

三、焊缝结构的设计

3.1 布局设计

1、焊接过程中的设计要求主要包括哪些内容？

① 设计时应使设计方案满足零件各部位强度和硬度的要求，但不能超出安全设计标准，应让焊接工程师来检验各部件设计的安全性。如果设计要求的硬度设定的太高，这样的设计会超出安全设计标准，并且会因额外材料、焊接操作和运输等方面的增加而提高整个过程的成本。超出安全设计标准还可能增加用户在燃料、能源和维护等方面长期的费用，因此设计时应请有经验的工程技术人员严格检验设计方案的合理性。

② 应确定结构中焊缝的外观要求，以避免不必要的增高。有时许多设备零件上的焊缝完全被隐藏起来，这样可以减少为了提高焊缝外观质量而增加的焊缝打磨、修整的费用。因此，为了便于让操作者知道哪些焊缝需要进行打磨、修整以具有良好的外观，应在这些部位进行标记。

③ 如果产品必须要求按一定的工艺规程进行焊接制造时，应核对相关的工艺规程以决定采用经济、合理的焊接方法。

④ 用较厚的结构件可以防止产生焊接弯曲和变形。

⑤ 焊接中采用对称结构对于防止焊接弯曲和变形更加有效。

⑥ 在横梁结构的末端焊接刚性支撑件，可以增加结构的强度和刚度，在材质、宽度和承受载荷相同的两个横梁结构中，采用刚性支撑比不采用刚性支撑的焊接结构产生的弯曲变形小，如图 14 所示。

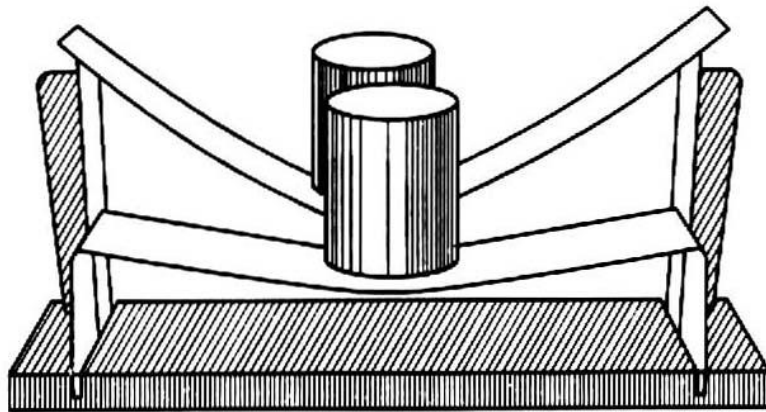


图 14 横梁结构末端焊接刚性支撑件的示意

⑦ 采用封闭式结构或对角拉条结构可以防止发生扭转变形。封闭式结构比开口式结构的弯曲角度小得多，见表 1。同时采用适当的加强筋还可以减小结构的质量，提高结构的刚度，如图 15~17 所示。

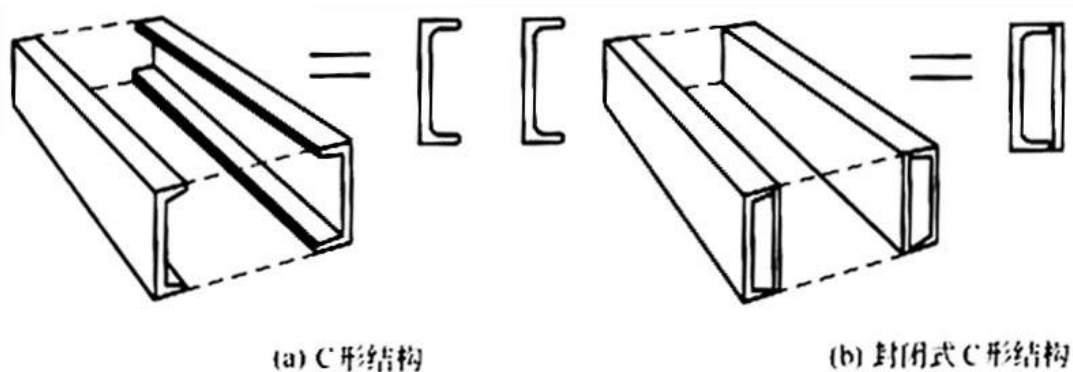


图 15 抗扭转载荷的框架结构示意图

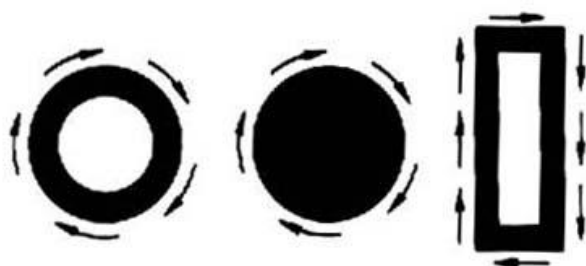


图 16 抗剪应力载荷的圆形和矩形结构示意图

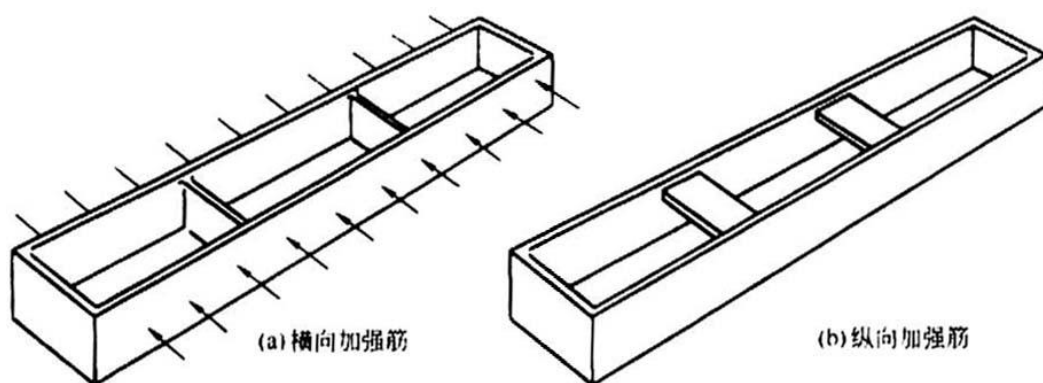

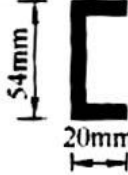





图 17 抗压应力载荷横向和纵向加强筋示意

表 1 扭转载荷相同的钢结构尺寸和弯曲角度

项目	弯曲角度				
	厚度 $t=1.5\text{mm}$	厚度 $t=1.5\text{mm}$	厚度 $t=1.5\text{mm}$	厚度 $t=1.5\text{mm}$	厚度 $t=1.5\text{mm}$
负载相同					
实际弯曲角	9°	9.5°	11°	极小	极小

焊接技巧 100 招连载

在图 15 中，框架结构的抗扭转变形能力与各部分单独抗扭转变形能力的总和几乎相等，采用封闭式 C 形框架结构可以提高整体结构的抗扭转变形性能。在图 16 中，圆形结构比矩形结构的抗扭转载荷更好，主要是由于矩形结构周围剪切应力分布不均匀，而圆形结构载应力集中现象，而且圆形结构在各方向上还具有抗弯曲变形能力。在图 17 中，采用对角加强筋的焊件结构经常可以代替基座的厚重铸件，提高结构的强度。在抗压应力载荷方面，横向加强筋与纵向加强筋的作用不同，横向加强筋一般常用于铸造结构中，而纵向加强筋常用于焊接结构设计中。

⑧ 在抗扭转载荷方面，对角拉条结构比纵向垂直结构更为有效。图 18 所示为两种钢结构基座的结构示意，图 18(a) 中基座是由厚度 25mm 的钢板组成的，图 18(b) 中的基座是由厚度 10mm 的钢板组成的。它们的抗扭转变形能力几乎相同，但对角拉条结构的加强设计与纵向加强结构相比，可以节约 60% 的结构质量、减少 78% 的焊接工作量以及 54% 的总制造费用。

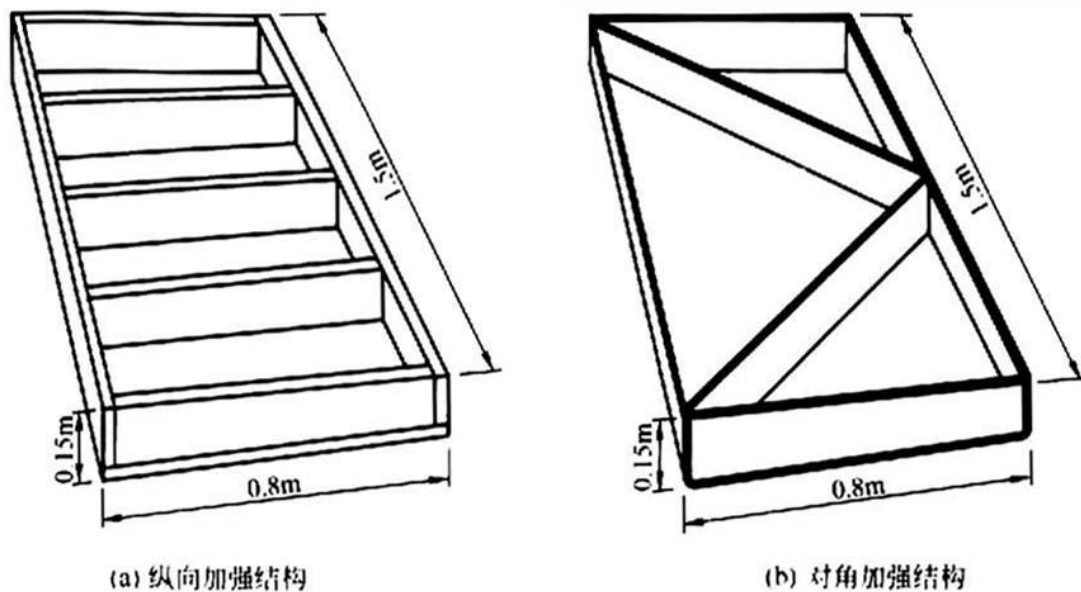


图 18 基座纵向加强和对角加强的结构示意

⑨ 确定结构中可能采用的低级别钢材的位置，在实际的焊接操作过程中，高碳钢和合金钢的焊接需要预热和焊后热处理，但这样会增加焊接结构的成本。因此在焊接结构中仅仅在需要的时候采用高级别的钢材，其余的结构都可以采用低碳钢。

⑩ 高级别钢种和其他昂贵材料都不是以标准形状的工件供货的。

(1) 如果结构中需要彩和表面耐磨性能良好的昂贵材料或难焊材料，可以考虑采用碳钢结构作为基底，利用堆焊或表面硬化处理获得满意的表面性能要求。

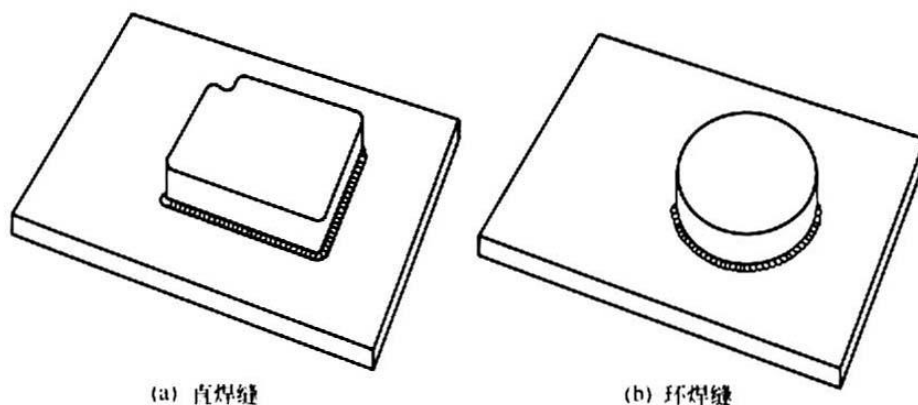
(2) 为了节约费用和降低供货时间，一般采用板材、棒材或其他标准形状的结构件进行焊接。

(3) 如果板材或棒材必须进行机械加工、磨削或表面硬化处理，那么原始板材或棒材的结构尺寸要求可以迅速从车间或供货厂家方面得到。

焊接技巧 100 招连载

(14) 对设备零部件应确保必要的维修、维护，不要忽视对封闭式结构中的轴承座或其他重要的易磨损零部件的维护，这也适用于电力和压力管线或组件的维护要求。

(15) 为了进行自动焊接，有时将结构件设计成圆形结构，这样的设计有利于后续的焊接、加工、装配等各个环节，如图 19 所示。



(a) 直焊缝

(b) 环焊缝

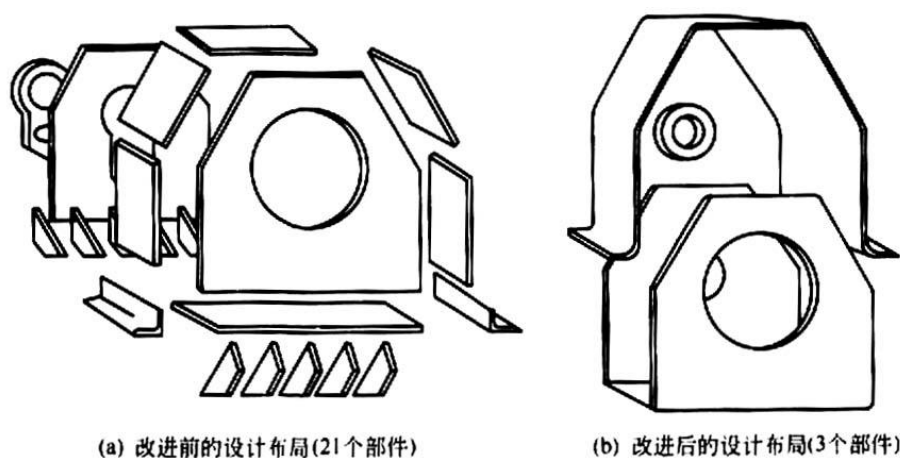
图 19 自动焊接过程中的直焊缝和环焊缝示意

(16) 焊接设计前应咨询工厂中有经验的技术人员，可以获得更好的设计方案并可节约费用，这些工作必须在确定焊接设计方案之前进行。

(17) 焊接设计前应检查结构规定的公差范围和各部分受力情况，实际操作者可能不会掌握更经济、合理的操作规范，因为有时可能不需要更精确的公差要求。

2、零部件的布局设计需要考虑的因素有哪些？

① 首先应考虑零部位数量的最小化，这将减少设备的装配时间和焊接工作量，如图 20 所示。



(a) 改进前的设计布局(21个部件)

(b) 改进后的设计布局(3个部件)

图 20 减少零部件数量的设计布局示意

② 对结构布局和设计方案进行优化可以节约材料和焊接时间。在决定采用图 21(a)和图

焊接技巧 100 招连载

21(b)所示的方案之前应考虑材料、切割及焊接的费用，还应考虑边角余料的有效利用。在图 **21(a)**中可以直接使用框架结构剪裁的余料进行后续工艺，这种剪裁方法比采用拼接工艺更加具有经济意义；图 **21(b)**是假设的优化选择方案，框架结构被分成若干个部位进行焊接，这样可以代替从大型板材上切割下料。

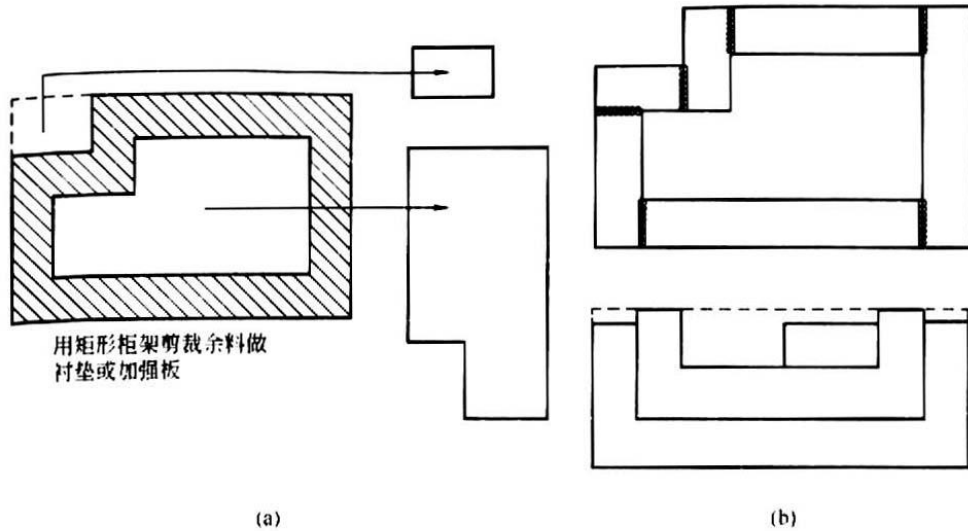


图 21 剪裁余料的合理选择和应用示意

③ 环状结构件可以从单块板材或被焊接成嵌套的结构件中切割而成，与上述布局和设计方案的选择一样，确定最佳工艺方案之前，应充分考虑零部件的尺寸公差、材料、切割、焊接的费用以及边角余料的有效利用等。考虑到运输方面的因素，从厚板材料切割嵌套零件并焊接成环状部件可以节约材料费用和运输时间，如图 **22** 所示。

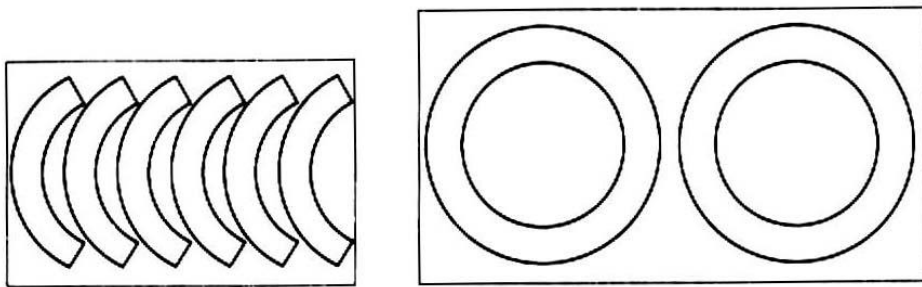


图 22 环状结构的嵌套切割示意

④ 在尺寸公差允许的范围内，可以考虑将钢板滚压成环状结构，然后在具有中空圆形结构中进行焊接，以代替直接从厚板上切割环状结构件，这样可以减少材料的费用，如图 **23** 所示。

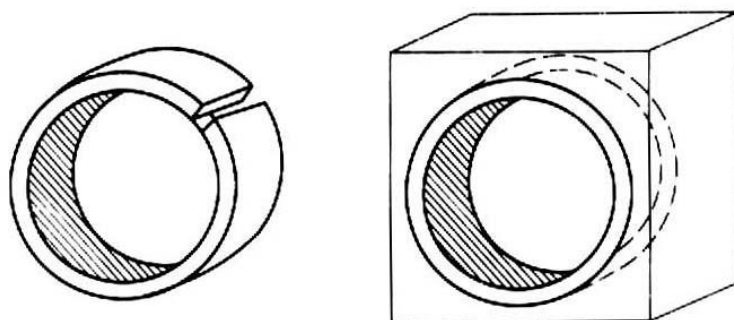


图 23 滚压环状结构示意

⑤ 如果焊接结构中环状结构件有数量上的要求，可以考虑将一个平板滚压成一个圆筒结构，然后进行缝焊。也可采用火焰切割将圆筒切割成一系列的环状结构件，如图 24 所示。

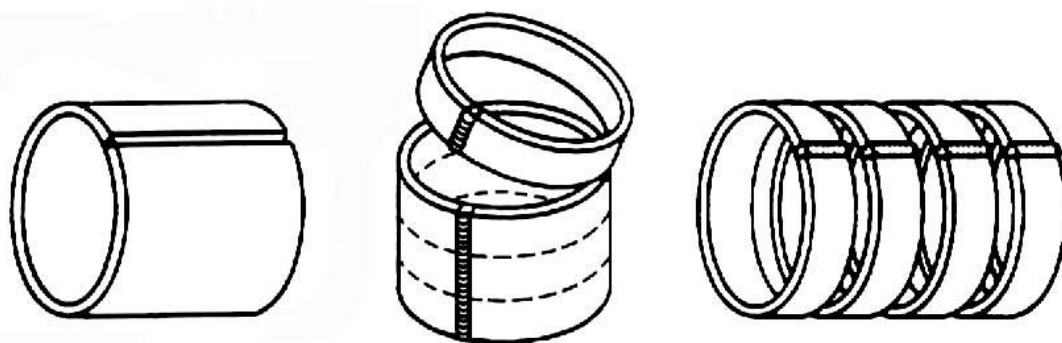


图 24 滚压圆筒结构的焊接及切割示意

⑥ 对于非常复杂的一些结构部件可以通过将各零部件进行焊接装配而获得，这样可以节约整体结构的质量、材料及机械加工时间，如图 25 所示。

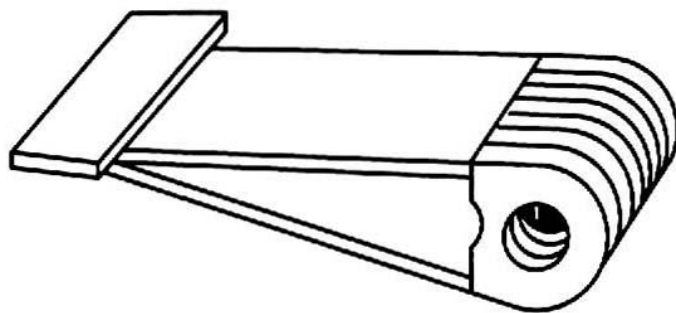


图 25 复杂部件结构采用切割和焊接装配的示意

⑦ 对平板结构进行卷边处理可以增加钢板的刚度，节约材料的费用，如图 26 所示。

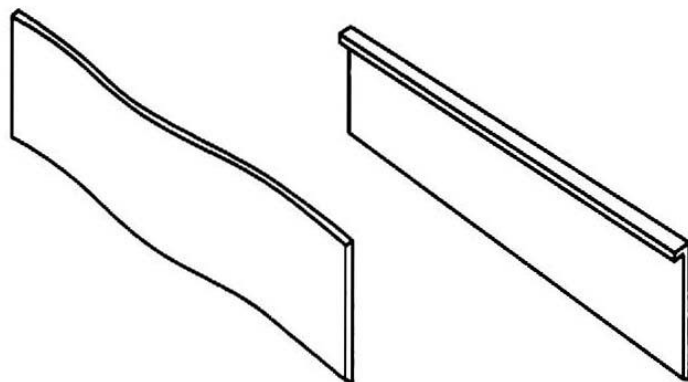


图 26 平板结构卷边的示意

⑧ 两平板对接焊时，将其中一个板的边缘进行弯曲卷边处理，可以给焊接结构提供一个加强筋，而且费用不高，如图 27 所示。

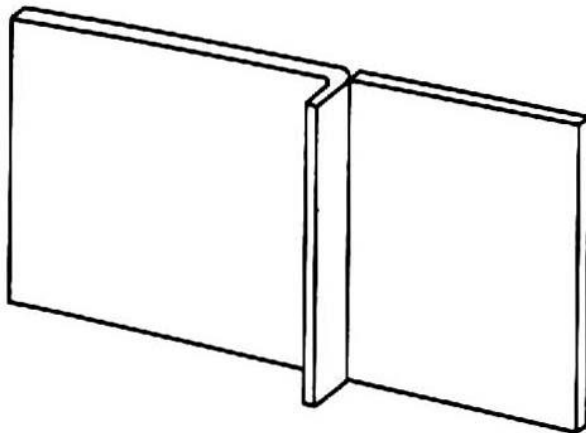


图 27 平板对接卷边的示意

⑨ 可以考虑采用波纹形板材以增加板材的刚度，或对板材表面进行压痕处理以增加板材的刚度，如图 28 所示。

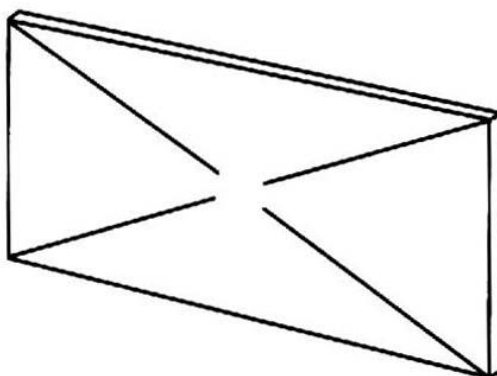


图 28 平板表面压痕的示意

⑩ 在进行各项工艺步骤前，应仔细检查设计方案，看是否可以节约材料，并且使采用的焊接工艺不会影响最终产品的强度要求，如图 29 所示。

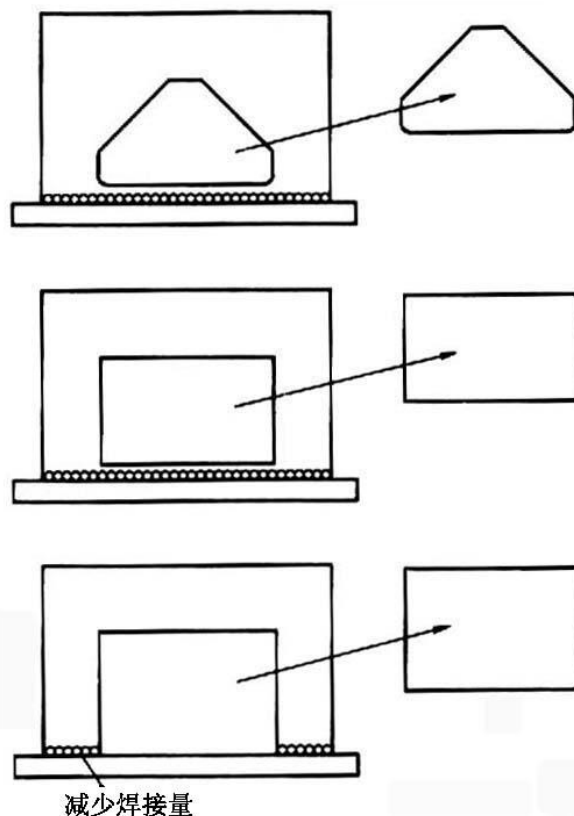


图 29 节约焊接和材料的设计修改方案实例

(1) 检查焊缝位置是否处于焊接制造过程的最佳位置，图 30 所示改变焊缝的位置可以减少焊接材料的浪费，更适合于自动化焊接技术的使用。

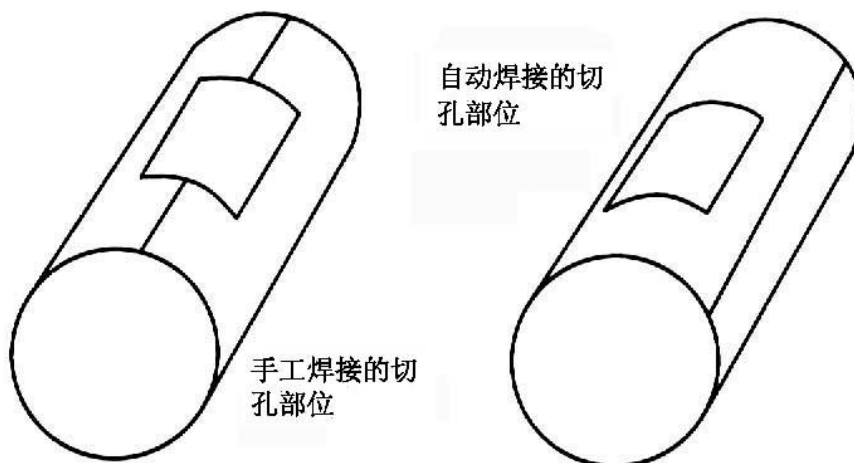


图 30 焊缝位置的选择对焊接的影响示意

3.2 焊接准备及接头设计

1、焊接板材的准备过程中需要注意的问题有哪些？

① 从板材上制备焊件坯料的最佳工艺方法主要包括火焰切割、剪切、锯割、冲压下料、冲裁、棒材和管材的车削等。

② 考虑制备焊件坯料方法时，应充分考虑焊件尺寸准确性和坡口质量要求，同时考虑其他材料的后续加工、坡口形状或开坡口的要求。

焊接技巧 100 招连载

③ 考虑焊接中切割坯料的尺寸和坡口准备时,应注意并非所有的焊缝都采用连续焊缝。具有连续焊缝的 V 形坡口有时不能满足使用要求。

④ 对于单面 V 形坡口,可以采用单割嘴火焰切割开坡口;相反,对于双面 V 形坡口,可以采用多头割嘴火焰切割开坡口,切割工艺过程可以采用同一台切割设备完成。

⑤ 厚板材料有时需要开 J 形或 U 形坡口,与双面 V 形坡口相比可以节约焊缝金属。

⑥ 有时需要考虑铸造或锻压结构是否能消除焊件的复杂截面,以及是否能简化焊接设计和减少制造费用。

⑦ 对于结构连接的关键部位,可以采用昂贵材料(如少量的堆焊合金)代替一般焊接材料,这样可以达到良好的效果。

⑧ 在零部件需要卷边、密闭件或增加加强板时,应考虑用焊接方法制造的工件代替采用锻压件或机械加工件。

⑨ 采用焊接方法并不能处理所有的问题。例如采用成形工艺制造角形结构与采用焊接方法相比,可以减少材料、制造和焊接等费用,如图 31 所示。

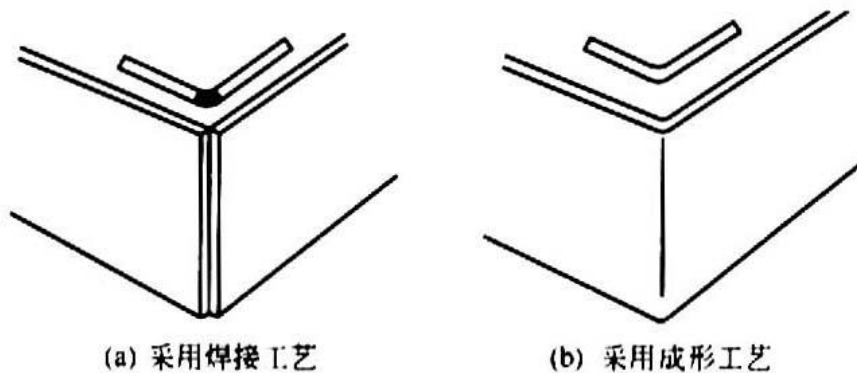


图 31 角形结构的成形方法示意

2、焊接接头设计过程中需要注意的问题有哪些?

① 应避免焊接接头的坡口设计过大。例如一个圆形或管状结构和另一个圆形或管状结构的平直表面进行焊接时,就会存在两个问题,即根部熔合情况和是否烧穿。采用正确的接头设计可以得到良好的根部熔合并且不会产生烧穿,如图 32 所示。

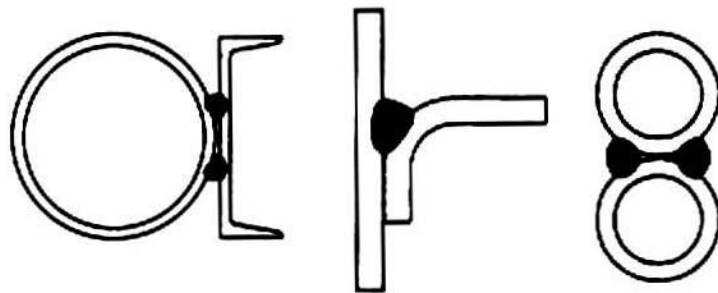


图 32 圆形或管状结构接头设计的示意

② 为了减少填充材料的使用,可以减小根部间隙和坡口角度,如图 33 所示。

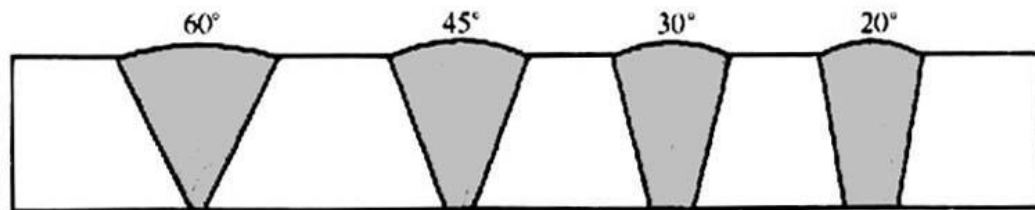


图 33 减小根部间隙和坡口角度可以减少焊缝金属和焊接时间

③ 厚板结构采用双面 V 形坡口代替单面 V 形坡口可以减少焊缝金属，如图 34 所示。

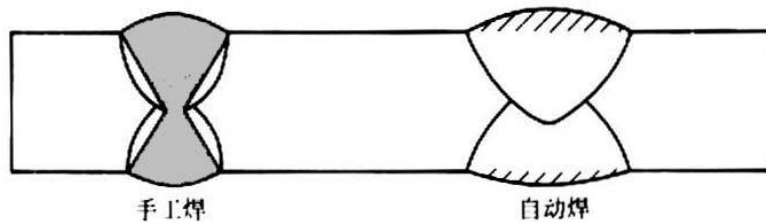


图 34 采用双面 V 形坡口代替单面 V 形坡口的示意

④ 有时采用单个焊接接头可以同时焊接三部分焊接结构（如图 35 所示），上部两板的间隙可以使三部分结构充分熔合。

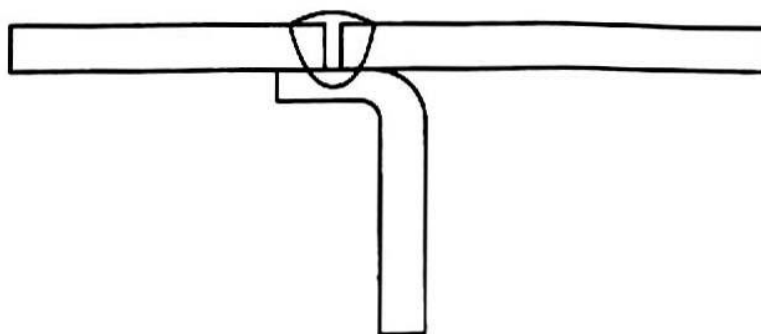


图 35 单个焊接接头连接三部分结构的示意

⑤ 应检查焊接接头位置，以确定适合于焊缝位置的焊接方法，如图 36 所示。

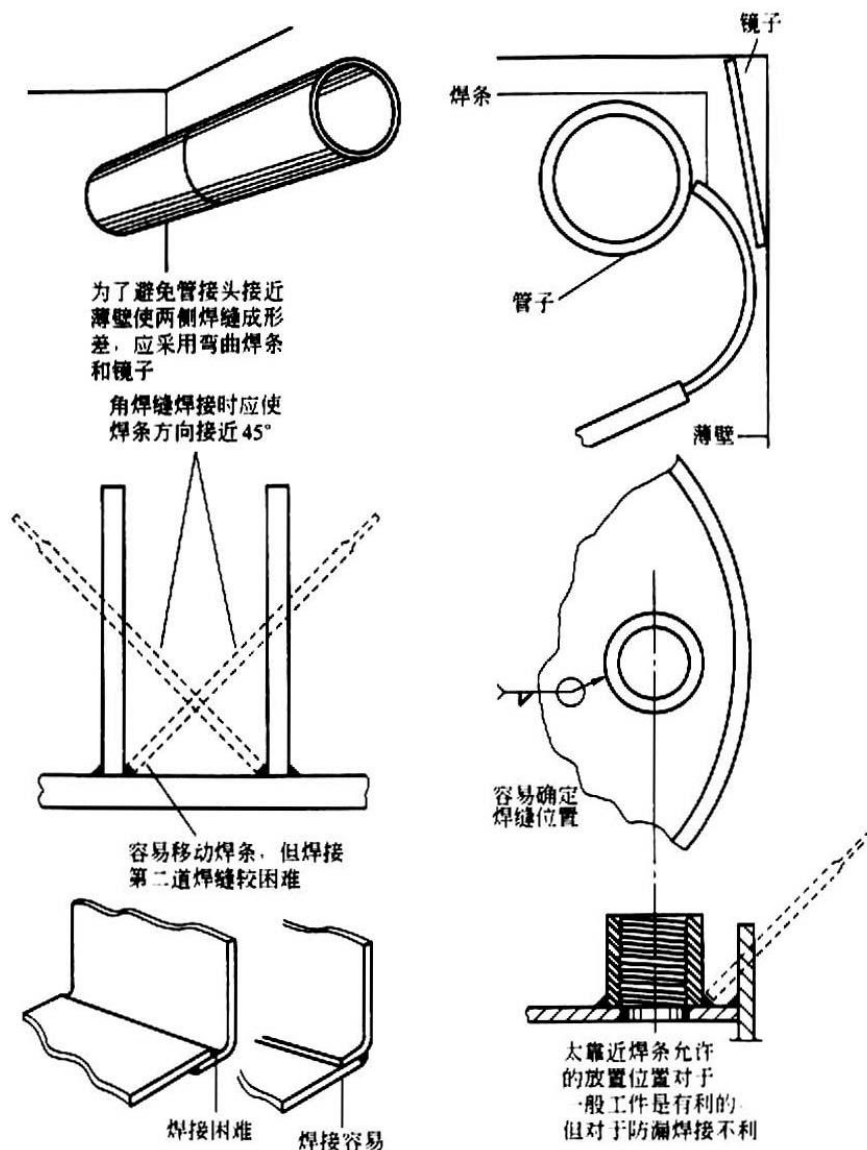
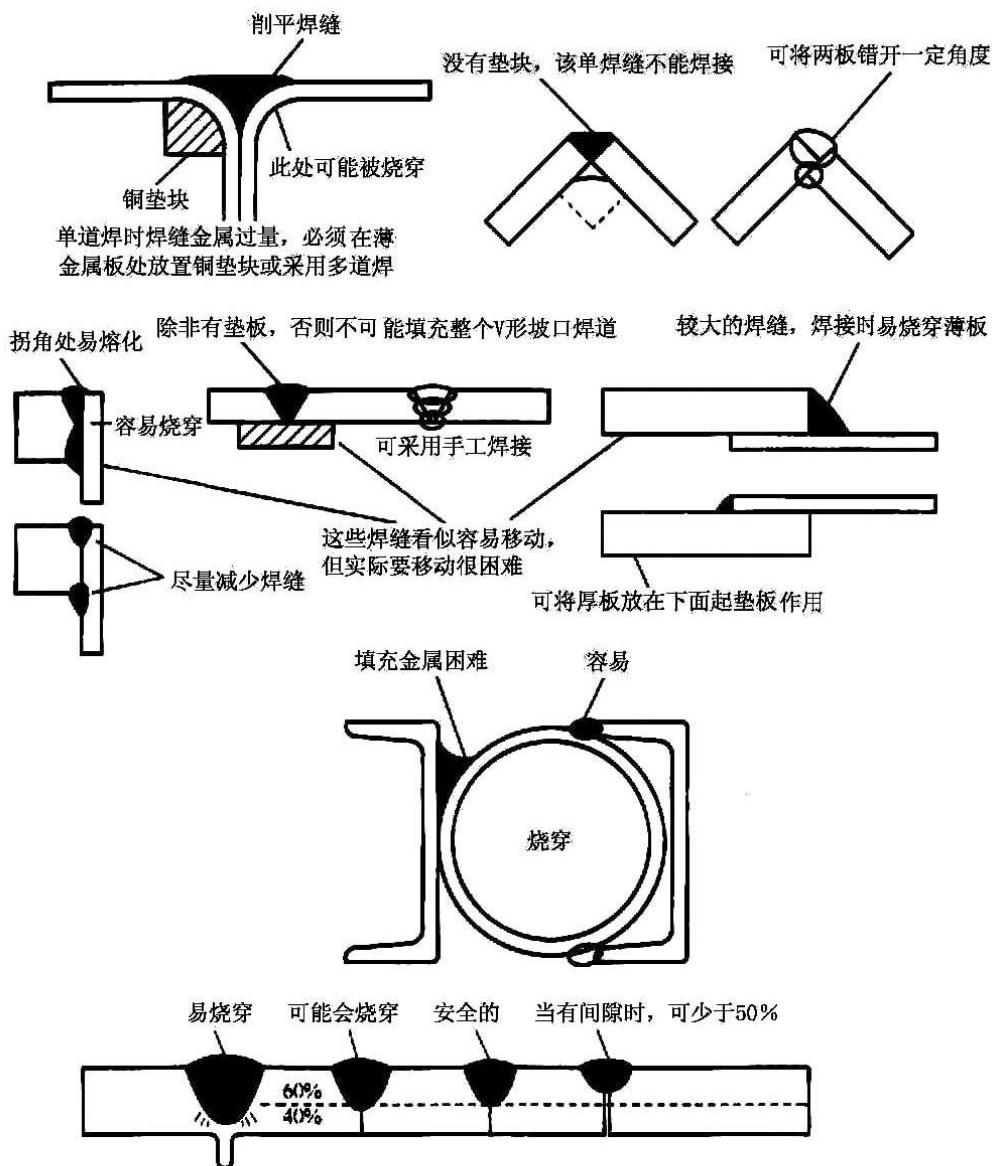


图 36 焊接接头的设计示意

⑥ 对于焊接操作者来说, 选择焊缝设计时应考虑满足接头强度、使焊缝金属减少及不产生烧穿的要求。图 37 所示为防止产生烧穿的一些合理的焊缝设计。



在没有间隙接头中, 不采用垫板的焊缝熔深达到60%时, 可获得良好的接头, 当有间隙时更少

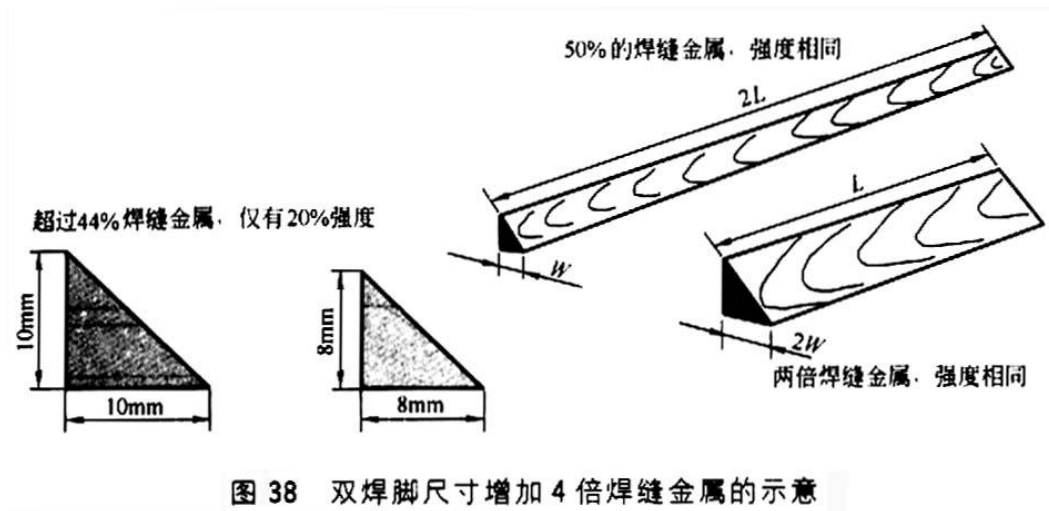
图 37 防止产生烧穿的合理的焊缝设计示意

3、焊接接头设计过程中焊缝尺寸和数量有哪些要求？

① 应确保采用的焊缝数量适中, 不要太多也不要太少, 并且焊缝尺寸过大会增加焊接费用。

② 根据工艺文件或标准的车间工艺规程确定要完成的焊缝数量, 设计者应考虑安全因素来设计焊缝, 不要增加其他额外的安全因素。

③ 角焊缝接头设计中角焊缝的焊脚尺寸十分重要。由于焊缝的面积和数量会增加焊脚尺寸, 因此双焊脚尺寸将会使焊缝金属增加 4 倍, 如图 38 所示。



- ④ 在小载荷或无载荷条件下，断续角焊缝可以用于代替同样焊脚尺寸 of 连续角焊缝。
- ⑤ 尽量使焊缝位于焊件较薄的区域，使焊缝尺寸主要集中于薄板上。
- ⑥ 加强筋或焊接隔板不需要过多进行焊接，应尽可能减小焊脚尺寸或焊缝长度。

4、装配组件的应用有哪些优点？

- ① 将焊接工作分配给更多的焊工，可以缩短工时；
- ② 可以提供更好的焊接方法；
- ③ 可以减少结构变形的可能性；
- ④ 对小区域的机械加工更加便利；
- ⑤ 有利于局部区域的应力消除；
- ⑥ 可以对各部件和密闭式结构进行渗漏试验；
- ⑦ 在焊接工作前可以进行工艺检验，以利于提高工艺的精确性并纠正错误。

5、组件的焊接装配有哪些步骤？

- ① 焊前应清理工件表面的油、锈和污物；
- ② 检查工装夹具，有缝隙的部位需要修补；
- ③ 夹紧工件到焊接位置并保持焊接过程的稳定；
- ④ 用固定夹具夹紧临时夹具，使焊接过程始终维持在校正位置；
- ⑤ 预置接头以补偿焊接时可能产生的收缩；
- ⑥ 预弯曲零部件以补偿焊接时任何可能产生的变形；
- ⑦ 使用定位板；
- ⑧ 有时可以将焊件截断成几部分，对每一部分进行焊接，可以使每部分焊件在中性轴位置保持平衡；
- ⑨ 对大量复杂结构进行焊接时，可以对各部分组件分别焊接，这样可以使最终的装配更加容易固定。

焊接技巧 100 招连载

6、焊接工艺步骤有哪些？

- ① 尽量提高操作效率，采用焊工辅助装置、良好的固定夹具和夹持设备等；
- ② 在最短的时间内熔敷尽可能大量的填充金属；
- ③ 采用焊接辅助板，可以提高开坡口接头第一道焊缝的焊接速度；
- ④ 采用低氢型焊条消除或降低预热温度；
- ⑤ 手动将焊条的伸出长度调整到 **50mm**；
- ⑥ 应尽量在平焊位置进行焊接，采用仰焊或立焊费用要贵一些；
- ⑦ 如有可能应采用最高焊接速度在平焊位置对角焊缝进行焊接；
- ⑧ 采用自动焊设备焊接角焊缝接头时，调整焊缝位置可以在接头的根部获得良好的熔深，并且不会影响焊缝的强度。水平板在水平方向 **30°** 的角焊缝位置焊接和垂直板水平方向 **60°** 的角焊缝的焊接示意如图 39 所示；

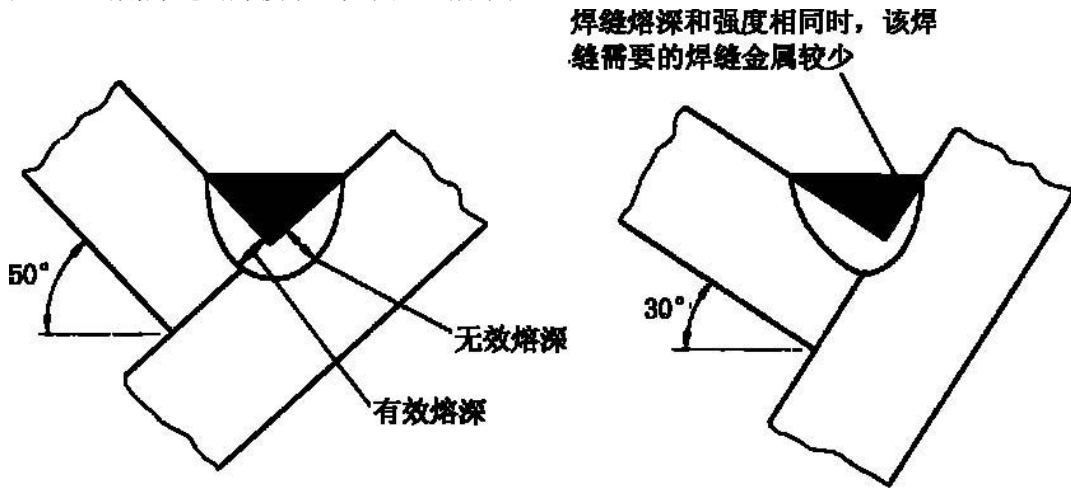


图 39 调整角焊缝焊接位置的示意

- ⑨ 可以考虑在较大焊接电流条件下采用大尺寸焊条；
- ⑩ 在各部件无拘束应力方向进行焊接；
- (11) 采用合适的焊接工艺措施以消除电弧偏吹现象；
- (12) 对在冷却条件下极易产生收缩的接头先进行焊接；
- (13) 应确保采用恰当的焊接速度、焊接电流和焊接电压；
- (14) 采用半自动或全自动焊接方法更加有利于获得良好的熔深和均匀的熔敷金属。

7、焊后对焊接件的清理和检验有哪些步骤？

- ① 除了某些特殊性能的要求（不包括外观要求），不应将焊缝表面打磨光滑或平滑，因为对焊缝进行打磨的工时和费用较高，通常会超过焊接的费用；
- ② 采用手工电弧焊和熔化极气体保护焊时，使用铁粉焊条可以降低焊缝表面的清理时间；
- ③ 焊接时将防飞溅薄膜平行放置在焊缝两边；

焊接技巧 100 招连载

④ 获得质量良好的焊缝是焊接的最终目的，但有时一个外观较差焊缝的强度可能会比外观良好焊缝的强度高；

⑤ 过度的焊缝检查工序会增加焊接的总费用。