

核工业中电子束焊接的出现——是否可行？

在核工业中，焊接“厚壁”部件可通过经济有效的各种工艺完成，但材料中残留磁性物质阻碍了这些工艺的有效应用。多年来，我们的目标是找出一种可以在核工业中更广泛使用的适当工艺。尽管核工业内的输出量低，但这些组件安全性至上需要我们找出一个解决方案。

通常，焊接核工业中“厚壁”部件（如压力容器）传统上使用电弧焊接技术，该技术需要多次焊接道次，采用阶间无损检测（NDE）和部件预热，以降低氢裂解的风险。

在核电站中，目前使用钨惰性气体（TIG）工艺来连接组件。反应堆压力容器（RPV）之类的“厚壁”压力容器的TIG焊接过程非常昂贵且耗时，需要使用大量的预加工，包括固定装置、工具、部件的预加热和多次焊接道次。使用TIG工艺的另一个缺点是它只能穿透到一定的深度，因此通过多次焊接填充焊接槽来执行厚壁的焊接。通常，对于140毫米或更厚的典型反应堆压力容器厚壁，需要使用多达100次的焊接。

因此，使用该过程存在一些缺点，即多次焊接需要预热、通道间温度控制和NDE的级间检查。这导致RPV的焊接、检查和完成需要数周甚至数月，因此占制造成本和部件交付时间的很大一部分。

在过去，业界已有多次尝试使用局部抽真空部署电子束焊接（EB），但很多时候都受到在高真空下工作的阻碍。此前，贸易组织“焊接研究所”（焊接研究所）已经证明，在0.1-10m bar的压力范围下操作EB工艺（所谓的“减压”），而非高真空~10-3mbar，可为大型结构的EB焊接提供更可靠的局部密封性和抽真空的可能性。在20世纪90年代末，TWI开发了一种高功率（60kW）的EB焊接系统，用于长距离海上石油和天然气输送管道的环焊。通过基本泵送和柔性



橡胶密封实现了一致的优质焊接品质，并且该工艺表明对材料清洁度、装配、表面状况和工作距离具有良好的耐受性，可以在不到五分钟的时间内对**40毫米壁厚711毫米直径的管段**进行全环焊缝。

电子束焊接技术的最新发展提供了一次焊接“**厚壁**”部件的机会，并且**无需 NDE**，这意味着在压力容器的制造中节省了大量的时间和成本。此外，由于 **EB 工艺**在真空环境中进行，因此可以**无需预热步骤**。

与其他焊接工艺相比，在核工业中使用电子束焊接有许多优点。由于一次焊接整个接头厚度的过程加快了接合速率，它可以显著节省“**厚壁**”制造的成本和时间。

然而，由于核压力容器的物理尺寸和几何形状，在考虑到核工业中的低产量时，传统的真空室是非常昂贵的。

Cambridge Vacuum Engineering 公司目前在英国率先推出一项名为 **EbFlow** 的革命性局部真空 **EB** 技术。**EBMan Power** 项目是 **CVE、TWI、U-Battery** 和 **Cammell Laird** 联合合作的项目，将实施并验证大型制造设施中的首个 **EBFlow** 系统，以便经济高效地制造大规模发电基础设施。

EBFlow 技术将专注于降低适用于核能和海上风能结构的“**厚壁**”钢结构的成本。合作伙伴有信心他们的项目对于帮助 **EBFlow** 进入市场并在现实环境中操作是至关重要的。

与其他焊接工艺相比，在核工业中使用 **EBFlow** 技术有许多优点。此特定项目的目标是为核电厂制造部件。类似的过程已成功应用到其他工业部门，但这是此方法首次应用于电力部门。

“**厚壁**”钢结构在发电领域的需求已经很强大并且会在数年内持续增长。目前，要生产一个典型的**100米长**的单桩（**100毫米厚**），可能需要“**弧形**”焊接时间**六千多小时**。基于高效电子束焊接的“**EBFlow**”系统，可将焊接时间缩短至**200小时以内**，相当于成本降低了**85%以上**。



预计在2021年完工的 EBMan Power 项目旨在解决多年来试图在全球工业中尝试和部署电子束焊接的发展。这将成为现实，而非一种可能性，可大大减轻世界目前面临的一些生产压力，并有助于解决所谓的“能源三难问题”（低碳、安全和可负担得起的能源）并实现低碳经济。