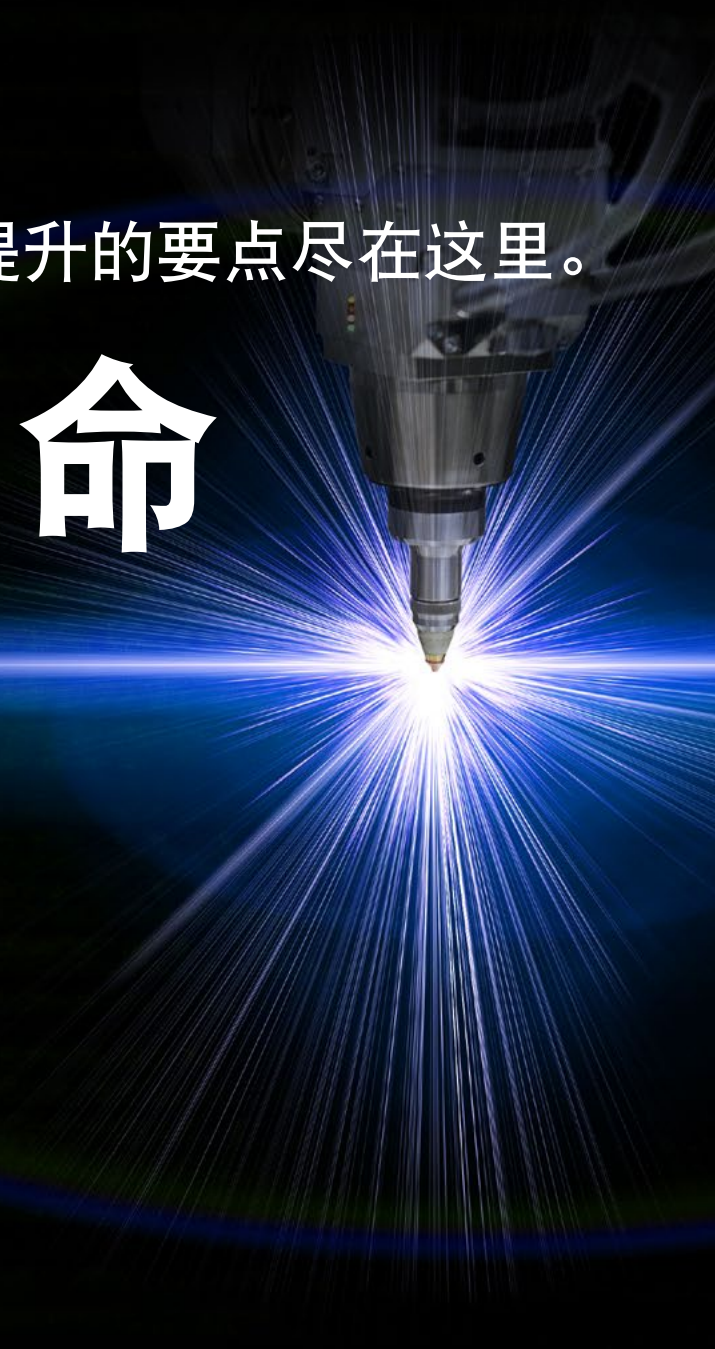
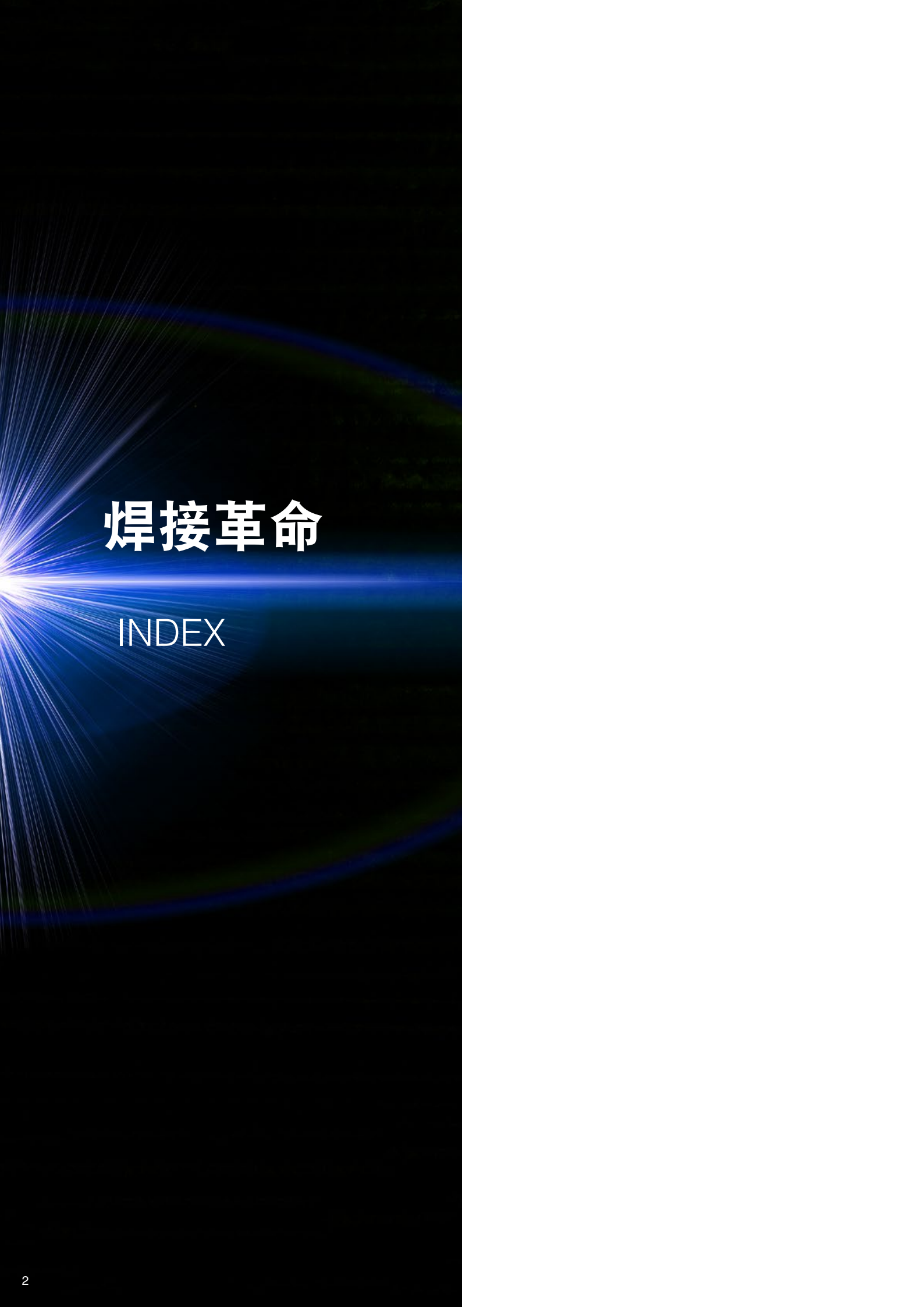


焊接的自动化、品质提升的要点尽在这里。

焊接革命



An abstract graphic featuring a series of bright blue and white light streaks radiating from the left side of the frame, creating a sense of motion and energy against a solid black background. The streaks are most concentrated on the left and fan out towards the right.

焊接革命

INDEX

何谓焊接

金属接合方法的分类	5
焊接的分类及机理	5

焊接的种类

熔接：电弧焊接的种类及机理	9
熔接：典型的电弧焊接	10
熔接：各式各样的电弧焊接	15
熔接：电弧焊接以外的熔接	17
压接	18
钎焊	22

焊接自动化

自动焊接概要	25
焊接机器人的控制	26
焊接机器人控制的案例	28

焊接的品质与问题

焊接需要实现的品质	31
有损焊接品质的表面缺陷	33
有损焊接品质的内部缺陷	36

焊接品质的测量和检测

焊接的表面测量和检测	39
焊接的内部测量和检测	42
焊接品质检测案例 1 焊珠的形状检测	42
焊接品质检测案例 2 电子部件的接合	47

焊接术语集	49
-------	----



何谓焊接

金属在加热或加压后，会开始融化。将需要接合的两种材料的接合部（母材或焊材）熔化，在相互混合的“融入”状态下将其冷却，即可接合在一起。这就是“焊接”的基本原理。

本章节介绍接合方法的分类及焊接的机理。

金属接合方法的分类

将金属连接在一起的主要方法，包括“机械性接合”及“冶金性接合”。

机械性接合，包括“螺栓接合”、“铆接”、“敛缝”、“热套”、“镶入”等，这些接合方法均借助了力学领域的能量。

而相对的，冶金性接合则分为“熔接”、“压接”、“钎焊”等方法，不同的接合方法对应使用不同的能量。

此外还有属于化学性接合，采用粘合剂的接合方法。

不同的接合方法各有优缺点，要实现有效接合，就必须根据不同的材料及接合条件，选择恰当的接合方法。

		电气能	化学能	力学能	光能
机械性接合				· 铆接 · 螺栓接合 · 镶入 · 敛缝 · 热套	
化学性接合			· 粘合		
冶金性接合 (焊接)	熔接	· 电弧焊接 · 电子束焊接	· 气焊焊接		· 激光焊接
	压接	电阻焊接 · 电阻点焊接 · 凸焊焊接 · 焊缝焊接 · 电阻对焊 · 闪光焊接	· 爆炸焊接	· 常温压接 · 摩擦压接 · 摩擦搅拌焊接（FSW） · 超声波压接 · 扩散接合	
	钎焊	· 诱导加热熔接 (软钎焊＝金属电焊)	· 焊炬钎焊（火焰钎焊）		· 光束钎焊 · 激光钎焊

* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

焊接的分类及机理

焊接的分类

根据接合方法不同，焊接大致可分为三类。

将母材和母材熔化或将接合母材所需的焊接棒（焊材）和母材熔化并接合的“熔接”；利用机械摩擦、压力、电流等使母材熔化并接合的“压接”；在接合部分使用接合所需的焊材（钎）以进行焊接的“钎焊”。

同时，针对各种接合方法，还有各种各样的焊接方法，可根据要接合的母材和条件等因素，使用最合适的焊接方法。

		电气能	化学能	力学能	光能
冶金性接合 (焊接)	熔接	· 电弧焊接 · 电子束焊接	· 气焊焊接		· 激光焊接
	压接	电阻焊接 · 电阻点焊接 · 凸焊焊接 · 焊缝焊接 · 电阻对焊 · 闪光焊接	· 爆炸焊接	· 常温压接 · 摩擦压接 · 摩擦搅拌焊接（FSW） · 超声波压接 · 扩散接合	
	钎焊	· 诱导加热熔接 (软钎焊＝金属电焊)	· 焊炬钎焊（火焰钎焊）		· 光束钎焊 · 激光钎焊

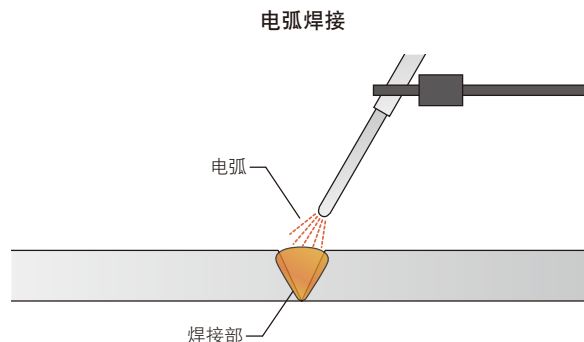
* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

熔接

在焊接中，最常见的方法是“熔接”。

熔接时，需要将母材和焊材或其中之一熔化，以实现焊接。

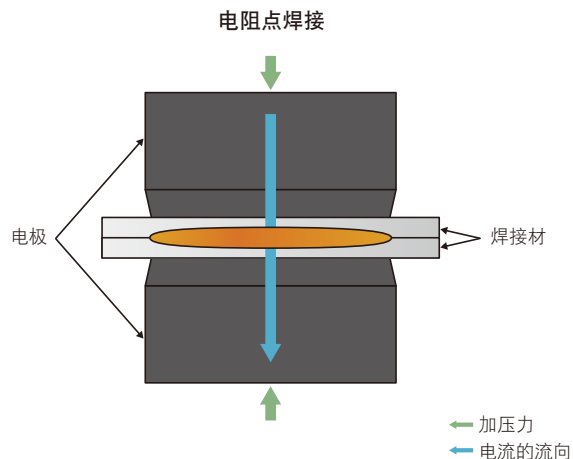
典型的熔接就是“电弧焊接”。电弧焊接、激光焊接这些熔接方法常用于机械手的自动焊接。在汽车组装线等复杂的生产线上，会根据工序的特性和条件，分别采用机械手焊接和人工焊接。



压接

分为“摩擦压接法”、“气体压接法”和“电阻点焊接”。“摩擦压接法”利用的是物质的塑性，即向物质施加一定的力并使其发生变形后，即使不再用力，也会保持变形的性质；“气体压接法”是通过将母材相互压紧，再用气体加热以实现接合；“电阻点焊接”则是将待接合的2块母材相互重叠并通电，将电阻发热作为热源以进行接合。

此外，“摩擦压接法”、“电阻点焊接”等压接方法可实现自动化和无人化，因此自动压接机被广泛应用于FA（工厂自动化）车间。



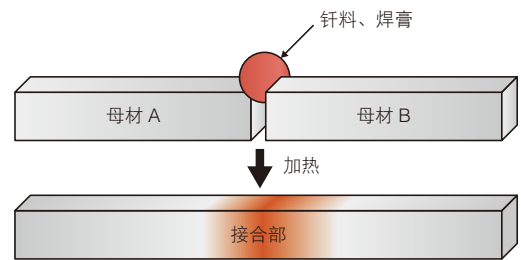
钎焊

利用熔化温度（熔点）低于母材的焊材（钎焊材）进行接合的方法。为了在不熔化母材的前提下实现接合，且与母材拥有良好的接合状态，钎焊材中添加了焊剂。

钎焊材不仅熔化温度应低于母材，还必须具备出色的亲和性，熔化后的钎焊材原子必须能与母材的原子相结合。

钎焊材有“铝钎焊”、“银钎焊”、“磷铜钎焊”、“黄铜钎焊”等，可根据不同的接合材料选择使用。此外，锌、铅、锡或锡铅合金等钎焊材熔点较低的“软钎料”统称为“焊膏”。

钎焊可轻松地金属接合起来，因此很早就开始用于日用品、美术工艺品、牙科用品上。此外，电子线路等的“软钎焊”利用了钎焊材的导电性，广泛应用于从家电产品到航空器、核工业、化工设备等各种领域。





焊接的种类

焊接大致可分为“熔接”、“压接”、“钎焊”三种，但它们还有更多的详细分类。需要根据要焊接的母材材质、焊接后产品需要实现的功能等，选择最合适的焊接方法。

在理解不同焊接方法的原理和特点的基础上，正确地进行焊接，可实现品质、可靠性、耐久性均非常出色的焊接。此外，在 FA（工厂自动化）的焊接工序自动化及机器人的引进和使用中，各种焊接方法相关的知识也是不可或缺的。

熔接：电弧焊接的种类及机理

电弧焊接的种类

在“熔接”中，“电弧焊接”也是在各种工业领域被广泛应用的焊接法。

根据特征、装置结构、使用的气体等有更具体的分类，其中“TIG 焊接”、“MIG 焊接”、“MAG 焊接”等可以用保护气体将焊接部和大气隔离开来的气体保护电弧焊，由于非常适合自动化，被广泛应用。

包括气体保护电弧焊在内的“电弧焊接”大致可分为焊接棒（或焊丝）熔化的“电极消耗式（溶极式）”和不熔化的“非电极消耗式（非溶极式）”两种。

电弧焊接

电极消耗	焊接方法
非电极消耗式（非溶极式）	· TIG 焊接 · 等离子焊接
电极消耗式（溶极式）	· 被覆电弧焊接 · MAG 焊接 · MIG 焊接 · 气电立焊（EGW）

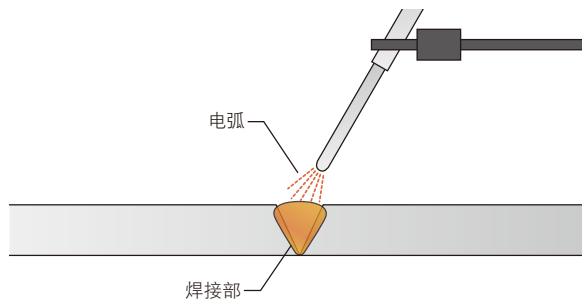
* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

电弧焊接的机理

在电弧焊接中，利用“电弧放电”这一电气现象。电弧放电是指气体放电现象的一种，是在空气中产生的电流。对空间上相互独立的两个电极施加电压，破坏空气的绝缘，在两个电极之间产生电流，同时发出强光和高热。此时产生的弧（Arc）状光称为“电弧”，将电弧热用作热源的焊接方法就是“电弧焊接”。

在电弧焊接中，对电极（焊接棒或焊丝）施加正电压，对母材施加负电压。这样，就会从母材向电极产生电弧。

电弧的输出电流约为 5 A 至 1000 A，输出电压为 8 至 40 V 左右。电弧的温度约为 5000°C 至 20000°C。铁的熔化温度约为 1500°C。母材和电极变为高温，融入后接合。

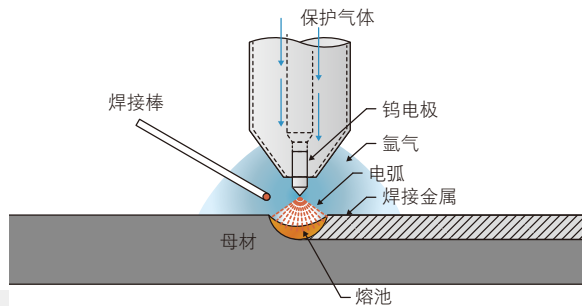


熔接：典型的电弧焊接

TIG 焊接

“TIG（Tungsten Inert Gas）焊接”代表“惰性气体焊接”。这是一种不会飞溅火花，支持不锈钢、铝、铁等各类金属焊接的电弧焊接。

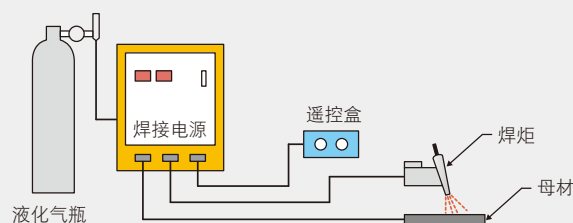
采用不会作为放电电极消耗的钨，使用氩气、氦气等惰性（Inert）气体作为保护气体。在惰性气体中产生电弧，依靠电弧热量溶解母材进行焊接。虽然也会使用焊材，但由于焊接部位被惰性气体包围，电弧也很稳定，几乎不会发生溅射。



TIG 焊接的半自动设备，由

- 焊接电源
- 焊接焊炬
- 液化气瓶、气体流量调节器

等构成，使用水冷式焊炬或焊丝状焊材时，则需要分别增配不同的必要设备。此外，由于需要根据母材选择电流的极性（正极 / 负极），因此焊接电源必须配备可根据母材选择极性的装置。



TIG 焊接的类型很多，可根据交流 / 直流分类、脉冲的有无、焊接焊丝的有无等区分不同的种类。

根据母材的种类，选择交流 / 直流。脉冲的有无可供选择，使用脉冲的焊接被称为“脉冲 TIG 焊法”。脉冲 TIG 焊法中，会以一定的周期，将焊接电流改变为脉冲电流及基础电流。在使用脉冲电流期间溶解母材，在使用基础电流期间进行冷却。该方法可周期性地构成溶融点，形成串珠状的焊缝。

而在使用焊丝时，又可分为“冷焊丝法”和“热焊丝法”。冷焊丝法就是使用常规焊材的方法。而热焊丝法，则是提前对焊丝释放电流、加热焊丝，能够增加单位时间的熔敷量。热焊丝法可熔敷约为冷焊丝法 3 倍的焊材，实现短时间快速焊接。TIG 焊接虽能实现高品质焊接，却需要花费较长时间来获得熔敷必需的焊材量，热焊丝法则能够弥补这一缺点。

根据输出电流波形分类

输出电流	脉冲	频率
直流（DC）	有	低频率（0.5 Hz 至 20 Hz）
		中频率（20 Hz 至 500 Hz）
		高频率（20 KHz 以上）
	无	—
交流（AC）	有	低频率（0.5 Hz 至 20 Hz）
		中频率（20 Hz 至 500 Hz）

* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

根据焊接焊丝的有无分类

焊丝	焊丝方式
无	
有	冷焊丝法
	热焊丝法

* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

MAG 焊接

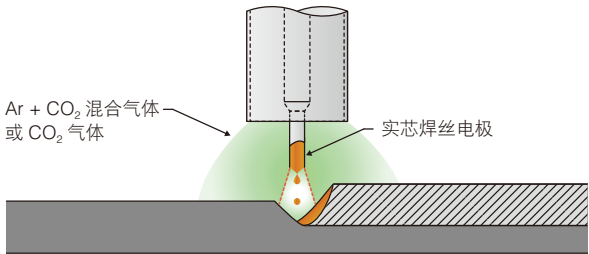
“MAG（Metal Active Gas）焊接”是一种使用活性气体（二氧化碳气体，或氩气与二氧化碳的混合气体）的电弧焊接，也被称为“二氧化碳气体电弧焊接”或“CO₂ 焊接”。通常会用于铁类材料的半自动 / 自动焊接，但由于非铁金属会与二氧化碳气体产生化学反应，因此不适用于铝等非铁金属的焊接。

在半自动或自动进行的 MAG 焊接中，会采用铁丝状的焊丝作为电极，来替代被覆电弧焊接（人力手工作业进行的电弧焊接）中的焊条。

焊丝会被卷成线圈状，安装到焊丝供应装置中，由电动马达驱动传送滚轴，将焊丝自动传送到焊炬顶部。对焊丝通电的操作，将在支撑焊丝的接触片通过时进行。

焊丝与母材之间产生的电弧，能够在熔解焊丝与母材的同时进行焊接。此时，设备将通过喷嘴，向焊接部分周围供应保护气体，将电弧、熔融材料与大气隔离开来。保护气体可使用二氧化碳气体、氩气与二氧化碳的混合气体，或含有百分之十以下氧气的氩气混合气体。

相较于被覆电弧焊接，作为熔敷金属的电极熔敷速度更快，具有“母材融入深，作业效率高”的优点。此外，还具有“焊接金属优质”、“可以在机器人等设备上配备焊接焊炬，进行自动焊接”等巨大优势。

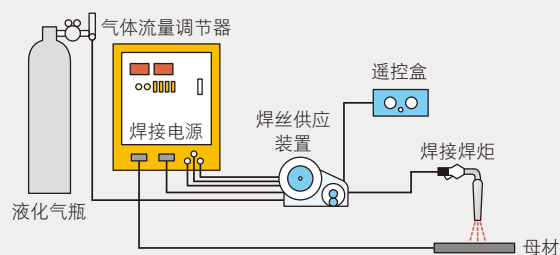


MAG 焊接的半自动设备，由

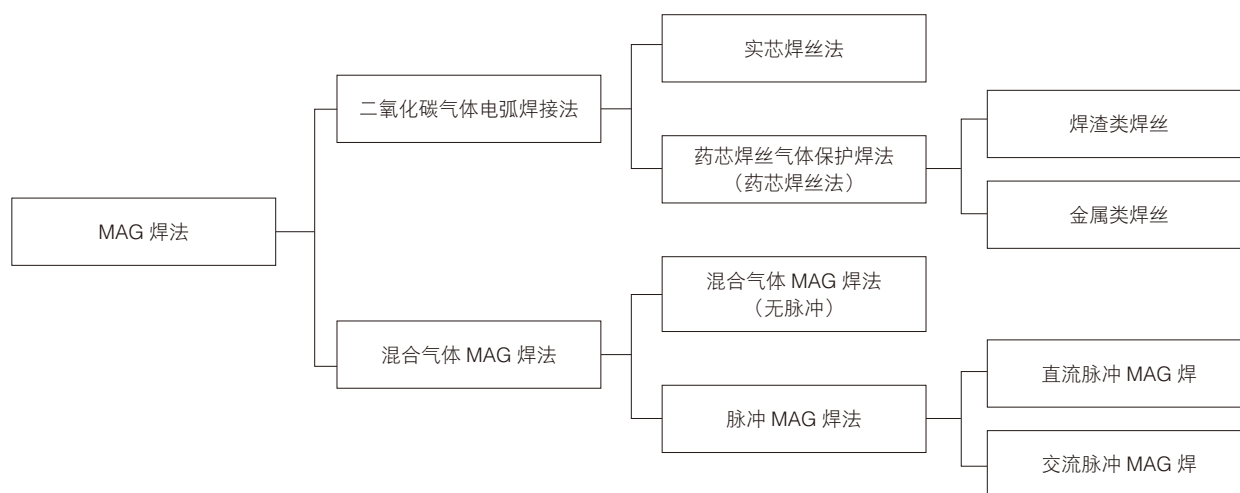
- 焊接电源
- 焊丝供应装置
- 焊接焊炬
- 液化气瓶

构成。焊丝必须由供应装置以一定的速度进行供应。因此，焊接电源通常都会采用稳压特性电源。

此外，焊丝供应装置会采用定速供应方式。



MAG 焊接可根据保护气体种类、焊接焊丝种类等进行分类。



作为焊接焊丝，“实芯焊丝”是一种截面均质的焊丝，对于碳素钢用焊丝，为了提高耐锈蚀性及通电性，在表面施加了镀铜工艺。此外，还有未经镀铜的无镀层焊丝，这种焊丝具有“可获得稳定电弧”、“便于维护焊接焊炬内部”的优点。

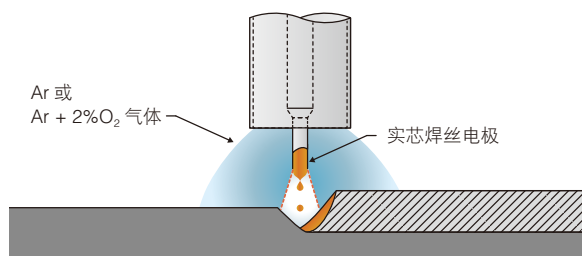
“焊剂焊丝”是内部含有粉芯的焊丝。具有“可获得稳定电弧”、“溅射少”、“焊接焊缝美观”等优点。

同时还具有“焊渣类焊丝”熔敷速度快，“金属类焊丝”焊渣产生量少的特点。

MIG 焊接

“MIG (Metal Inert Gas) 焊接”属于电弧焊接，与 TIG 焊接同样会将惰性气体用作保护气体，但 MIG 焊接是一种熔解放电电极的电极消耗式焊法。通常用于不锈钢及铝合金的接合，可根据焊接素材区分使用保护气体。电极使用铁丝状的焊丝。

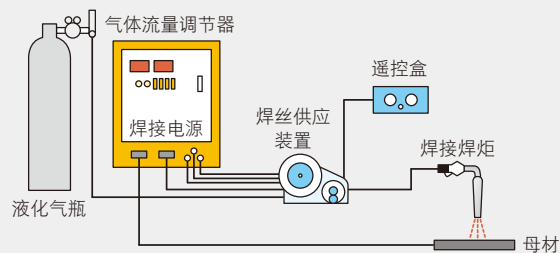
焊丝会被卷成线圈状，安装到焊丝供应装置中，由电动马达驱动传送滚轴，将焊丝自动传送到焊炬顶部。对焊丝通电的操作，将在接触片通过时进行。焊丝与母材之间产生的电弧，能够在熔解焊丝与母材的同时进行焊接。此时，设备将通过喷嘴，向焊接部分周围供应保护气体，将电弧、熔融材料与大气隔离开来。



MIG 焊接的半自动设备，由

- 焊接电源
- 焊丝供应装置
- 焊接焊炬
- 液化气瓶

构成。其结构与 MAG 焊接机基本相同，但与 MAG 焊接机相比，焊丝供应装置经过了改良。由于 MIG 焊接多用于铝的焊接，焊丝供应装置增设了能够稳定供应柔软铝质焊丝的设计（4 轴方式）。



MIG 焊接还可根据交流 / 直流类型，以及脉冲的有无进行分类。

MIG 焊接的分类

	脉冲	焊接方法
直流（DC）	无	短路电弧 MIG 焊法
		喷雾 MIG 焊法
		大电流 MIG 焊法
	有	脉冲 MIG 焊法
		低频率重叠脉冲 MIG 焊法
交流（AC）	有	交流脉冲 MIG 焊法
		低频率重叠交流脉冲 MIG 焊法
直流 + 交流	有	交流 / 直流复合脉冲 MIG 焊法

“短路电弧 MIG 焊法”是利用短路过渡（短路电弧）现象的焊法。由于半自动焊接较多，传导到母材的热量较低，因此适用于薄板材质。MAG 焊接的短路电弧焊接，常用于复杂结构的中厚板材焊接，而用 MIG 焊接焊接中厚板时，则常用脉冲 MIG 焊法。

“喷雾 MIG 焊法”是将焊接电流设定到临界电流以上，调高电弧电压的焊接方法。利用焊材熔解雾化的“喷雾过渡现象”进行接合的 MIG 焊法。焊接铝时，若在不发生溅射的状态下焊接，可能会发生融合不良等焊接缺陷。此时，可略微降低电弧电压，在微小的喷雾过渡状态下焊接。但是，自从能够涵盖薄板到中厚板焊接的“脉冲 MIG 焊法”普及以来，喷雾 MIG 焊法就已经不太常用了。

“大电流 MIG 焊法”使用粗直径（直径约 3.2 mm 至 5.6 mm）的焊接焊丝进行焊接。焊接装置采用设有双重保护气体喷嘴的焊接焊炬，和额定输出电流约为 1000 A 的稳流特性电源。

“直流”、“有脉冲”的 MIG 焊法，也被称为“传统脉冲 MIG 焊法”。基本原理与脉冲 MAG 焊法相同。通过交替输出维持电弧的基础小电流，以及临界电流以上的脉冲电流，确保平均电流低于临界电流时，也能使焊丝溶滴过渡雾化的焊接方法。能够对包括薄板、厚板在内的板材进行高效且高品质焊接。

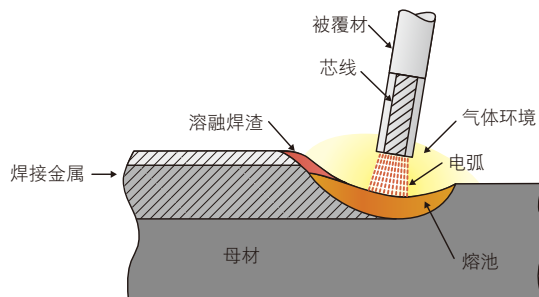
“低频率重叠脉冲焊法”是以铝的高附加值焊接为目的，基于脉冲 MIG 焊法开发的。由于可获得鱼鳞状的美观焊缝，常被用于汽车、摩托车上的薄铝板焊接。

熔接：各式各样的电弧焊接

被覆电弧焊接

被覆电弧焊接是电极消耗式（溶极式）电弧焊法的一种，将与母材材质相同的金属棒（被覆电弧焊接棒）作为电极，将芯线与母材间形成的电弧作为热源的焊法。由芯线被覆物生成的气体及玻璃状焊渣包覆溶解中的金属进行焊接，气体及焊渣构成的保护层以及在焊接棒顶部形成被覆筒等，具有不易受焊接现场风力等条件影响的优点。

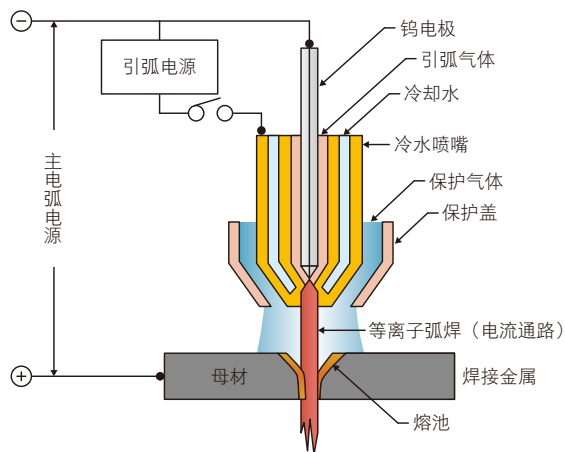
原理上，只可由人工进行焊接的传统焊接方法，该焊法也被称为“手工焊接”。虽然随着二氧化碳气体 MAG 焊接半自动 / 自动设备的普及，使用这种焊法的情况越来越少，但由于其具有设备成本相对低廉、室内外都能作业的优势，依旧有用武之地。



等离子焊接

等离子焊接是在电极与母材间产生等离子电弧，并以此进行焊接的焊法。属于非电极消耗式焊法，与 TIG 焊接一样，将钨棒作为电极，其特点是可利用包覆电极的喷嘴与等离子气体，起到聚拢电弧、防止扩散的作用。热集中性好，可实现焊缝窄、高速、低扭曲的焊接。电弧指向性高，适用于角焊焊接，同时不会发生溅射。电极消耗少，可进行长时间的高品质焊接。虽然这种焊接机本身的价格高于 TIG 焊接机，但运行成本较低。这也是最适用于自动焊接的焊法之一。

焊炬内流动的引弧气体（惰性气体）会被引弧热离子化（称为等离子）。离子化的引弧气体，会变成等离子喷射剂，从喷嘴孔喷出，成为电弧电流的导体。通过这一转变，电弧会被浓缩成为高能量密度电弧，从内嵌凿孔喷出。高能量密度电弧的作用范围仅为 TIG 焊接电弧的 4 分之 1 左右，可以获得电流密度更高的电弧。

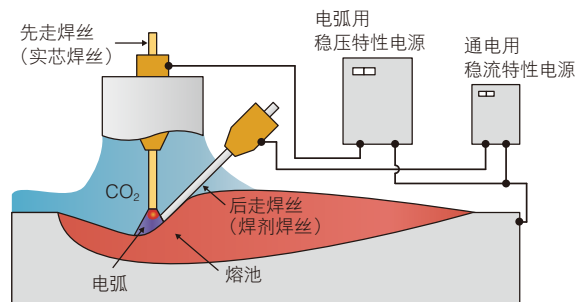


气电立焊（EGW）

气电立焊（EGW）是为了以垂直方向的高功率、稳定融入实现厚板焊接而开发的，属于电极消耗式焊法。

EGW 在多数情况下会将二氧化碳气体作为保护气体，但有时也会使用纯氩气、氩气二氧化碳混合气体、氩气氧气混合气体、氩气氮气混合气体。焊接焊丝经常会采用可形成焊渣、焊缝外观美观的焊剂焊丝，但有时也会使用实芯焊丝。

焊接电源通常会使用直流稳压特性电源或直流稳流（下垂）特性电源。



用母材端与铜衬片或耐火性内衬材料等将熔池围起来，可以在防止熔融金属滴落的同时进行向上立焊，因此能够在单条焊道（单次操作）中进行厚板焊接。

其优势包括，使用大电流，熔敷速度更快，可进行高功率焊接，同时由于角变形较小，相对于坡口精度具有相对较大的余量。

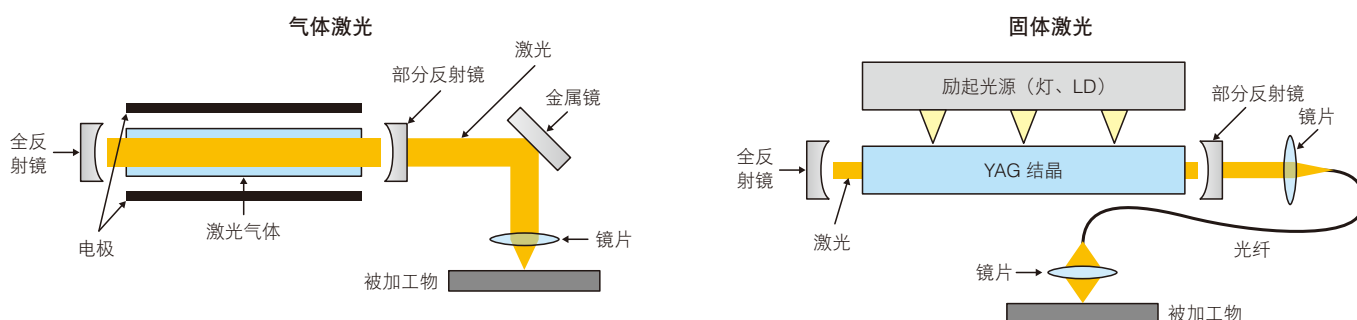
其用途包括船舶侧外板、桥梁建设、储藏槽罐、压力容器等垂直方向对接缝的焊接。

熔接：电弧焊接以外的熔接

激光焊接

用镜片收集指向性及集中性上佳的波长光线，将能量密度极高的激光作为热源的焊接方法。可实现相对于深度而言，宽度较窄的融入焊接。这些利用激光指向性及集中性的技术，同样也被用于“拼焊（TB）”中的焊接、薄板切割及加工。

根据发出作为能量的光源的方法，激光焊接可分为 2 大类。“气体激光”利用二氧化碳等气体发出激光（例：二氧化碳气体激光焊接）。而“固体激光”则利用钇、铝及石榴石等矿石发出激光，例如 YAG 激光焊接。



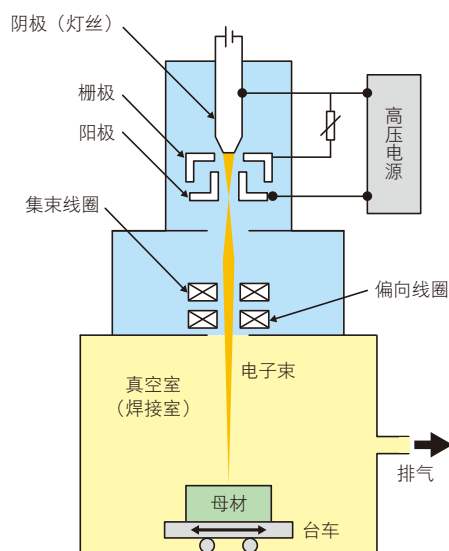
电子束焊接

电子束焊接是通过在真空中发射电子束，利用该过程中产生的热量进行焊接的方法。用灯丝加热真空中的阴极，可释放电子。用电压使释放的电子加速，再用电磁线圈进行收束，接触到母材时就会产生高能热量。电子束焊接正是利用这种热量进行焊接。

常规电子束焊接机的电子束光点直径约为 0.2 mm，电子束的能量密度约为电弧能量密度的 1000 倍。由于扩散到焊接部周围的热量很少，能够实现低歪斜的焊接。通过控制电子束的输出，能够调节融入，从而广泛适用于从厚板到薄板的各类母材。同时还能对高熔点金属（钨等）及焊接时可能发生氧化的活性金属（钛等）进行焊接。

其具体用途包括，船舶侧外板、桥梁建设、储藏槽罐、航空部件及电子部件等。

此外，在电子部件中，对于必须进行真空接合的水晶振子密封，可以采用真空钎焊密封的“电子束密封工艺”，通过电子束的热传导溶解金属盖（lid）及陶瓷封装之间的钎焊材。



压接

压接的种类及机理

“压接”是一种通过摩擦或爆炸加热金属接合部，施加压力以实现接合的工艺。加压焊接的简称，也被称为“固态接合”。压接是对通过向接合部（焊接焊缝）施加机械性压力，实现焊接的焊法的统称。

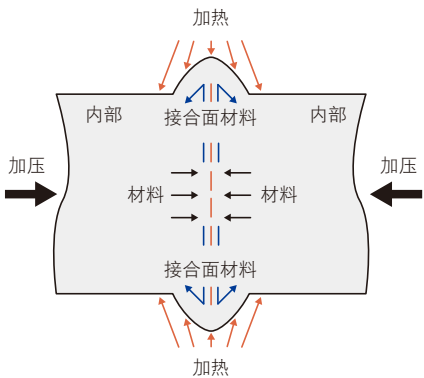
作为通过机械性压力实现的接合，数值可控，因此被广泛用于 FA（工厂自动化）。

压接主要包括气体压接、摩擦压接、电阻焊接、扩散接合、超声波压接、爆炸压接等。而在摩擦压接中，在对接合部施加强压的同时，通过工具的旋转摩擦来搅拌母材，以提高焊缝效率的“摩擦搅拌接合（FSW）”正在受到关注。

压接方法		焊接方法
气体压接	—	—
摩擦压接	摩擦搅拌接合（FSW）	—
电阻焊接	搭接电阻焊接	电阻点焊接
		凸焊焊接
		焊缝焊接
	对头电阻焊接	电阻对焊
		高频率诱导压接
		对头凸焊焊接
		闪光焊接
		对接缝焊
扩散接合	—	—
超声波压接	—	—
爆炸压接	—	—

气体压接

常用于接合建筑物钢筋的焊接方法。压合母材的接合面，用乙炔气体、氧气加热。当母材受热开始熔化后，进一步压紧两片母材。经过加热压合，母材接合面上的不纯物质会被排出，实现接合。



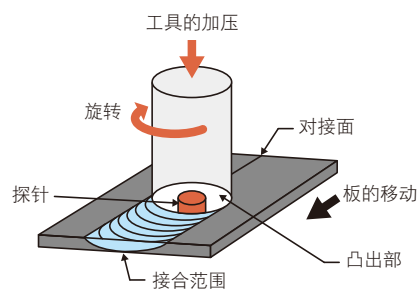
摩擦压接

高速摩擦用于接合的金属、树脂等母材，依靠此时产生的摩擦热软化母材，同时施加压力实现接合的接合法。相较于电弧焊接及气体焊接，“无需借助摩擦热以外的热源”、“无需焊接棒及焊剂”、“不产生溅射及气体”，是一种环境友好型的接合法。

此外，摩擦压接借助“摩擦推力（压力）”、“旋转数”、“时间”这三要素进行。这些条件均可通过数值来控制，可借助自动控制实现无人化，因此被广泛用于 FA（工厂自动化）。

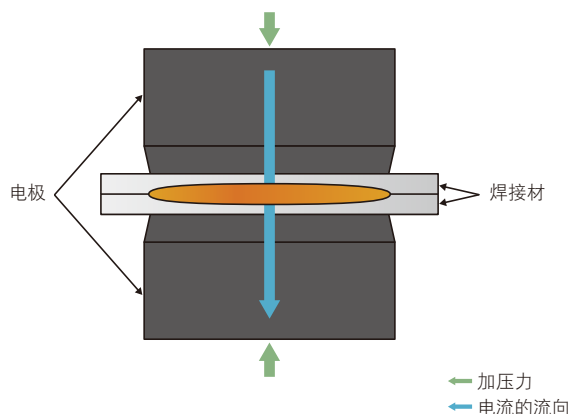
在摩擦压接中，最受关注的就是“摩擦搅拌接合（FSW）”。在高速旋转圆柱形工具的同时，通过以高压力将探针（突起部）贯入接合部的方式软化母材，在借助工具旋转对焊接部周围实施塑性变形的同时进行混合搅拌，使部材的原子间实现接合。

摩擦搅拌接合（FSW）



电阻点焊接

叠放焊接材，用连接有焊接电源的通电用铜电极夹住焊接部分并通电，借助电阻产生的热量（焦耳热）进行溶融接合的焊法。在 FA（工厂自动化）中，电阻点焊接的自动设备正在被广泛用于生产线上的接合工序。连续连接焊接点的“焊缝焊接”，以及在单侧材料的接合部塑造突起，对突起部集中施加电阻热的“凸焊焊接”等，都是运用电阻点焊接的焊法。

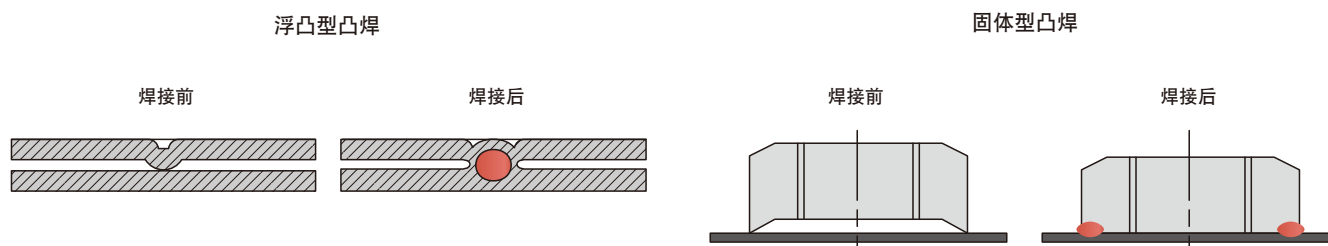


凸焊焊接

用于在钢板上焊接螺栓、螺母的焊法。用电阻点焊接的电极抵住单侧母材上的突起，进行焊接的焊法。通过将热量集中在突起部，软化母材，开始压接。随着压接的进展，电阻点将会增大。此时，电流密度将降低，温度则会升高，电阻随之增大，可维持易于发热的状态，实现焊接。因此，与不借助突起的焊法相比，能够获得更加优质的焊接部分。

凸焊焊接可大致分为“浮凸型凸焊”和“固体型凸焊”2种。

“浮凸型凸焊”通过加工母材、形成突起部，并将电流集中至突起部，实现焊接。塑造多个突起，就能够同时对多个焊接点进行焊接。具体用例包括汽油槽罐加固材料、减震器支架、滤油器的焊接等。而“固体型凸焊”则不同于浮凸型凸焊，不是在平板上塑造突起，而是利用板材边角、圆棒交点等原本就存在的突起。具体用例包括螺母、螺栓的焊接、刹车鼓的焊接等。



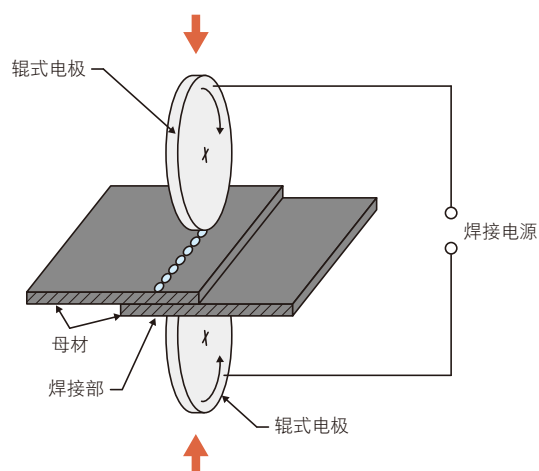
焊缝焊接

用圆盘电极夹住焊接材，在旋转圆盘电极的同时通电，通过电阻加热，对焊接材进行连续接合的焊法。也被称为“搭接缝焊”。

可进行线形焊接，实现气密性。同时具有焊接速度快、不使用气体进行焊接等成本方面的优点。此外，由于在焊接时不产生闪光等现象，不存在安全问题，无需使用护具。

具体用例包括燃料槽罐等要求气密性的部件、要求防水性的部位等。除了搭接缝焊外，焊缝焊接还包括“对接缝焊”（连续进行边向对接面加压，边接通焊接电流加热的工序，进行焊接）、“压平缝焊”（略微叠搭母材板端，用辊式电极通电并加压迫扁，同时进行连续焊接）等。

此外，对于小型水晶振子、陀螺仪传感器等对象，必须通过在真空中进行盖子的缝焊，提升产品性能，减少经年性能劣化。此时，就会用到在真空中依靠辊式电极进行气密密封的“真空缝焊装置”。



电阻对焊

对准合放焊缝端面，施加压力并通电，依靠电阻产生的热量（焦耳热）进行接合的焊法。

相对于电阻点焊接用电极夹住 2 片母材的焊法，电阻对焊则是通过对准合放焊缝端面进行焊接。焊接部发生镦压（upset）。

这种焊法适用于截面面积小的金属线材及棒材的焊接。

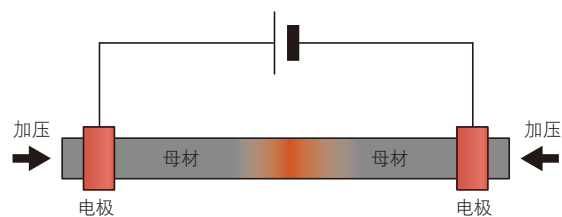
闪光焊接

轻触焊缝端面并通电，依靠电阻产生的热量（焦耳热）进行接合的焊法。

不同于电阻对焊，在通电瞬间不对母材施加压力。通电后，在焦耳热升高温度并达到接合温度后施加压力，进行压接。

与电阻对焊一样，适用于金属线材及棒材的焊接。

电阻对焊及闪光焊接的机理

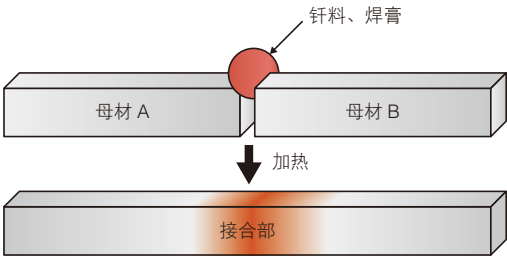


钎焊

钎焊的种类及机理

利用熔化温度低于母材的焊材（钎焊材或软钎料：焊膏）进行接合的方法，在母材不熔化的情况下接合。为了与母材拥有良好的接合状态，钎焊材中添加了焊剂。

钎焊的用途有对气密性有要求的管道、连接器、阀门，需要具备一定的耐压性和气密性的压力容器，对耐腐蚀性、耐热性有要求的汽车、摩托车等交通工具的部件等。此外，使用有导电性且熔化温度较低的“软钎料（焊膏）”的“软钎焊”被广泛用于电子线路、电气连接器、精密电子部件等领域。



按熔化温度分类（硬钎焊、软钎焊）

“硬钎焊”和“软钎焊”按钎焊材的熔化温度分类。“硬钎焊”中使用熔融温度为 450℃ 以上的钎料，而“软钎焊”中使用熔化温度低于 450℃ 的“焊膏（软钎料）”。

按熔点分类		钎焊方法
硬钎焊 (熔点: 450℃ 以上)	使用钎料，在尽量不熔化母材的情况下进行焊接的方法	· 大气钎焊（焊炬钎焊、诱导加热熔接等） · 气氛钎焊（炉中钎焊、非氧化性气氛钎焊等） · 用光能的硬钎焊（激光钎焊）
软钎焊 (熔点: 低于 450℃)	使用低熔点焊膏（软钎料），在尽量不熔化母材的情况下进行焊接的方法	· 用烙铁进行作业 · 用机器人或自动设备进行的软钎焊 · 用光能的软钎焊（光束钎焊）

硬钎焊

使用高熔点钎焊材进行的钎焊。

根据热源可分为使用普通气焊枪的“焊炬钎焊”和利用高频率诱导加热的“诱导加热熔接”。此外，还有不使用焊剂，在与大气隔离的炉中对母材和钎焊材进行加热和冷却的“气氛钎焊（炉中钎焊）”等。这些焊接方法用于不锈钢的非氧化钎焊，钛、陶瓷等的接合自动化。

此外，近年来名为“激光钎焊”的钎焊技术也开始进入人们的视野。

“激光钎焊”是指一边在母材之间填放钢丝状钎焊材，一边用光能（激光）熔化钎焊材，以进行接合的工艺。母材基本上不会熔化，因此可将热变形控制在最小限度。这样不会影响到产品的外观，可实现轻量且高刚性的接合。

以前，在汽车的车顶、侧面板、后行李箱盖等的接合工序中，一般采用电阻点焊接。例如，在车顶和车身的接合中，设置凹槽状车顶连接部分，进行电阻点焊接，接合后，为了隐藏连接部分的凹槽和焊接的痕迹，需要用饰条遮盖。

但是，在“激光钎焊”中，能够维持母材的美观，因此可以省略连接部分、饰条等的加工以及部件和工序。此外，焊缝强度和接合速度会达到电阻点焊接的2倍左右，正在以汽车行业为主，无论是欧洲还是日本国内，应用越来越广泛。

汽车制造中的“激光钎焊”应用部位示例



软钎焊

使用低熔点钎焊材进行的钎焊。

最常见的是以烙铁为代表的、利用电发热进行的“软钎焊”。

但是，在FA（工厂自动化）电子部件等的生产中，通常采用“光束钎焊”等。用反射镜聚集大功率光源发出的光，将焦点对到焊接部，用光能进行焊接。使用熔点较低的焊膏（软钎料），可利用机器人进行精准定位的接合，非常适用于耐热性能较低的电子部件等产品的组装自动化和量产。



焊 接 自 动 化

伴随着数字技术的进步，工厂自动化设备的普及化及低价化，焊接作业也从传统的手工焊接，开始向半自动焊接、自动焊接发展。同时，借助机器人的焊接工艺也在以汽车行业为主的各类领域普及，成为了焊接工序合理化的必要手段。

此外，实现高精度且高速检测及控制反馈的传感器、位移传感器、控制器、PLC 等最新设备的诞生，也进一步促进了机器人的普及，导入机器人的焊接工序正在不断增长当中。

为 FA（工厂自动化）深入发展提供支撑的机器人焊接技术，通常情况下具有下列优点。

- 可以弥补熟练焊接人员不足的缺口
- 实现焊接作业品质的均一化
- 确保生产性
- 通过存储作业条件，实现品质保障的可追溯性

另一方面，要充分用好焊接机器人，则不仅要具备焊接技能，还必须拥有控制时序、结构设计、安全管理等方面的知识，培养此类人才是当务之急。

自动焊接概要

自动焊接的种类

自动焊接的方法，包括借助自动焊接机的“自动焊接”，以及由机器人实施焊接的“机器人焊接”。自动焊接是一种在工厂流水线上实施连续焊接的焊接方法。而深入发展自动焊接，利用机器人技术实现更高水平自动焊接的焊接方法，就是机器人焊接。为了通过自动焊接及机器人焊接实现更高的作业效率，使用激光位移传感器开展的自动化检测工序也在不断的发展当中。

自动焊接的种类	用途	焊接方法
自动溶接	汽车、摩托车等车身、框架、部件、建材的组装等	电弧焊接（TIG 焊接、MAG 焊接、MIG 焊接、等离子焊接）、激光焊接
自动压接	汽车、摩托车框架、金属部件的组装等	电阻点焊接
	气密性高的槽罐、配管等	焊缝焊接
	汽车、航空器、电车车辆的外板、地面材料等	摩擦搅拌接合（FSW）
自动钎焊	电子印刷电路板、电装部件等	电子束金属电焊
	冷却装置配管、阀门，汽车、摩托车的细小部分	炉中钎焊、电子束金属电焊

* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

工厂自动化中的自动焊接

在 FA（工厂自动化）中，线上的自动设备取代了手工焊接，按照程序实施焊接，实现了生产速度及量产效率的提升。在连接器等电装部件流水线生产的高速焊接中，采用了自动点焊机、自动接点焊接机等设备。

机器人焊接

“机器人焊接”是一项能够应用多轴化机械手，对错综复杂的位置及复杂精密焊接线进行焊接，推动自动焊接发展的焊接技术。

焊接机器人的案例



焊接机器人的控制

利用示教进行的机器人控制

教机器人焊接的作业称为“示教”，是引进机器人时不可或缺的工序。示教方法分为两种，分别为“在线示教”，即运行机器人，使其记住动作的方法；以及“离线示教”，即将 CAD 等生成的 3D 数据或动作编入程序中，使机器人记住数据的方法。

示教是决定机器人动作的重要工序，同时也非常费时。因此，相对而言示教工时较少的在线示教逐渐成为主流。

在线示教时，需要实际运行机器人进行焊接，由传感器检测其动作。传感器检测到的动作会记录到程序中。通过播放（示教回放）记录的动作，实现机器人进行的焊接。

此外，在机器人焊接工序中，可以将非接触传感器作为机器人的眼睛，进行“焊接线的模仿控制”或“坡口形状的测量”，实现更高精度的自动焊接。

利用传感器进行的机器人控制

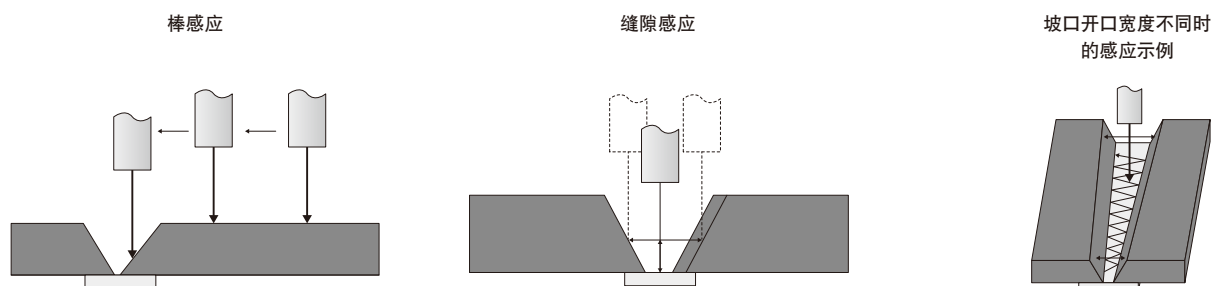
利用接触式传感器进行的控制

将生产线上搬运过来的母材与安装于电极或焊炬顶部的探针或焊丝接触，以检测焊接位置的方法。接触式传感器分为“接触探针传感器”和“焊丝接触传感器”。

接触探针传感器的工作原理是将与焊炬一体动作的探针放到坡口上，由探针追踪焊接线，以检测焊接部位。

焊丝接触传感器的工作原理是向焊材即焊丝通入微弱电流，使其与母材接触，就像人拿着手杖一样，检测相互的位置（例：焊接开始位置、结束位置、焊接焊缝的位置等）。它的劣势是当坡口角度或坡口开口宽度有差异时，会反复进行点接触式感应，检测时间较长。

接触式传感器（焊丝接触传感器）的检测示例



利用非接触式传感器进行的控制

作为机器人焊接的非接触式传感器，主要有“电弧传感器”、“激光位移传感器”。

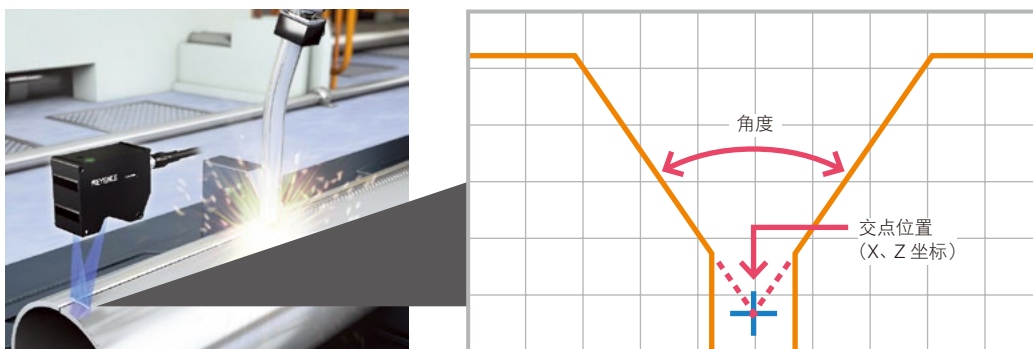
“电弧传感器”常用于电极消耗式电弧焊接中，用于在坡口内摆动进行焊接时的焊接电流，或根据电弧电压的变化进行的焊炬位置控制等。它相对较便宜，但在某些材料的工件上，可能不支持模仿控制。此外，一般不支持坡口形状的检测等用途。

另外，“激光位移传感器”为使用激光和光传感器的移位传感器，与其他传感器相比，可高速地检测和输出更多信息。因此，可实现快速的焊接线模仿控制，以及测量坡口形状并实时反映到控制中，具有能提高自动焊接精度、提高工序效率的优势，使用越来越广泛。

激光的照射方法分为摇动射灯进行照射和大范围照射带状缝口光两种。例如，在利用激光焊接将多个材料紧密接合，组合为压接材料的“拼焊(TB)”这种工艺中，使用具有缝口光的激光位移传感器，可高速且高精度地检测和控制焊接线。

此外，如果是使用蓝色激光的位移传感器，还可检测到刚焊接后受热发红的熔池形状，实时将熔数量相关的焊接电源电压、电流、焊接速度等调整为最佳值，提高自动焊接的品质。

使用大范围激光，用1个扫描头对坡口形状、位置和角度进行高速测量和输出



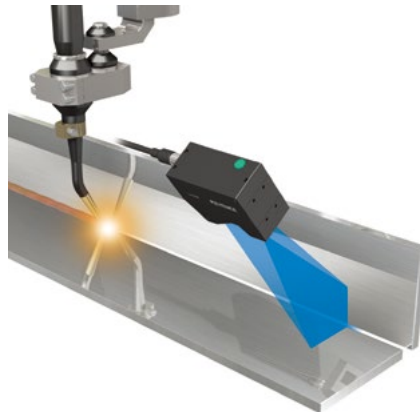
超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”的坡口控制示例

焊接机器人控制的案例

案例 1: 焊接线的模仿控制（焊炬位置控制）

在支持精细加工的激光焊接等工艺中，由于熔融范围较小，必须借助高精度的焊接线检测及实时反馈，实施焊炬位置控制。

使用照射带状缝口光的超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”，能够快速且高精度地检测出母材的位置及距离、坡口形状，进行实时的焊炬位置修正。这样能够大幅削减用于焊接机器人焊炬位置调整的时间，实现快速准确的自动焊接。



案例 2: 激光钎焊中的焊缝跟踪控制

在向母材间填充钢丝状钎焊材的同时，借助激光能量进行钎焊的“激光钎焊”，能够在维持母材美观的同时提高刚性、缩短单件作业时间，作为取代影响母材美观的电阻点焊接的新一代接合技术，正在以汽车行业为主的众多领域受到越来越多的使用。

在运用“激光钎焊”对汽车车顶、侧面板、后行李箱盖等位置进行接合时，必须配备能够沿着复杂车身线条，对细窄焊接线实施高精度快速检测及模仿控制的“焊缝跟踪控制”。



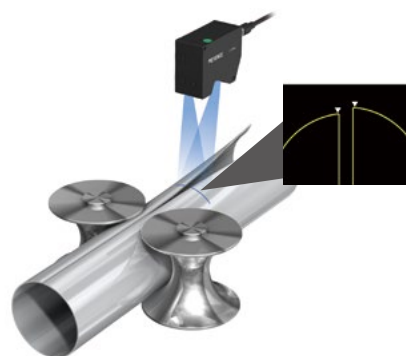
通过导入采用缝口状激光的超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”，能够对插入钎焊材焊丝、照射激光的焊缝形状、位置、距离、高度、高度差等进行高速且高精度检测，实现实时的机器人控制。这是在“激光钎焊”导入中，实现接合精度提升及单件作业时间缩短的一大优势。

案例 3: 电阻焊接管的焊接位置测量

电阻焊接管具有表面光滑、生产性高的特性，被用于能源领域、机械结构、一般配管等众多领域。同时还要求高品质及安全性，必须具备高可靠性的接缝强度。

电阻焊接管是将带状板辊轧成形成圆柱状，再用高频率诱导压焊接接缝。此时，若接缝错位，将无法进行正常焊接。

超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”，能够通过大范围照射带状激光的方式，对材料的高度差及间隙进行高速且高精度测量，提前检查造成焊接不良的接缝错位。

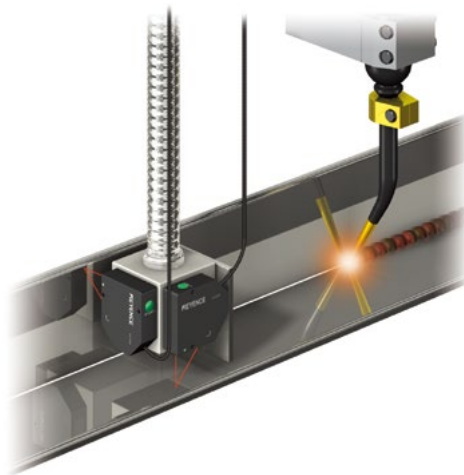


案例 4: 焊接焊炬的高度控制

焊接时，可以利用激光位移传感器，快速检测出工件位置及翘曲、变形、高度差等造成的高度变化并进行反馈，从而实时控制焊接焊炬的高度。通过将激光位移传感器检测出的数据实时反馈给机器人，实现自律控制，确保焊炬始终位于合适的高度。如此一来，能够在提高焊接精度的同时，缩短单件作业时间。

超高速 / 高精度 CMOS 激光位移传感器“LK-G5000 系列”，不仅能够高速检测变化的焊接线高度，还能通过高速运算并反馈测得的数据，实现快速且高精度的焊炬高度控制，并由此提高焊接品质。

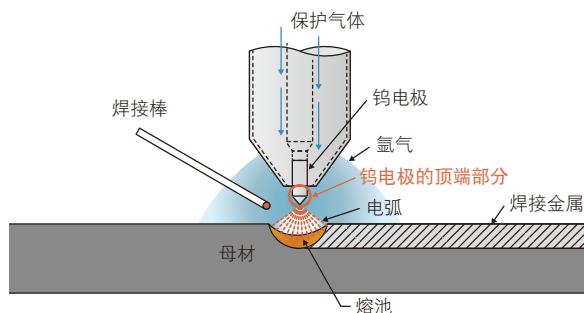
此外，对于用多台位移传感器检测焊炬位置的情况，“LK-G5000 系列”也只需 1 台控制器就能进行控制。



专栏: TIG 焊接机器人的钨电极顶部形状检测

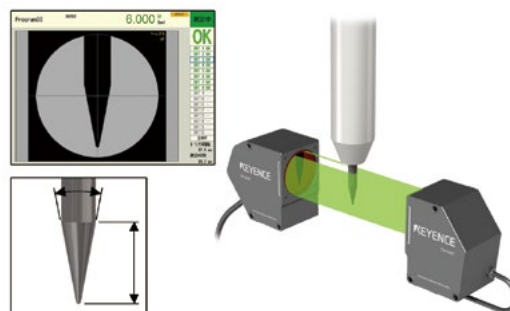
在借助机器人的 TIG 焊接中，由钨电极产生电弧，熔化焊接棒进行焊接。若机器人连续进行焊接，电极顶部的角度、弯折等形状可能会发生变化，这会导致焊接不良。

因此，我们需要在机器人 TIG 焊接工序中引入借助二维测量仪的形状检测，合理地确认、保养电极顶部。

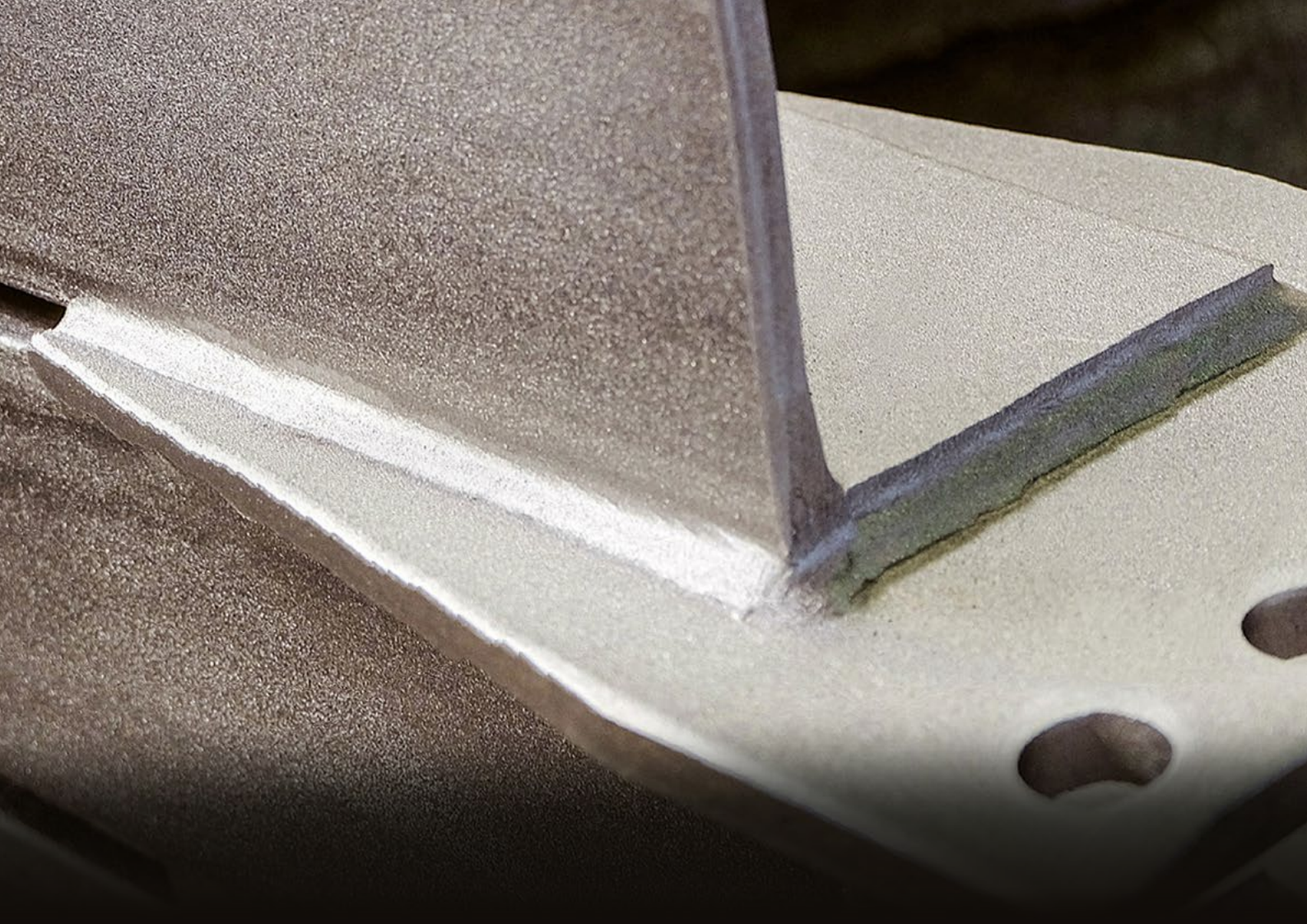


导入案例: 借助二维高速投影尺寸测量仪的钨电极顶部形状高速检测

在实施 TIG 焊接的机器人模块中设置二维高速投影尺寸测量仪“TM-3000 系列”。在工序中，根据电极顶部承受的负担，例如每 50 次连续焊接中实施 1 次等，导入借助二维高速投影尺寸测量仪的电极顶部形状检测动作。“TM-3000 系列”可以进行高速的形状检测。因此能够在将对单件作业时间的影响降至最低的同时，预防伴随电极形状变化产生的焊接不良。



借助二维高速投影尺寸测量仪“TM-3000 系列”的电极顶部形状高速检测



焊接的品质与问题

在 ISO9000 第一版（1987 年版）中，焊接被定义为“特殊工序”。这是因为当时要验证品质条件非常困难。后来，焊接品质从“所用材料、设备及操作者的资格”、“作业条件、作业步骤及其管理和检测方法”，以及安全对策等“作业标准”和实现标准所需的焊接条件、测量仪、检查手册、记录等方面进行管理。

焊接品质的检查非常重要，但要作出准确的判断也绝非易事。对焊接操作者、设备严格规定的各种资格和条件，也证实了这一点。实际上，在船舶、桥梁、基础设施设备等的重大事故中，经常发现起因是焊接不良，因此必须严格地实施品质管理，丝毫不可松懈。

在现代，随着传感器、高精度相机、激光位移传感器等技术的发展，管理和检测技术越来越发达。焊接的未来除了经验和知识外，关键还在于如何利用科学技术，合理地进行高精度品质管理。

焊接需要实现的品质

焊接的品质

作为“焊接产品”应具备品质的一般条件，如下所示。

- 按设计尺寸正确完工。
- 具备要求的功能和强度（或安全性）。
- 焊接部的外观符合要求的等级。

实现这样的高品质产品所需的“焊接品质”基本条件如下项目所示。

- 焊珠没有龟裂或孔等。
- 焊珠的波形、宽度、高度等均匀。
- 表面基本无变形，符合设计尺寸。
- 焊接能达到规定的强度。

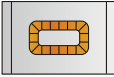
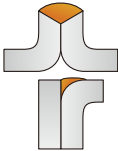
区分使用将两个母材完全一体化的“全熔透焊接”或包括“部分熔透焊接”在内的“焊接焊缝”等，获取所需的刚性。

焊接焊缝和品质

除部分特殊的母材外，“焊接焊缝的强度视为与母材相同”。

焊接焊缝因母材的接合方法不同，有很多种类，焊接强度因母材之间的焊接方式和焊接部位不同而异。因此，为了高效地进行高品质焊接，还需要注意焊接后向产品用力的方向。

此外，焊接焊缝的熔深对于焊接强度、品质和作业效率而言非常重要，需要根据母材的形状、所需的强度区分使用。根据焊接部的形状不同，焊接焊缝的分类如图所示。

	坡口焊接	角焊接	塞焊	槽焊
对头焊缝				
十字焊缝 T字焊缝				
角焊缝				
搭板对接焊缝				
搭接焊缝				
端接焊缝				

* 上述分类仅供参考。分类的方式多种多样，并不仅限于上表所示的方法。

坡口（槽）焊接

在部材上开设称为坡口（槽：groove）的凹槽后进行焊接。分为将母材完全融入的“全熔透焊接”和部分熔化的“部分熔透焊接”。

角焊焊接

“T字焊缝”、“十字焊缝”、“角焊缝”等，将几乎垂直的两个母材的面连接起来的三角形焊接。

塞（栓）焊

将部材重叠后，在一侧开孔后进行的焊缝焊接。

槽焊

与塞焊中的开孔不同，开设椭圆形细长的凹槽后进行的焊缝焊接。

“坡口焊接”、“角焊焊接”称为普通的焊接焊缝，“塞焊”、“槽焊”称为特殊焊缝。“对接焊接”是指将两个母材几乎用位于同一面的焊缝进行焊接，但在不是同一面内的“T字焊缝”和“角焊缝”中，如果是全熔透焊接，也可称为“对接焊接”。

焊缝效率和强度品质

焊接焊缝的强度品质除了与工艺有关之外，还与材料强度对应的“焊缝效率”有密切的关系。

焊缝效率和焊接焊缝的强度、母材的强度关系如下公式所示。

$$\text{“焊缝效率”} = \text{焊接焊缝的强度} \div \text{母材的强度}$$

例如，在结构钢的“对接焊缝”中，焊接金属和热影响部的强度会高于母材。而如果以直角方向向焊缝施加负载，母材发生断裂的可能性将增大。这是因为焊缝的延展性和强度与母材的强度相同或更高，因此可以认为焊缝效率为 100% 以上。

此外，在高强度钢或铝合金的高热输入焊接、加工硬化后的奥氏体不锈钢、热处理铝合金的焊接中，焊接时受热的部分会软化。当焊接金属的强度比母材低时，焊缝会发生断裂。这种情况下的焊缝效率为 80 至 70% 或更低。

焊接缺陷和强度品质

为减少焊接缺陷和提高焊接品质，在焊接设计阶段选择与用途匹配的素材和工艺非常重要。但是，即使设计合理，如果在焊接工序中发生缺陷，也会对品质产生很大的影响。例如，焊珠的缺陷不仅是对外观，还会对强度产生很大的影响。也就是说，凹痕、咬边、搭叠、余高不够、开裂（表面）、焊道弯曲、坡口残留、电弧擦伤等外观缺陷就是焊接品质的缺陷。

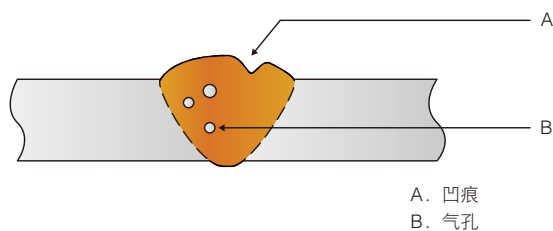
下面介绍与品质有密切关系的焊接缺陷的示例、维持品质所不可或缺的检测方法以及利用科技实现合理化的最新检测案例。

有损焊接品质的表面缺陷

焊接工序的原则，是基于合理的焊接设计，依照图纸进行焊接，同时还必须确保焊接部分外观、强度等“焊接品质”。下面介绍有损焊接品质的典型表面缺陷。

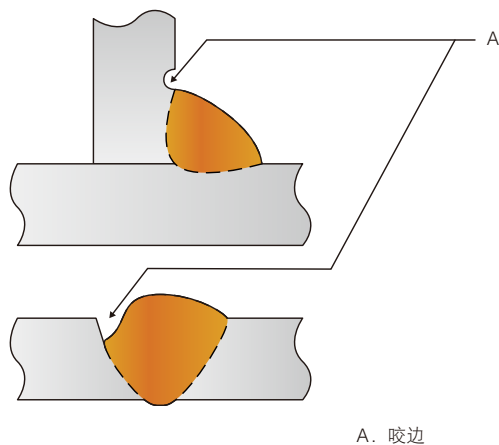
凹痕

焊接金属内部产生的气孔，在释放到焊珠表面时，形成空洞并凝固的表面缺陷，被称为“凹痕（开口缺陷）”。另一方面，留在焊珠内部的气孔，则被称为“气孔”的内部缺陷。导致上述两种缺陷的原因，可能是保护气体不良或脱氧剂不足、母材坡口面的油分、锈蚀、镀层等表面附着剂、材料含水量等。



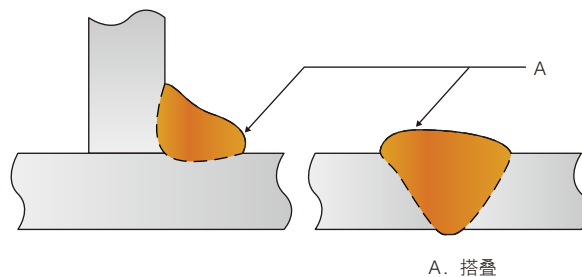
咬边

在母材或已焊接部分上方重复发生焊接时产生的焊趾凹槽，被称为咬边。通常是由于焊接电流过大或焊接速度过快导致的。此外，摆动幅度过大同样也会导致咬边，必须加以注意。



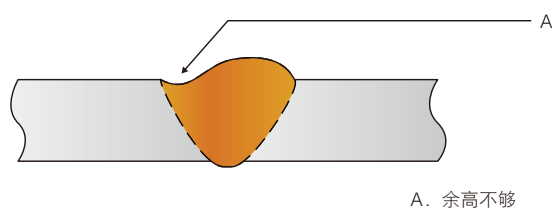
搭叠

溢出到母材表面的熔融金属，在未熔融母材的状态下冷却时发生。通常是由于焊接速度过慢，导致焊接金属用量过大所导致的。此外，若在角焊接中发生，过剩的熔融金属会因重力而向下垂淌。必须采取措施，优化焊接条件（提高焊接速度、减小焊接电流等）。



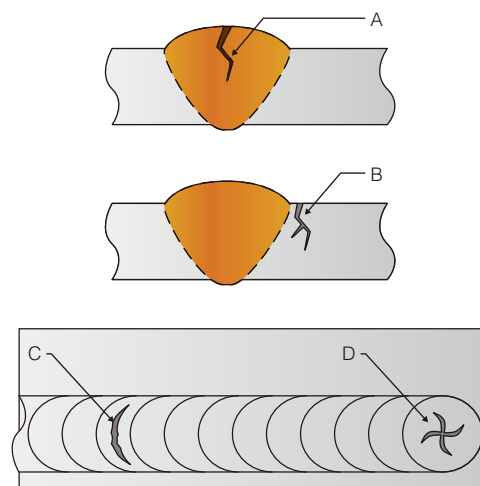
余高不够

通常是由于焊接速度（热源移动速度）过快等原因，导致坡口表面部分充填的熔融金属不足所引发的。



裂纹（表面）

受焊接刚结束时的高温影响，在焊接部分产生的裂痕。大致可分为“凝固裂纹”和“液化裂纹”。凝固裂纹是在凝固时产生的裂纹，液化裂纹则是在多层焊接时，上一焊接层在后续焊接中被熔化而导致的裂纹。此外，根据发生位置及形状，还可以分为“纵向裂纹”、“焊趾裂纹”、“横向裂纹”、“环形裂纹”等。

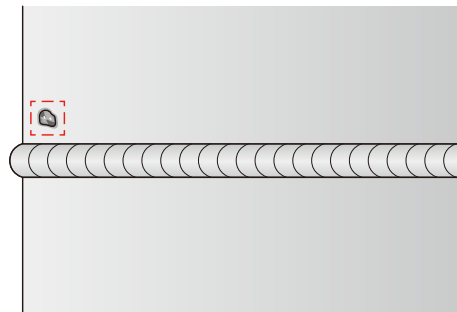


电弧擦伤

由于在母材上进行瞬间引弧，又立即停止电弧而导致的缺陷。也就是说，在电弧焊接中，电弧的不良痕迹无法被后续的电焊熔解，残留在母材上。

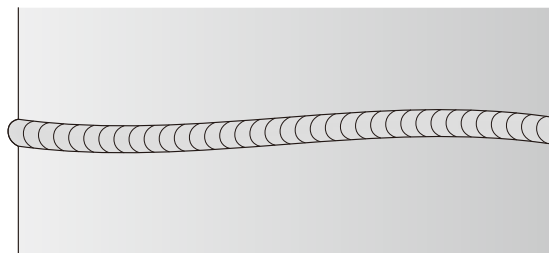
电弧擦伤可能会造成母材开裂。

此外，大颗粒溅射附着残留的痕迹，同样可能会导致该缺陷。



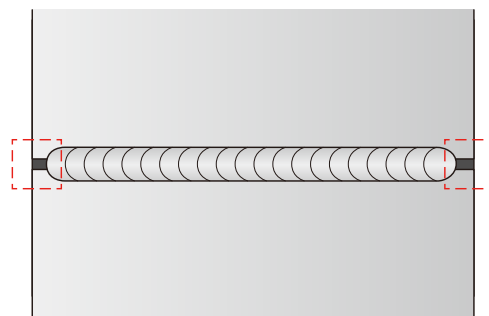
焊道弯曲（焊珠歪斜、焊珠错位）

焊道弯曲，偏离焊接线的缺陷。原因包括，自动供应的焊丝弯曲、焊丝线形矫正不良、焊接线与焊丝线形方向呈正交。此外，焊丝供应速度及焊接电流的设置值不匹配时，也有可能导致该缺陷。



坡口残留

由于未能构成从坡口起点到终点的连续焊道，残留了未焊接的坡口。机器人焊接中，若起点或终点附近出现该缺陷，则可能是由于机器人控制存在问题。此外，电弧及气体、焊丝供应等不稳定时，同样可能会导致焊道中间位置发生坡口残留。



有损焊接品质的内部缺陷

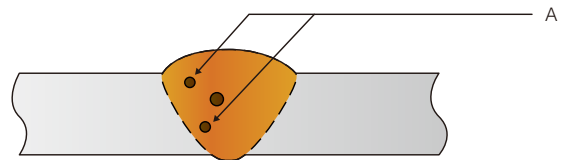
利用熔融金属接合时，由于焊接特有的现象，焊接部的内部可能发生缺陷。

和外观品质一样，这些缺陷也会对焊接强度、焊接品质产生影响。

下面列举了有损焊接强度和焊接品质的常见内部缺陷。

气孔

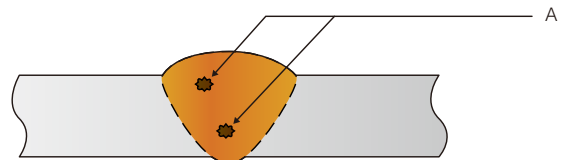
气体未能在熔融金属凝固前排出而聚集到一起，变成球状，导致焊珠内部出现残留气孔的缺陷。这种气孔在焊珠表面形成孔并凝固时，将变为称为“凹痕（开口缺陷）”的表面缺陷。



A. 气孔

不纯化合物

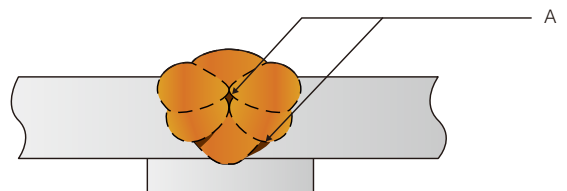
熔融金属中的气体原子与母材的原子结合后生成不纯化合物，并残留在焊珠内部的缺陷。



A. 不纯化合物

焊渣夹入

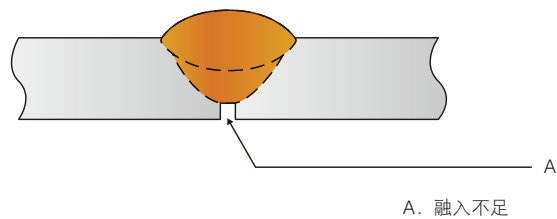
焊接过程中生成的焊渣比熔融金属先凝固，焊渣残留在熔融金属内的缺陷。



A. 焊渣夹入

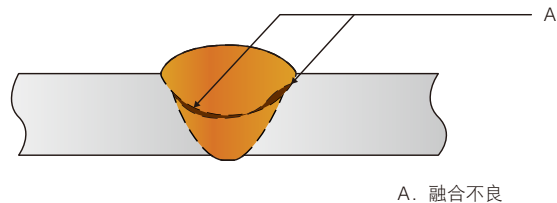
融入不足

因熔融金属加热不足等，未融入到目标位置和深度的缺陷。



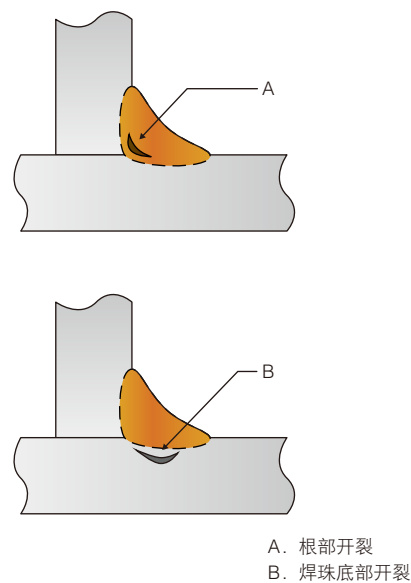
融合不良

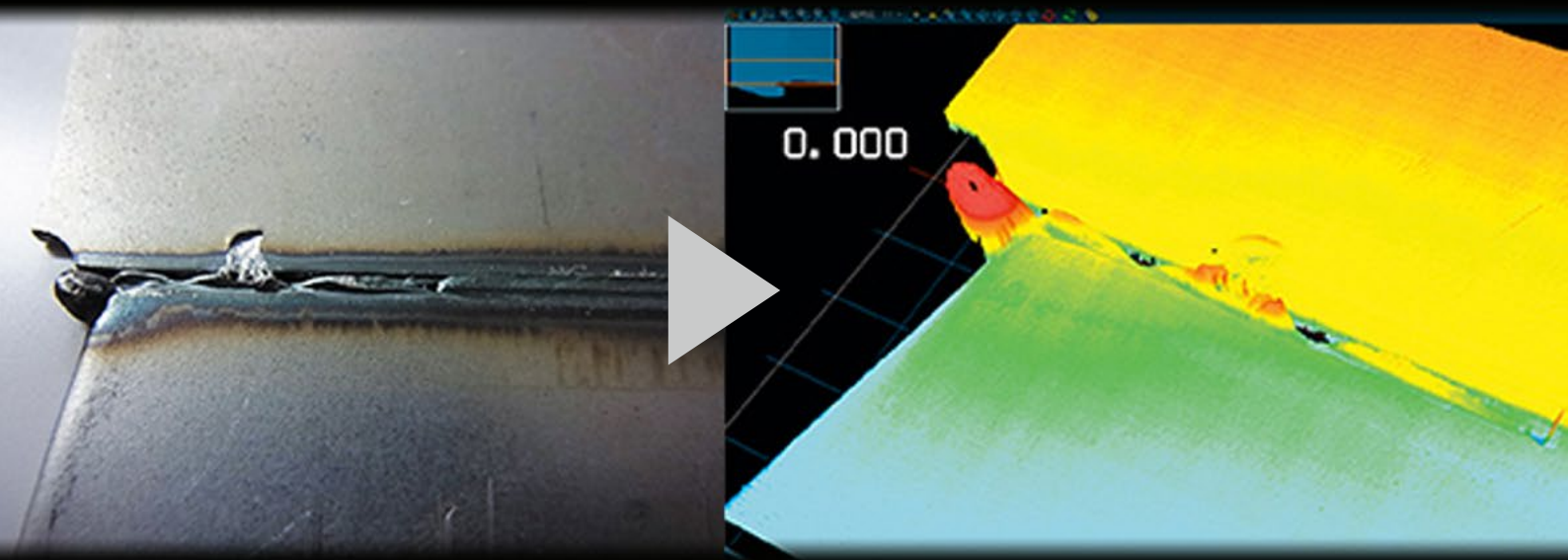
因熔融金属加热不足等，想要先融入的内层焊珠（上层焊珠）未能完全熔融而发生的缺陷。



开裂（内部）

在焊接部分产生的裂痕。属于典型内部缺陷的“开裂”包括“焊接金属开裂（根部开裂）”和“热影响部开裂（焊珠底部开裂）”。“焊接金属开裂”是发生于焊接金属内部的缺陷。此外，“热影响部开裂”是因焊接部急剧冷却导致母材变脆，受已凝固部分的收缩力而产生的缺陷。





焊接品质的测量和检测

焊接后的测量和检测分为焊接部表面的检测和焊接部内部的检测。

焊接内部的检测中，一般使用超声波或射线。焊接表面的检测有使用磁粉进行的“磁粉检测（MT）”和使用特殊液体进行的“渗透检测（PT）”。

近年来，随着技术的革新，在对量产速度和品质都提出更高要求的工厂自动化行业，使用可在线进行高速且高精度自动检测的“激光位移传感器”，进行非接触检测的趋势愈发强烈。

焊接的表面测量和检测

焊接表面的检测除了目视检测外，还有“磁粉检测（MT）”、“渗透检测（PT）”、用视觉系统或激光位移传感器进行检测等方法。

接触式表面检测

磁粉检测（MT）

适合检测钢铁等强磁性材料表面附近是否有伤痕的检测方法。将焊接部磁化后，如果表面及浅表部分（距离表面约 2 至 3 mm）有伤痕，磁性会出现不连续部分。磁束将从该部分泄漏出来，在与不连续部的边界处产生磁极。如果在这样的状态下在焊接部表面散布磁粉，磁粉会变成微小磁铁，附着到伤痕部分的磁极上。附着的磁粉会形成实际伤痕的数倍到数十倍大小的形状，这样就可以对伤痕进行目视观察。

渗透检测（PT）

这种检测方法几乎适用于所有材料的表面检测。将具有鲜艳颜色和光泽的、渗透性良好的液体渗透焊接部表面的伤痕，吸出到表面而扩大伤痕，然后进行目视观察。

传统的非接触式表面检测

传统的检测方式是由熟练的焊接操作者进行目视检测。但是，这种方式存在很多问题，如工作量大、难以确保技能出众且有经验的人才，还可能出现缺陷漏检等人为失误。

利用视觉系统进行的检测可在线进行，因此检测效率更高。但是，这种方法也存在问题，可能会受到传感器周围的光或焊接部的颜色不均等影响，发生误检测。

利用激光位移传感器进行的非接触式表面检测

向焊接表面照射激光，利用反射形成的反馈，检测焊珠形状。

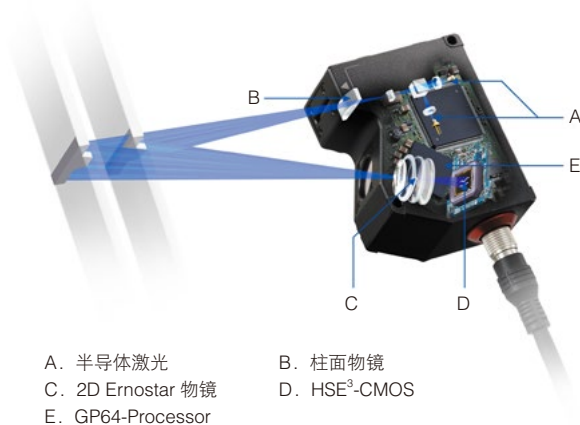
一般情况下，激光位移传感器需要一个最佳的反射光量，以实现稳定的形状检测。但是，传统的普通激光位移传感器在根据工件调光时，会针对从工件整个面获取的接收光强度进行调光，因此如果对曲面或不同颜色的面进行测量，会导致反射光量差，造成误检测。

超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”采用“光切断法”，由传感器探头照射线激光，根据其反射光测量截面形状，因此可检测焊珠的形状。利用动态量程为传统产品 2400 倍的受光元件，即使检测目标的焊接部为曲面、光泽面或存在颜色不均，也可正确地获取形状。

此外，传感器探头体积小，而且可进行高速采样，非常适合在线测量。

“光切断法”的检测机理

利用“柱面物镜”，使带状伸展的激光在目标物的表面形成漫反射。其反射光通过高灵敏度、大动态范围的“HSE³-CMOS”成像，对位置和形状的变化进行检测，以测量位移、形状。

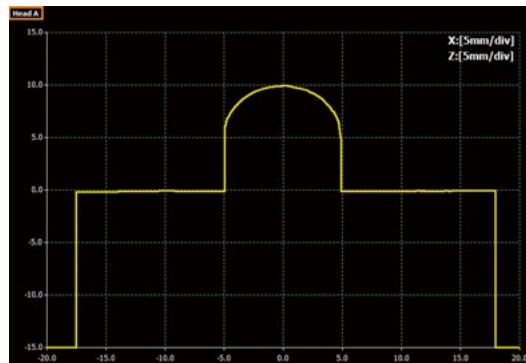


凭借大动态范围实现稳定检测

使用传统的位移传感器时，如果反射光有差异，需要更改激光功率和曝光时间。而“LJ-V7000 系列”具备较大的动态范围，不会受测量面的倾斜或光泽导致的反射光量差影响，可正确地识别形状。



利用 LJ-V 进行形状检测

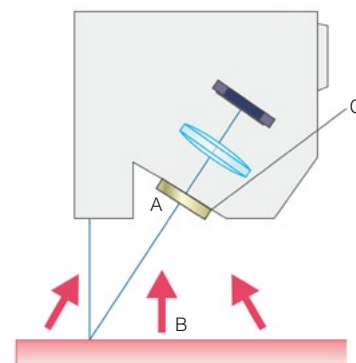


不受明暗差影响的形状数据

不受高温工件影响的“蓝色激光”

普通的红色激光位移传感器中，在接收器前面装有只让波长在 650 nm 左右的光通过的带通滤波器。但是，当目标物是红热钢板等时，由于其辐射光大部分为红色到红外的波长成分，因此会受到环境光的严重影响。

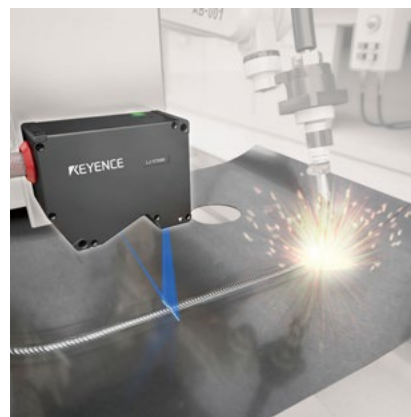
而“LJ-V7000 系列”采用蓝色激光，配备有只让波长为 405 nm 左右的光通过的带通滤波器。这样，即使是刚焊接的高温工件也可测量，不会受到红色到红外波长成分的影响。



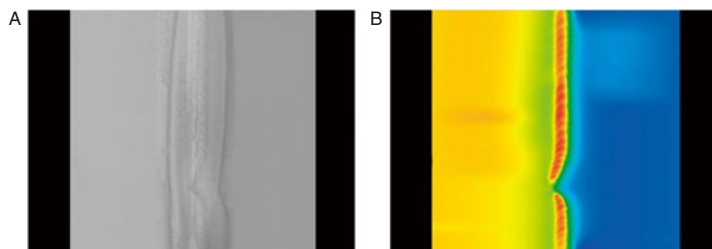
- A. 蓝色激光的反射光
- B. 来自高温工件的辐射光
(含有大量红色到红外的波长成分)
- C. 只让波长为 405 nm 左右的光通过的带通滤波器
(不会受到红色到红外波长成分的影响)

因此，“LJ-V7000 系列”与传统相机和普通激光位移传感器不同，不会受到焊接时的火花等光学干扰和刚焊接后红热钢板的辐射光影响，可实现稳定的形状检测。

这样，例如在拼焊（TB）的焊接工序中，可以在追踪焊炬的同时，对刚焊接的焊珠形状进行高速检测。



拼焊焊接时焊珠形状检测的比较



A. 用传统相机进行检测

工件有颜色不均和光泽等，表面状态不稳定，难以测量。

B. 激光位移传感器(LJ-V7000系列)+ 图像处理

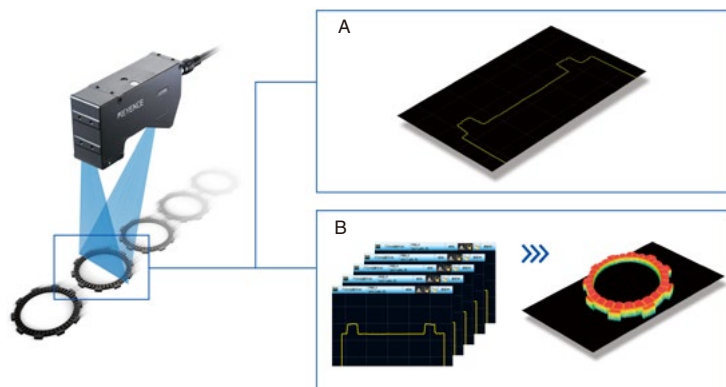
不受工件表面状态的影响，可稳定地测量焊珠形状。

为此，“LJ-V7000 系列”能够以非接触的方式，真实地测量焊珠形状。利用这个结果

A. 可实现焊珠不良（是否有咬边、搭叠、余高不够、开裂等缺陷）的 2D 形状检测。

B. 在对连续的截面形状数据进行图像处理和分析的 3D 形状检测中，可发现细微的表面缺陷等，实现更细致的检测。

使用“LJ-V7000 系列”进行的 2D、3D 形状检测示例



焊接的内部测量和检测

焊珠或母材的内部检测使用超声波或射线。

超声波检测（UT）

要检测融入不足或融合不良、内部开裂等缺陷时，使用超声波。在用超声波进行的检测（“超声波检测：UT”）中，使用一种名为探头的物体。探头内部装有振子，用于发出和接收超声波。将探头放到焊接部上并发出超声波，超声波将传播到焊接部内部。如果没有空心或异物等，超声波将在底面发生反射（回响），返回到探头。而如果在中途遇到空心或异物等，将在到达底面前从空心或异物处发出回响，并返回到探头。这种回响将以图形的形式显示在探测器上，用于测量缺陷的有无和位置。

射线检测（RT）

用射线进行内部检测时，能有效地检测到气孔、焊渣夹入等缺陷。在用射线进行的检测中，“射线检测（RT）”非常有用，它的方式与人类体检时使用的 X 射线相同。与 X 射线一样，向焊接部照射射线。与其他部位相比，射线更容易通过缺陷部，因此如果用胶片感光，缺陷部分将呈现为黑色，这样就能检测到缺陷。

焊接品质检测案例 1 焊珠的形状检测

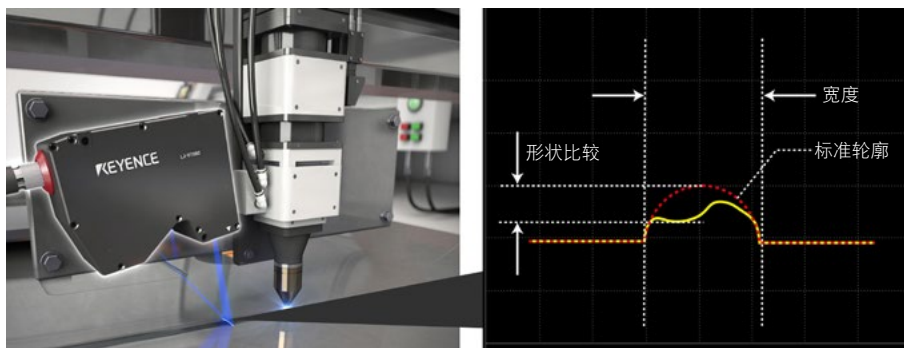
利用高性能激光位移传感器进行焊接后的焊珠外观形状（咬边、搭叠、余高不够等表面缺陷）检测案例。

案例 1-1：激光焊珠的 2D 截面形状检测

在焊接的后续工序中，目视进行全数检测时，不仅非常费时，同时也很难确保技能出众且有经验的检测员，可能会遗漏一些细微缺陷，出现人为失误，这是一个非常严峻的问题。此外，在使用视觉系统或传统红色激光位移传感器进行的焊接检测中，会因焊接焊炬的光或工件的漫反射光而发生误检测。

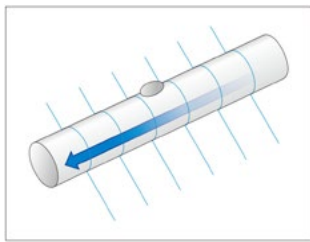
利用“LJ-V7000 系列”进行高速且稳定的截面形状检测

如果使用超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”，就不会受到焊接车间的光学干扰影响，可高速且稳定地检测工件的截面形状，适用于各种形状的工件，因此可解决焊接的全数检测时发生的各种问题。

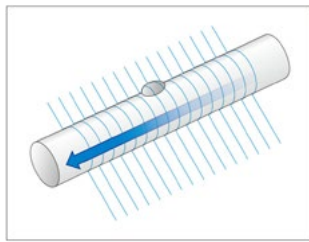


例如，在拼焊（TB）的激光焊接工序中导入“LJ-V7000 系列”，可在不增加单件作业时间的前提下，追踪机器人的焊炬，在焊接后立即稳定地对焊珠进行形状检测。利用最快 64 kHz 采样，即使在自动焊接时扫描头随焊炬快速并行移动，也可实现稳定的形状检测，可立即检测出焊接缺陷，将发生不良的可能性降到最低。

不同采样速度下形状检测的比较



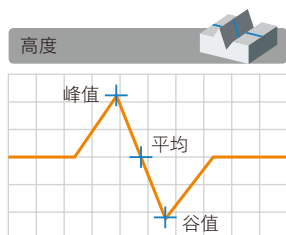
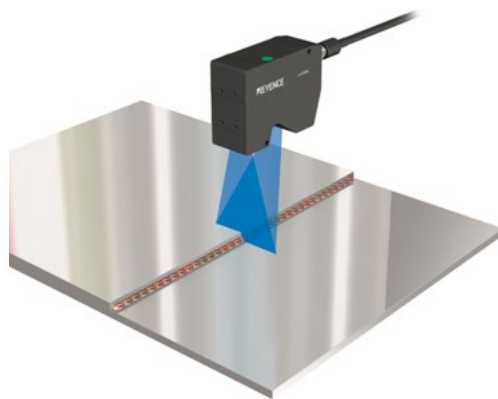
传统的激光位移传感器：检测节距大，容易忽略突起部。



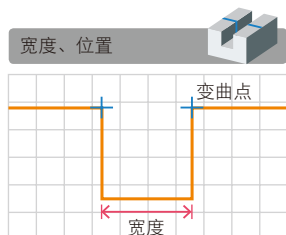
LJ-V7000 系列：利用高速采样的细微节距，不放过任何突起部。

可在各种测量模式下用于各种工件

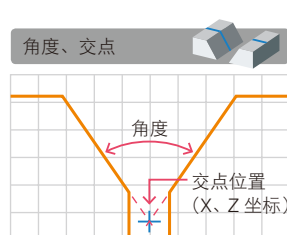
“LJ-V7000 系列”可指定 16 种测量内容和 11 种测量对象，共配备 74 种测量模式。利用丰富的测量模式，可对各种工件的焊接部、焊接焊缝进行形状检测。



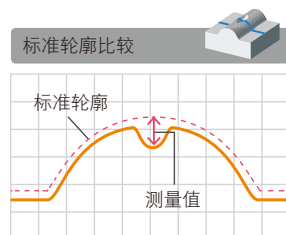
测量指定范围内的高度。



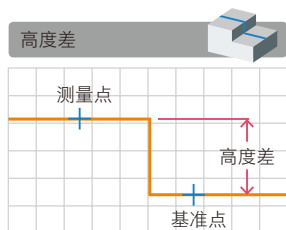
根据指定条件，测量宽度和位置。



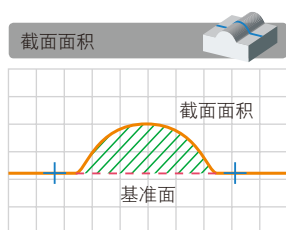
测量所检测的直线角度和交点位置。



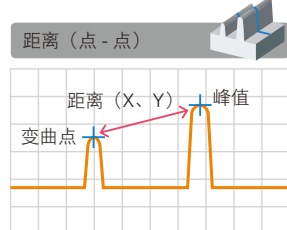
与注册的标准轮廓相比，测量高度差最大的部分。



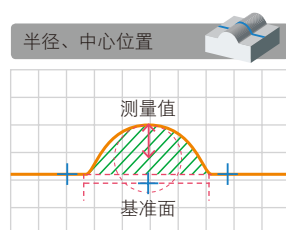
测量参考点与测量点的高度差。



测量距参考面的截面面积。



测量 2 点间的距离。



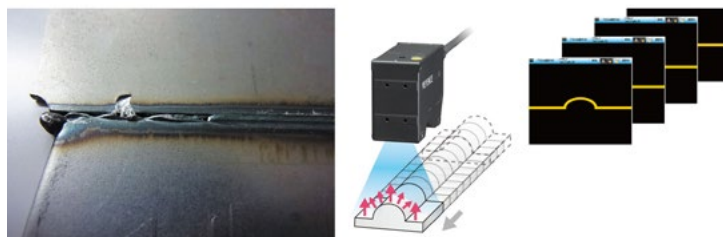
测量曲线形状的半径或指定点的中心位置坐标。

案例 1-2: 焊珠的 3D 形状检测

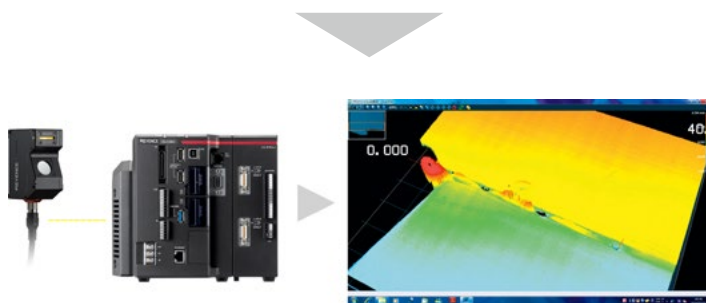
在 3D 形状检测中，可对更多形状的焊接部进行检测，如仅凭 2D 截面形状数据无法检测出来的凹痕、咬边的容积、搭叠的体积、焊珠表面的开裂、焊道弯曲（焊珠歪斜、焊珠错位）、焊珠长度不良（坡口残留等）或电弧擦伤、溅射等。

利用“LJ-V7000 系列”和视觉系统进行的 3D 形状检测

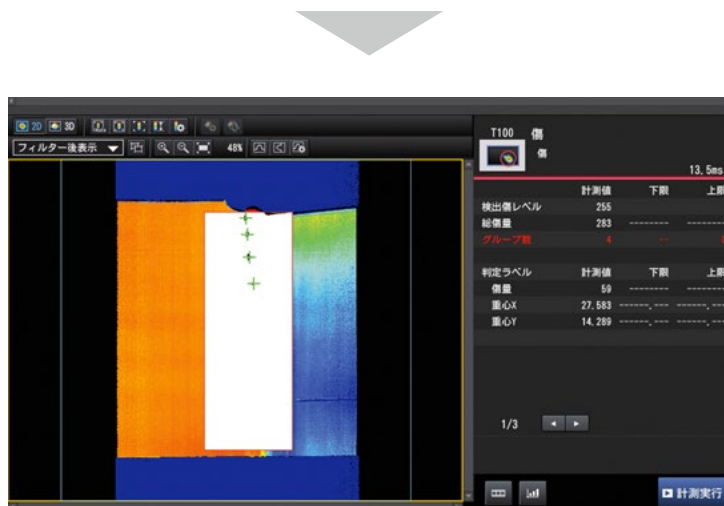
利用超高速轮廓测量仪“LJ-V7000 系列”检测到的 2D 截面形状数据，生成 3D 形状并进行分析，实现精密的形状检测。



利用 LJ-V7000 获取焊珠的 2D 截面形状数据

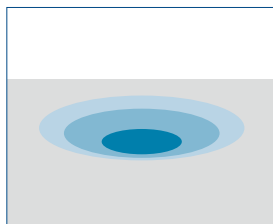


使用最大 16284 的截面形状数据，通过视觉系统生成 3D 形状

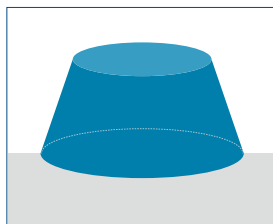


对焊珠的 3D 形状进行分析，检测各种不良

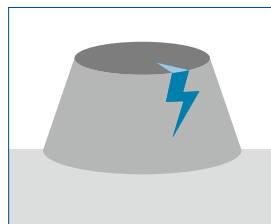
借助 3D 形状检测实现的焊接部形状检测示例



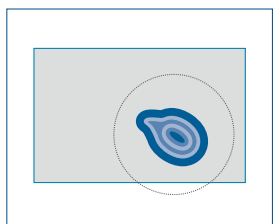
凹痕、咬边的容积



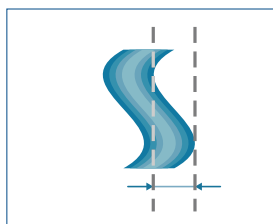
搭叠、焊珠的高度和体积



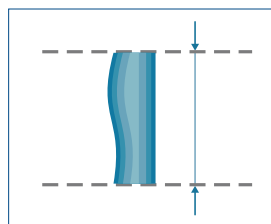
焊珠表面的开裂、凹陷



电弧擦伤、溅射



焊珠的弯曲、错位

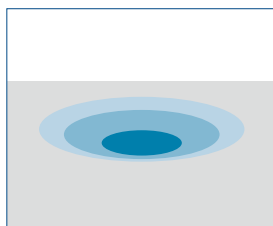


焊珠的长度

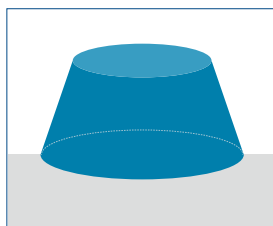
以上述内容为主，可对焊接部的各种形状不良进行在线检测。

搭叠或余高不够、坡口残留、电弧擦伤、溅射的 3D 形状测量示例

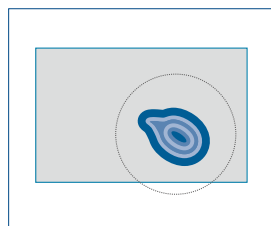
检测内容



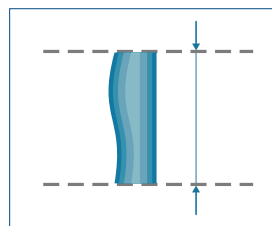
凹痕、咬边的容积



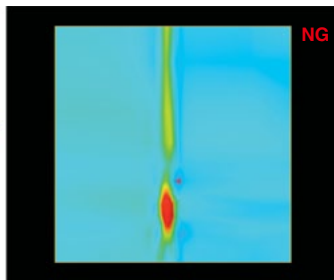
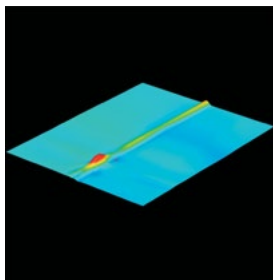
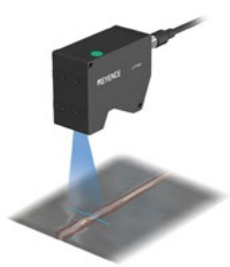
搭叠、焊珠的高度和体积



电弧擦伤、溅射

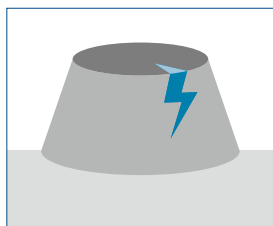


焊珠的长度

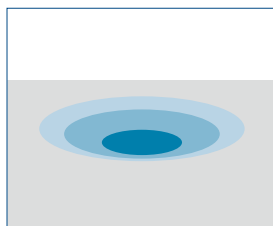


激光焊接余高不够（焊珠凹陷）的 3D 形状检测和分析示例

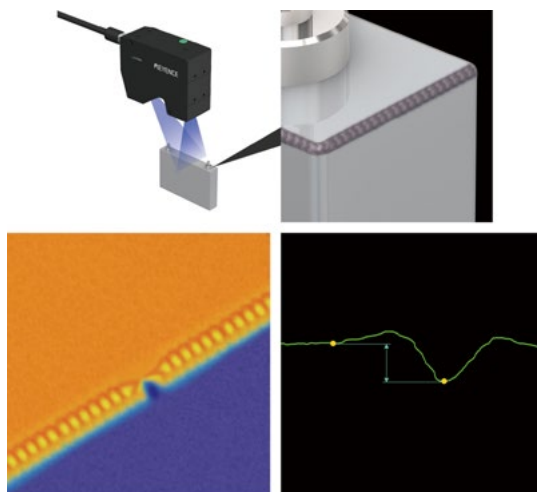
检测内容



焊珠表面的开裂、凹陷

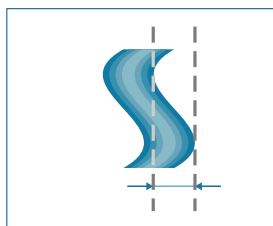


凹痕、咬边的容积

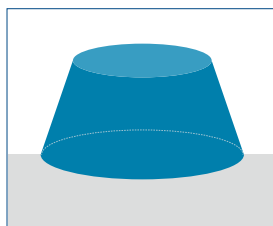


焊道弯曲（焊珠歪斜、焊珠错位）、搭叠的 3D 检测和分析示例

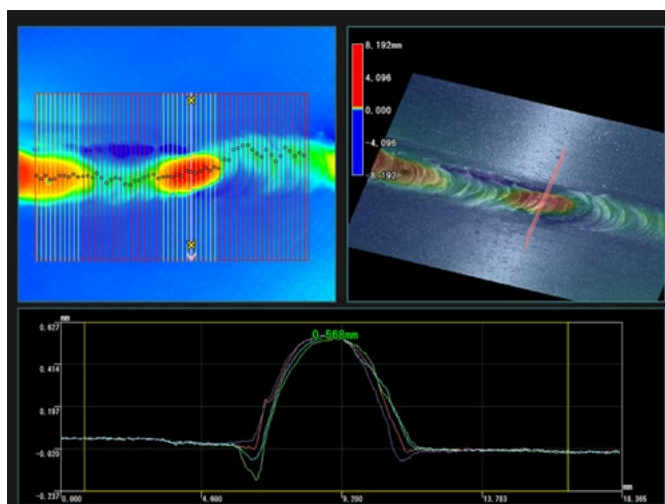
检测内容



焊珠的弯曲、错位



搭叠、焊珠的高度和体积



焊接品质检测案例 2 电子部件的接合

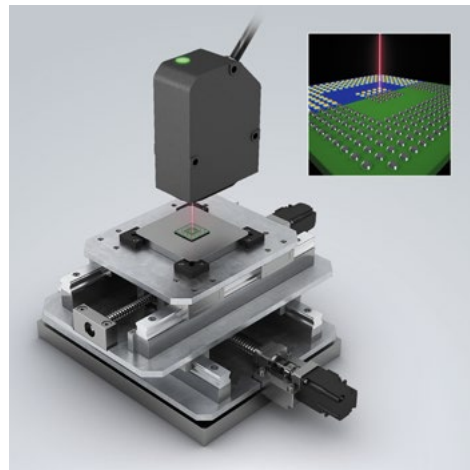
案例 2-1: 水晶振子密封后的封盖（盖子）高度测量

在将水晶振子和封盖（盖子）接合并密封的工序中，为提高性能、减缓自然老化，要求达到非常高的气密密封状态。因此，封盖的接合中通常使用“电子束密封法”或“真空缝焊”等接合技术。

为了对决定产品品质的封盖接合品质进行管理，需要检查包装上的封盖是否已正常接合，还需要对精密工件进行高精度检测。同时，为应对在线全数检测，还要求具备较高的检测速度。

但是，如果使用传统的 1D 位移传感器检测工件高度或倾斜，需要对目标物进行高精度的高速扫描。因此，载物台移动非常费时，很难进行全数检测。此外，系统构建费用也非常高，装置化的难度较高，这也是一个问题。

传统的 1D 位移传感器和载物台移动装置示例



瞬间捕捉整个面，干涉式同轴 3D 位移测量仪“WI-5000 系列”

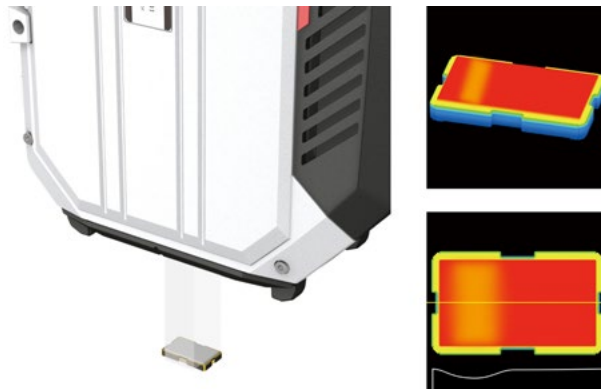
导入干涉式同轴 3D 位移测量仪“WI-5000 系列”后，可实现高速且高精度的全数检测。

“WI-5000 系列”可瞬间（最快 0.13 秒）检测每 $10 \times 10 \text{ mm}$ 8 万个高度数据，即“面”的信息，因此可进行在线全数检测。



使用“WI-5000 系列”进行的在线封盖（盖子）密封检测

可瞬间检测密封了小型水晶振子的封盖（盖子）高度是否有差异（因接合不良而发生的封盖翘起或倾斜），在不降低生产线速度的前提下，进行高精度接合检测。



案例 2-2: 电池密封体（盖子）的焊接检测

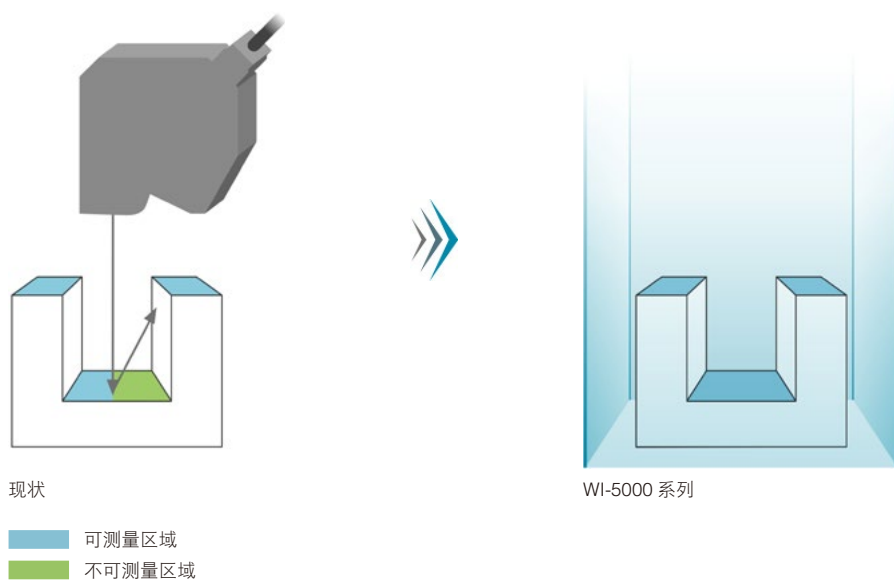
在圆柱形锂离子电池的制造工序中，要求密封体（盖子）能实现高气密焊接。一般情况下，电池密封体的接合采用电阻焊接方式。万一发生焊接不良，可能导致发生漏液，因此为了管理和维持品质，适合进行全数检测。

但是，在电池的大量生产过程中，如果使用传统的 1D 激光位移传感器，检测非常费时，而且受工件检测部位形状的影响，会出现死角，并需要移动载物台。

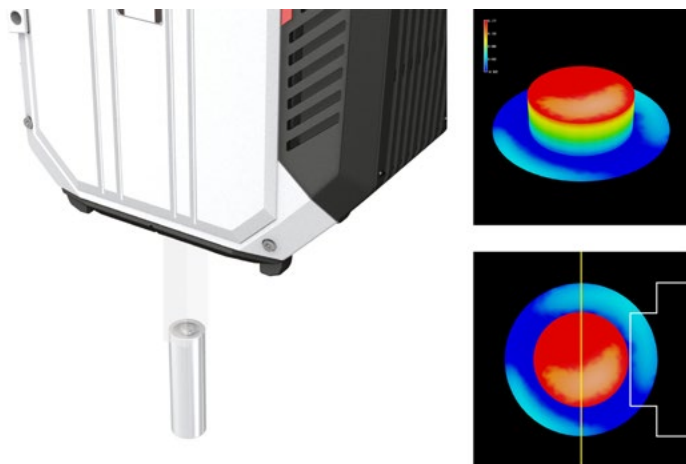
利用“WI-5000 系列”进行无死角的高度测量

干涉式同轴 3D 位移测量仪“WI-5000 系列”仅需 0.1 秒即可测量 8 万个高度数据。即可以瞬间测量“面”，而不是点。此外，也不会发生传统 1D 位移传感器的死角问题，可对各种形状的工件进行在线检测。

传统的位移传感器和“WI-5000 系列”的测量区域比较



利用“WI-5000 系列”进行电池密封体（盖子）的高度和倾斜测量



焊接术语集

焊接中会用到各种术语。以下为基本的术语。不同焊接方法中会出现更多的专业术语。

术语	说明
B	
摆动	在电弧焊接等时，焊炬与焊接线几乎成直角移动的焊接方法。 可在较短的焊道下焊入更多焊接金属
保护气体	防止焊接中的熔融金属氧化、氮化等，用于隔离大气的气体
D	
对接焊接	焊接焊缝与母材几乎在同一平面的焊接工艺
H	
焊材	用于接合母材的焊丝、焊接棒等
焊道	沿着焊接焊缝进行 1 次焊接操作
焊剂	用于清洁母材表面，激发其活性，提高焊材流动性的材料
焊接焊缝	母材的接合面
焊接缺陷	因焊接金属卷入或不合理的焊接技术、焊接参数等，导致未能正常焊接而形成的缺陷
焊接线	将焊珠、焊接部作为 1 条线表示时的线 即将要焊接的线、正在焊接的线、已结束焊接的线
焊渣	焊接部产生的非金属物质。焊接时熔化的焊渣残留在焊接金属中，形成“焊渣夹入”，是焊接缺陷的一种
焊珠	接合面上凸起的部分
J	
机械手	利用多关节结构和伺服电机动作的机器人主机。可动范围因关节的数量（轴数）不同而异。更换前端的机头，可满足各种作业的需求。
溅射	焊接过程中飞散的焊渣或金属颗粒，通常会对焊接品质产生影响
焦耳热	电流流入导体时，因电阻而在导体内产生的热量
角焊	对几乎成直角的两个面进行焊接的焊接焊缝，具有三角形截面
M	
母材	使用焊材时，被焊接的材料。不使用焊材时，为“焊接材”。
P	
拼焊（TB）	为确保强度和防腐蚀性，将多块不同钢板的组合通过焊接制成压接用素材
坡口	为实现需要的融入，焊接前设置于焊接焊缝的沟状凹槽
R	
熔池	因焊接时的电弧热量等导致电极或母材熔融，形成熔融金属的结块
融入	母材上因焊接而熔化的最高点与母材表面的距离
Y	
烟尘	固体气化后，因急剧冷却发生凝缩而生成的固体粒子

提供从“点”到“面”的完整产品阵容
根据情况，为您提供最佳的商品方案

1D 位移传感器

LK-G5000 系列

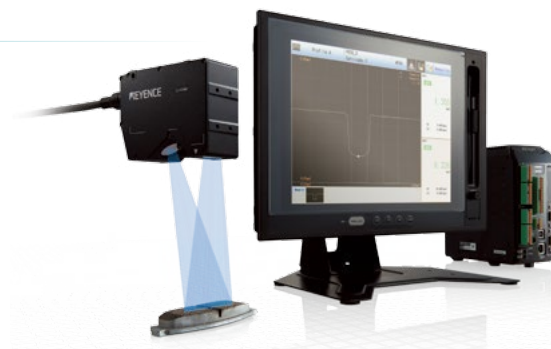
兼具速度、精度，拥有可适应各种目标物的应对能力，即激光移位计所追求的规格。在各方面均以超一流为目标，汇集了尖端技术。



2D 位移传感器

LJ-V7000 系列

致力于“在线”的形状测量，实现 64000 拍摄 / 秒。
采用蓝色激光的 2D 激光移位计可提供超稳定且高精度的轮廓测量。



3D 位移传感器

WI-5000 系列

并非以点摄或线摄，而是以面摄进行测量，可彻底解决传统课题。
兼具可在生产工序内使用的高速性及白光干涉原理实现的高精度测量。



KEYENCE 基恩士

www.keyence.com.cn

基恩士(中国)有限公司

最新发售情况，请咨询就近的基恩士

200120 上海市浦东新区世纪大道100号上海环球金融中心7楼

电话：+86-21-5058-6228 传真：+86-21-5058-7178

【关于产品的咨询,请致电】

电话：+86-21-3357-1001 传真：+86-21-6496-8711

咨询热线 **4007-367-367**

E-mail: info@keyence.com.cn

日本語ダイヤル **+86-21-5058-7128**



最新信息

登录微信关注
基恩士公众号



安全方面的注意事项

为了安全使用商品，请务必在
使用之前仔细阅读《使用说明书》。