$,而结构取 $h:b=1:1$ 或更平坦些见图7d。在受动载荷时,(铁路桥梁结构)取 $\gamma\leq 25^\circ$ 及焊缝厚度 $a'=0.5s$ 。

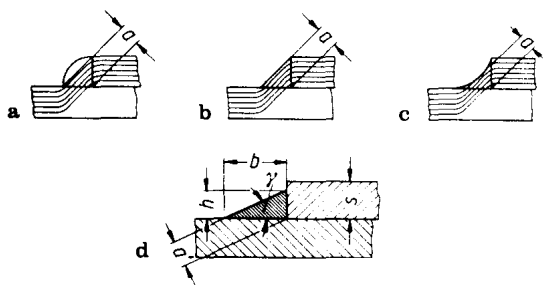


图7. 焊缝形式和力流 a.凸型; b.平型; c.凹型; d.不对称型角焊缝

平行焊缝(图8a) 尽可能采用角接缝,因为可省去焊接坡口加工。为了避免边缘熔化,适用于规定范围 $g\geq 1.4a+3\text{mm}$ 。

对于轧制型材取角焊缝厚度 $a=0.7t$,厚度 t 按最薄的零件取,参见图8b。在此,焊缝也不应该设计成比计算要求的更厚和更长。在钢结构高大建筑中(DIN 4100)和18800第1部分构件联接用角焊缝的最小长度 $=15a$,角焊缝最大长度 $=100a$,当垂直于拉杆纵向轴线有附加焊缝并在四周焊接时,每一纵向焊缝的最小长度限为 $10a$ 。规定焊缝厚度最小值为 2mm 。或 $\sqrt{s}-0.5$ 。此外在机械制造中(不是桥梁制造或钢结构高大建筑制造)采用孔或切口焊接结构,图8c,d。上面的板厚度应取 $s\leq 15\text{mm}$,推荐切口尺寸 $b\geq 2.5s$ (最小 25mm)而 $l\geq 3b$ (容器制造)或 $l\geq 2b$ (机械制造)。由焊接熔液充满的缺口中断而引起大的焊接应力;当有腐蚀的危险时,切口可以用例如沥青或塑料浇注。

T型焊缝(图9) 角焊缝是最简单的焊缝形式,它特别适于传递剪力。而单面角焊缝(图9a,b)只用于传递小的力。对于双面角焊缝,设计为采用深熔焊法(例如二氧化碳焊接),按计算中确定的中间熔深为 e (图9c)。(DIN 4100或18800第1部分)。如果与图10相似的断面由双HV(k型)焊缝采用双面角焊缝焊接;则由于间隙处的应力集中作用(图9d)焊缝产生缝隙。这种焊缝用于最大的静载荷和动载荷。

对于不等腰的角焊缝 $t = s_1 + 2h/3$, 在受动载荷时特别应避免咬边或磨平。

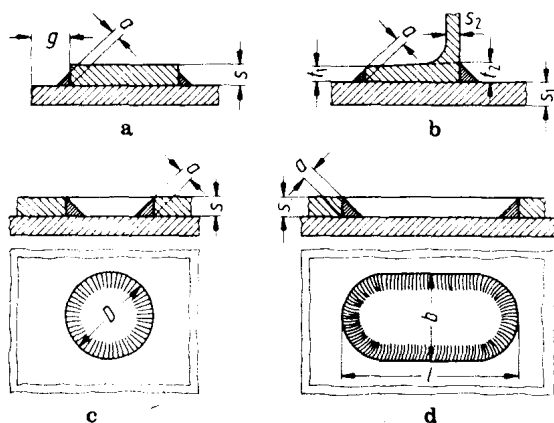


图 8. 铆联接 a. 平行焊缝; b. 在钢板上联接轧制型钢; c. 孔焊接; d. 切口焊接

十字接头焊缝(图 10) 焊缝形状与 T 形焊缝相同, 但必须在焊接的隔板上面有拉伸载荷作用下, 由两面检查中间的横板(如用超声波检查)并保证有抗横向拉力的能力。(DAST014 避免焊接钢结构阶梯式断口的推荐标准. 科隆 [Köln]: 钢结构出版社)。

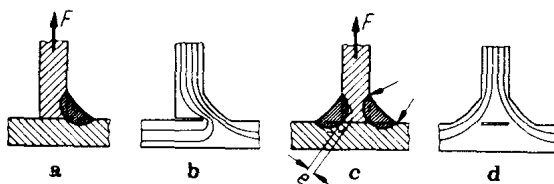


图 9. T 型接头角焊缝 a. 单面焊缝; b. 联接结构和力流曲线; c. 双面焊缝; d. 联接结构和力流曲线。

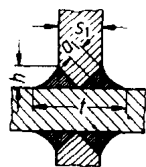


图 10. 十字接头双面焊缝的 DHV (k 型) 型焊缝

斜焊缝(图 11) 焊缝型式和 T 形焊缝一样, 焊缝质量与角度 γ 有关, 当传递力不大时, 一般焊接时不加工坡口, 有小偏角的焊缝, 如果由于采用的焊接

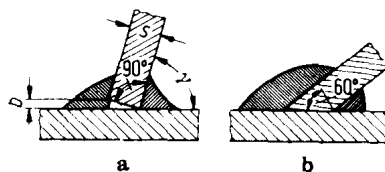


图 11. 斜接头的角焊缝 a. 坡口未经加工; b. 坡口加工不合理。

方法能可靠的保证根部牢固的夹紧, 则可以作为插入端承载进行计算, 要避免图 11b 的结构。

角接焊缝(图 12a) 角接焊缝按结构是一个 T 型焊缝, 一般在受力偏转的部位不应该焊接, 因此, 压力容器的焊缝安置在弯曲部分之外, 见图 12b, 焊缝与弯曲部份的最小距离应为 $f \geq 5s_1$ 。

对于焊接件中冷成形的部分, 应考虑构件壁厚(见 1.1.2), 要保持离开焊口最小距离 f (图 12)或将冷变形部分正火。

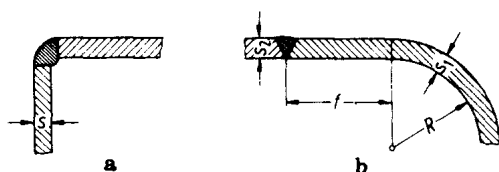


图 12. 角结构 a. 角接焊缝; b. 预变形零件, 例如容器封头的转角处结构

多面焊缝(图 13) 当只从一边焊接时, 由于下面的板固定得不可靠(烧穿), 只有在可能仔细加工或强度方面要求不重要时采用它, 当两面都可以接近时, 用底部封焊和由背面焊接。

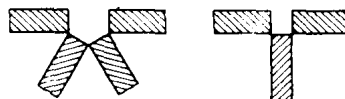


图 13. 多面焊缝

1.1.4 焊缝符号 Graphical symbols for welds

代号和图示: 见 DIN 1912

焊缝形式可以用代号(图 14a, c)或说明图(图 14b,

d) 来表示, 优先考虑用代号表示, 代号标注在基线上表示焊缝和接头的位置, 附录 G1 表1 给出基本的和补充的符号以及焊缝说明图。

焊接方法 缩写和方法参数按 ISO 4063:
G——气焊 311, **E**——手工电弧焊 111,
UP——埋弧焊 118, **WIG**——钨极惰性气体保护焊 140, **MIG**——熔化极惰性气体保护焊 130,
MAG——金属极活性气体保护焊 135. 附注:
m——手工焊, **t**——半机械化, **v**——全部机械化, **a**——自动焊。

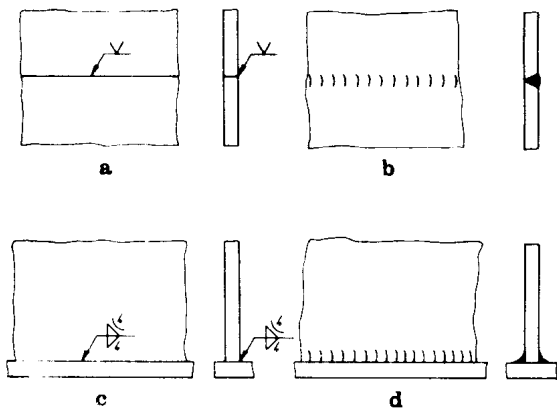


图 14. 图示形式 a. 对接焊缝代号; b. 对接焊缝说明图; c. 双角焊缝代号; d. 双角焊缝说明图

焊接质量 按加工和检验费用在 DIN8563 中 (按焊接工作的质量可靠性) 分为以下的评价等级:

对接焊缝: AS, BS, CS 和 DS

角焊缝: AK, BK 和 CK

对于选定的评价等级制造部门要有设计师的支持, 在给定情况下, 与检验机关和专门的部门确定质量标准. 这个标准关系到载荷类型 (静载荷, 动载荷), 环境影响 (化学、腐蚀、温度) 和附加的要求 (例如密封性、可靠性要求), 保证上述要求靠:

对于采用的焊接方法和使用目的而言, 材料的焊接性能; 按材料、工件厚度和焊接联接的负荷选择焊接方法; 与母体材料协调, 经过检验并允许的填充材料; 经过测验并在工作后经检验人员检查的焊接人员; 证实焊接结构是无可指摘的 (例如经过透视); 特殊要求 (例如真空密封性能, 焊缝各面打磨)。

焊接位置 代号见图 5。

例: 图 15a V-U 型坡口采用金属极活性气体焊接加工 (135), U 型坡口采用埋弧焊 (12), 要求评价等级 BS, 熔池位置 W. 图 15b 中, 间断的角焊缝前端空一段 (v), 间隔 e, 每段焊缝长度 l 及焊缝段数 n 采用手工电弧焊 (111), 要求评价等级 CK, 熔池位置 h。

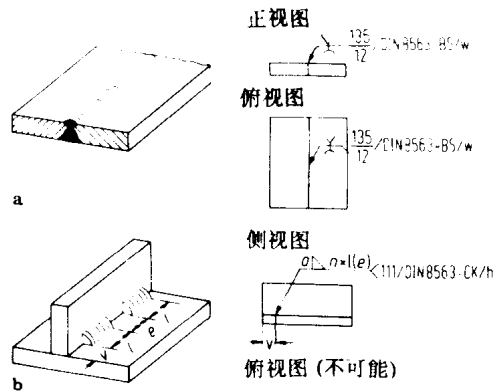


图 15. 代号的图示 a. 对接焊缝 (V-U 型坡口) 附加注有的加工说明; b. 间断的角焊缝有端部间隔和附加的加工说明

1.1.5 焊接的计算

Strength calculations for welded joints

一般参考资料: Bobek, K.; Heiss, A.; Schmidt,

Fr.: Stahlleichtbau von Maschinen. Konstruktionsbücher Bd. 1. Berlin: Springer 1955. - Erker, A.; Stoll, A.; Hermesen, H. W.: Gestaltung und Berechnung von Schweißkonstruktionen, 2. Aufl. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 9. Düsseldorf: DVS-Verlag 1971. - Kloth, W.: Leichtbau - Fibel. Wolfratshausen - München: Neureuther 1947. - Neu mann, A.: Schweißtechnisches Handbuch für Konstrukteure. Teil 1: Grundlagen, Tragfähigkeit, Gestaltung, 4. Aufl. Bd. II: Stahlbau, 2. Aufl. Bd. III: Maschinenu. Kesselbau, 2. Aufl. Bd. IV: Verkehrstechnik. Berlin: VEB Verlag Technik 1978, 1962, 1963, 1965. - Salmel, P.; Veith, H.-J.: Grundlagen der Gestaltung geschweisster Stahlkonstruktionen, 5. Aufl. Fachbuchreihe Schweißtechnik Bd. 12. Düsseldorf: DVS-Verlag

1976. -Schimpke, P.; Horn, H. A.; Ruge, J.; Praktisches Handbuch der gesamten Schweiss-technik, Bd. III: Berechnen und Entwerfen der Schweisskonstruktionen. Berlin: Springer 1959.

-Thum, A.; Erker, A.: Schweißen im Maschinenbau, Teil 1: Festigkeit und Berechnung von Schweissverbindungen. Berlin: VDI-Verlag 1943.

-Stahl im Hochbau. Handbuch für Entwurf, Berechnung und Ausführung von Stahlbauten, 13. Aufl. Düsseldorf: Verlag Stahleisen 1967.

-Aluminium - Zentrale Düsseldorf: Aluminium-Taschenbuch, 13. Aufl. Düsseldorf 1974.

-Leichtbau der Verkehrsfahrzeuge 7 (1963) Sonderheft, Radaj, D.: Festigkeitsnachweise, Teil I u. II. Fachbuchreihe Schweissstechnik Bd. 64. Düsseldorf: Deutscher Verlag für Schweissstechnik 1974.

承载能力

与焊接的承载能力有关的因素有: 母材的性质、热影响过渡区和焊接质量、应力种类(拉、压、剪切、静载荷或动载荷)、坡口形式、坡口结构和坡口加工、工作应力和焊接内应力的联合作用(特别在失稳情况以及在一定条件下受动载荷时)和焊缝质量、受动载荷时对结构和制造提出最高的要求。

静载荷 受静载荷时, 与拉力方向垂直的对接焊缝一般在焊缝附近产生塑性变形和断裂。在与焊缝平行的载荷时, 母体材料和焊缝的变形相同, 在这个范围以内, 低韧性的组织结构(例如在热影响区内的马氏体)产生裂纹和断裂。

动载荷 在此情况下全部加工完了的试件会产生振动断裂, 这种断裂经常是发生在母体金属和焊缝之间的过渡区。焊接结构的疲劳强度低于母体材料的疲劳强度时, 未经过加工的焊缝强度低于加工过的焊缝。在此给出了大多数材料、坡口形状和焊缝结构、疲劳强度图(见 E1)。例如: 图 16 及 17。

在曲线图中未考虑内应力产生的静初载荷, 它按符号不同使平均应力加大或减小。在正常情况下内应力在工作中起作用但是在应力变化的过程中降低。尺寸影响。如果载荷变化次数和应力(损伤线)没有超过一定的极限值, 则短时间的过载没有影响。

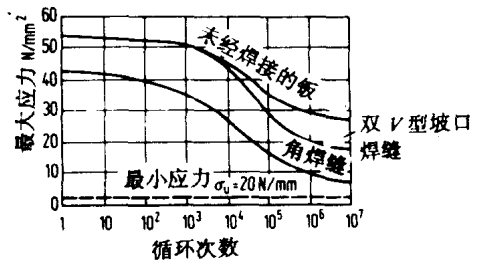


图 16. 韦勒(Wöhler)曲线图; 母体材料 St 52; 载

荷方向垂直于焊缝

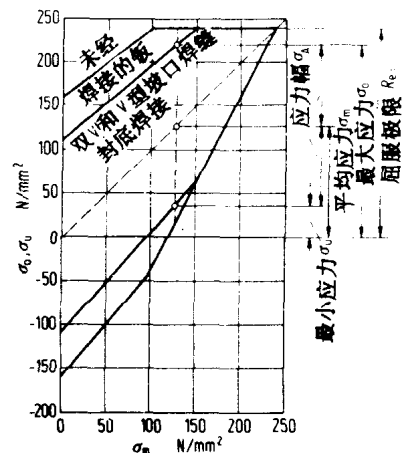


图 17. 疲劳强度曲线图; 母体材料 St 37; 载荷方向垂

直于焊缝

在焊缝中有小的杂质(圆形的气孔或夹渣), 不降低或只不显著的降低疲劳强度。裂纹和表面缺陷, 例如咬边、尾部凹陷、未清除干净的沉积物和焊缝附近电弧开始打火的部位都可能由此成为疲劳破坏的起点并且因而降低疲劳强度。

图 18 给出铝合金的材料强度值(制铝中心, Düsseldorf)。对于壁厚大于 10mm 到 70mm 时, 取降低系数(数量影响系数)达 0.8, 以后则保持不变(见 E1.5.2)。

应该比较作用的应力和材料强度, 以校核承载能力即承载可靠性。

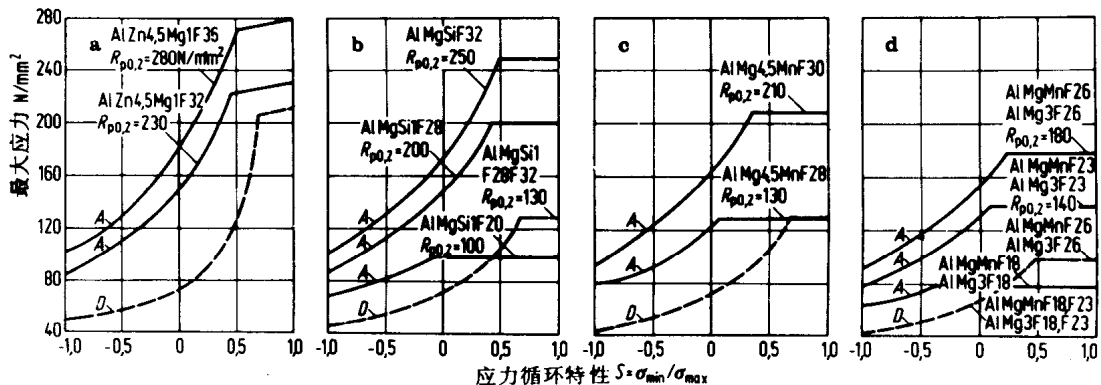


图 18. AlZn 4.5 Mg 1, AlMgSi 1, AlMg 4.5 Mn 和 AlMgMn/AlMg 3 材料的极限值, 适用于锻造毛坯 (DIN 1745 至 1749), 表面不加工 (例如带有轧制氧化皮) 壁厚 (直径) $s=10\text{mm}$. 受拉、压弯曲和剪切应力, 极限循环次数 $N=10^7$. 斜线 A: 未经焊接的材料, 虚线 D: 对接焊缝 MIG 和 WIG (有焊道); a. 虚线 D 用于 AlZn 4.5 Mg 1 F 36 和 F 32; c. 虚线 D 用于 AlMg 4.5 Mn F 28. 实心断面弯曲, $s=0$ 至 50mm , 曲线 A 的数值乘以 1.2. 剪应力取曲线 A 的数值乘以 0.65

计算 按下列步骤进行:

查明作用的外载荷 即使在法定的或由委托者 (例如德国联邦铁路局) 提出的规范规定之下的结构部件, 为确定其计算载荷、附加载荷、冲击载荷系数和安全系数, 须参看附录 G1 表 2 所作的说明. 在其他所有的情况中都可以把这些规范作为依据. 在校核力时, 将由确定相应的许用应力或选择适当的安全系数来考虑其可靠性.

计算焊缝中和连接横断面中的名义应力 根据外载荷按材料力学的公式 (见 C) 计算名义应力. 零件采用的公式在规范中确定, 见附录 G1 表 2. 图 19a 给出名义应力的符号.

在结构部件中常有多种应力同时出现, 然后将相应的应力合成. 拉、压、弯曲引起正应力, 方向相同的算术相加. 方向互相垂直的必须由这应力求得比较值 σ_v , 此值在受静载荷时与屈服极限进行比较而在受动载荷时与疲劳强度即工作强度进行比较.

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + \sigma_{11}^2 - \sigma\sigma_{11} + \alpha(\tau^2 + \tau_{11}^2)} \leq \text{许用 } \sigma$$

式中受静载荷时按 DIN 4100 或 18800 第 1 部分取 $\alpha=1$

受动载荷时按 DIN 15018 取 $\alpha=2$

受弯曲的焊接的梁, 在受静载荷时, 双面角焊缝或 HY 焊缝构成的联接, 在搭板或盖板中正应力

σ_{11} 没有影响, 因此比较值为 $\sigma_v = \sqrt{\sigma^2 + \tau^2 + \tau_{11}^2}$.

在计算中取的 τ 值与 $\sigma_{\max}$ 有关, 而 σ 则与 $\tau_{\max}$ 有关. 此外, 可以证明, 剪应力 τ 不超过临界剪应力值.

对焊 计算总是取较薄的板的厚度 s 作为焊缝厚度, 见图 19b. 由于焊缝端部凹陷要将焊缝长度扣除焊缝厚度, $l=b-2a$. 在使用加长板时 $l=b$ (图 20). 角焊缝 (图 19c) 的焊缝厚度 a 为图中画出的等腰三角形的高. 在联接平面内被设计的焊缝断面按边长 a 计算应力. 这里也要考虑端部凹陷. 当张角小于 60° 时, 斜接头的角接缝 (图 11—译者注) 不应作为承载结构进行计算 (例外: 焊接方法保证根部可靠的夹紧时). 不对称的构件连接 (图 21) 允许采用断面相同的焊缝. 构件连接的角焊缝不应比 $15a$ 短而且不应比 $100a$ 长. 圆柱形的锅炉壳体、卷筒和贮存容器当 $D_0/D_1=1.2$ (AD) 及 $=1.7$ (TRD) 时, 按锅炉公式 (见 K 2.2) 计算必需的板厚. 地脚螺栓、基础螺栓套管和定位螺栓焊缝的剪切断面至少为螺栓和地脚螺栓断面的 125%. 地脚螺栓从两面焊在固定地脚螺栓的壁上.

确定许用应力静载荷 图 22 和表 2 适用于钢结构高大建筑. 对接焊缝的底部必须清理及补焊, 或者必须用另外的方法照顾到, 以保证焊透. 表 3 用于机械制造而且极限应力比值为 $s=+1$. 其他值见 DIN 15018.