Fronius TPS/i 焊接系统的先进工艺及其应用

康忠生

伏能士智能设备（上海）有限公司　上海　201322

摘要：简要阐述了Fronius 伏能士 TPS/i智能焊接平台中几种先进的焊接工艺，同时介绍了几种工艺的焊接应用，为客户的实际应用提供参考与借鉴。

关键词：TPS/i智能焊接平台；LSC（Low Spatter Control）工艺；PMC（Pulse Multi Control）工艺；CMT（Cold Metal Transfer）工艺

1　序言

随着智能制造的不断推进和发展，为了满足用户日益增长的需求，更加智能、先进、高效的MIG/MAG工艺已经成为客户的追求。随着焊接技术的不断进步Fronius 伏能士全新一代TPS/i智能焊接平台应运而生，并衍生出数种先进的高效焊接工艺：LSC、PMC（PMC MIX、PMC MIX DRIVE、PMC TWIN）、CMT（CMT MIX、CMT CYCLE STEP、CMT BRAZE +）等。本文首先对上述几种先进工艺进行简单阐述，随后介绍它们分别在不同焊接条件下的应用表现。

2　TPS/i智能焊接平台先进工艺概述

（1）LSC工艺　熔化极气体保护焊中传统的直流短路过渡工艺飞溅多，电弧不稳定，造成填充材料的浪费和较差的焊接体验。LSC工艺主要针对短路过渡工艺范畴进行了优化，有效减少了熔滴短路的爆断频率，大幅减少焊接飞溅的产生并使电弧更为稳定（见图1）。LSC作为较为受控的短路过渡工艺，在短路发生前降低电流，促使熔滴顺利过渡到熔池，不会产生爆断。

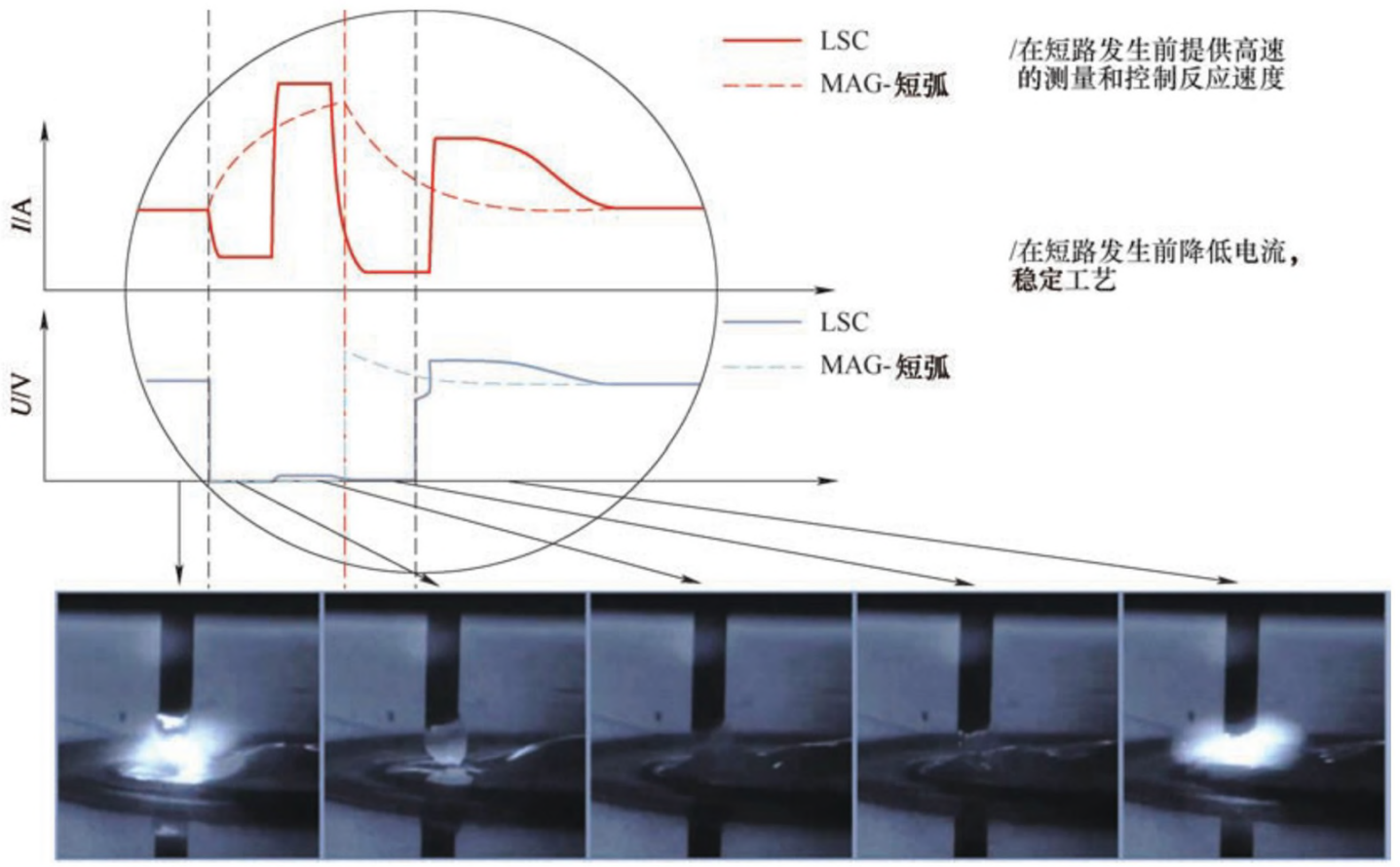


图1　LSC工艺波形

（2）PMC工艺　该工艺隶属于脉冲工艺范畴，是一种优化过的脉冲电弧。熔滴过渡发生在受控的短路阶段。相比传统的GMAW脉冲电弧，PMC电弧更短、更集中，通过精准调节和优化的脉冲特性增加了焊接过程的稳定性，在“恒熔深”和“等弧长”功能的配合下在使熔深更均匀的同时提高了焊接速度（如果焊枪与工件之间的距离发生变化，“恒熔深”功能将自动修正送丝速度，以获得恒定一致的熔深。“等弧长”功能控制电弧长度一直保持尽可能短）。

PMC工艺具备下面的电弧特性：①由于短路辐射损耗小，具有更高效率。②由于电弧集中，焊接形成更大熔深。③由于电弧集中，热输入更低。④更低的咬边倾向。

在PMC工艺基础上衍生出的新工艺包括：PMC MIX Drive（PMC工艺周期带一次焊丝回抽）、PMC TWIN（PMC +PMC）。

脉冲工艺波形和PMC工艺波形如图2、图3所示。传统脉冲工艺，熔滴在进入熔池前并不会于熔池接触，焊缝成形会因工件表面以及焊接速度的变化而受到影响。Fronius PMC工艺延续脉冲工艺优势，在熔滴分离的同时与熔池相接触，从而能够检测整个焊接回路并将电弧调整至理想状态，确保焊接过程稳定可控，实现极低热输和极高的焊接速度。

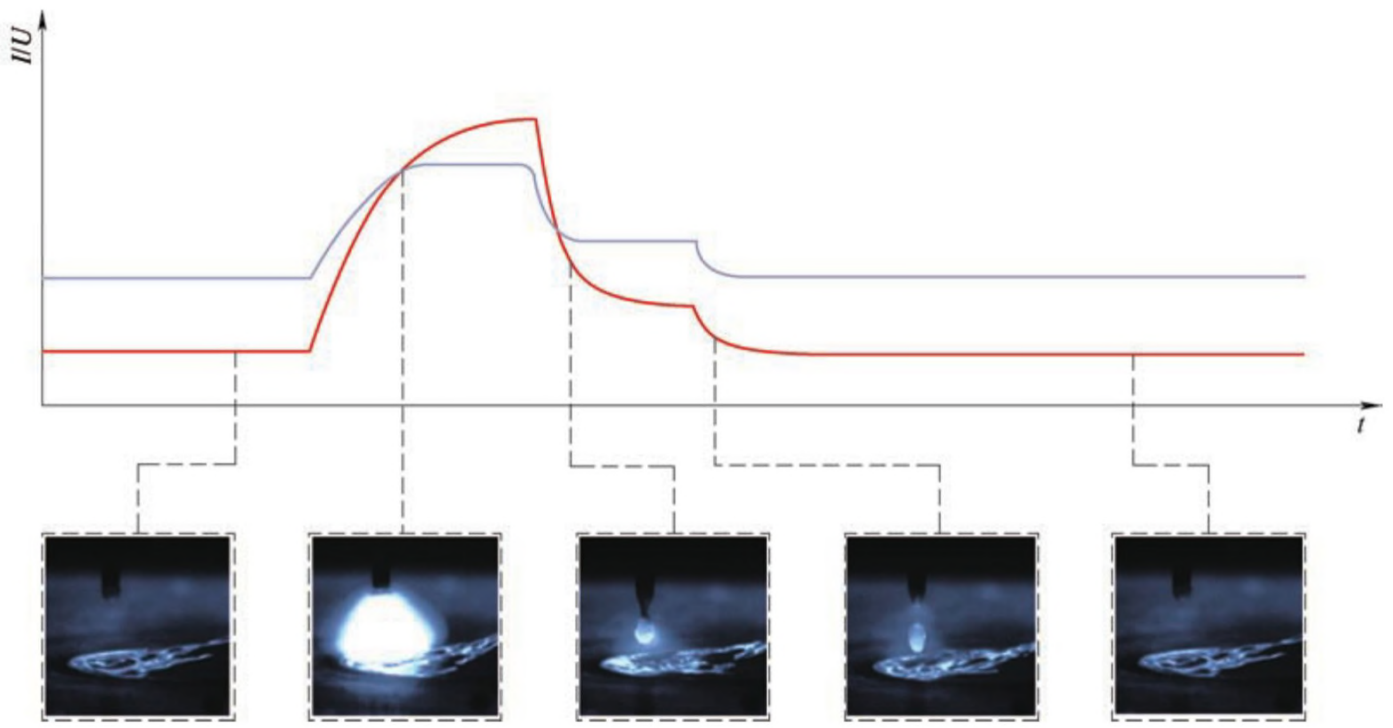


图2　脉冲工艺波形

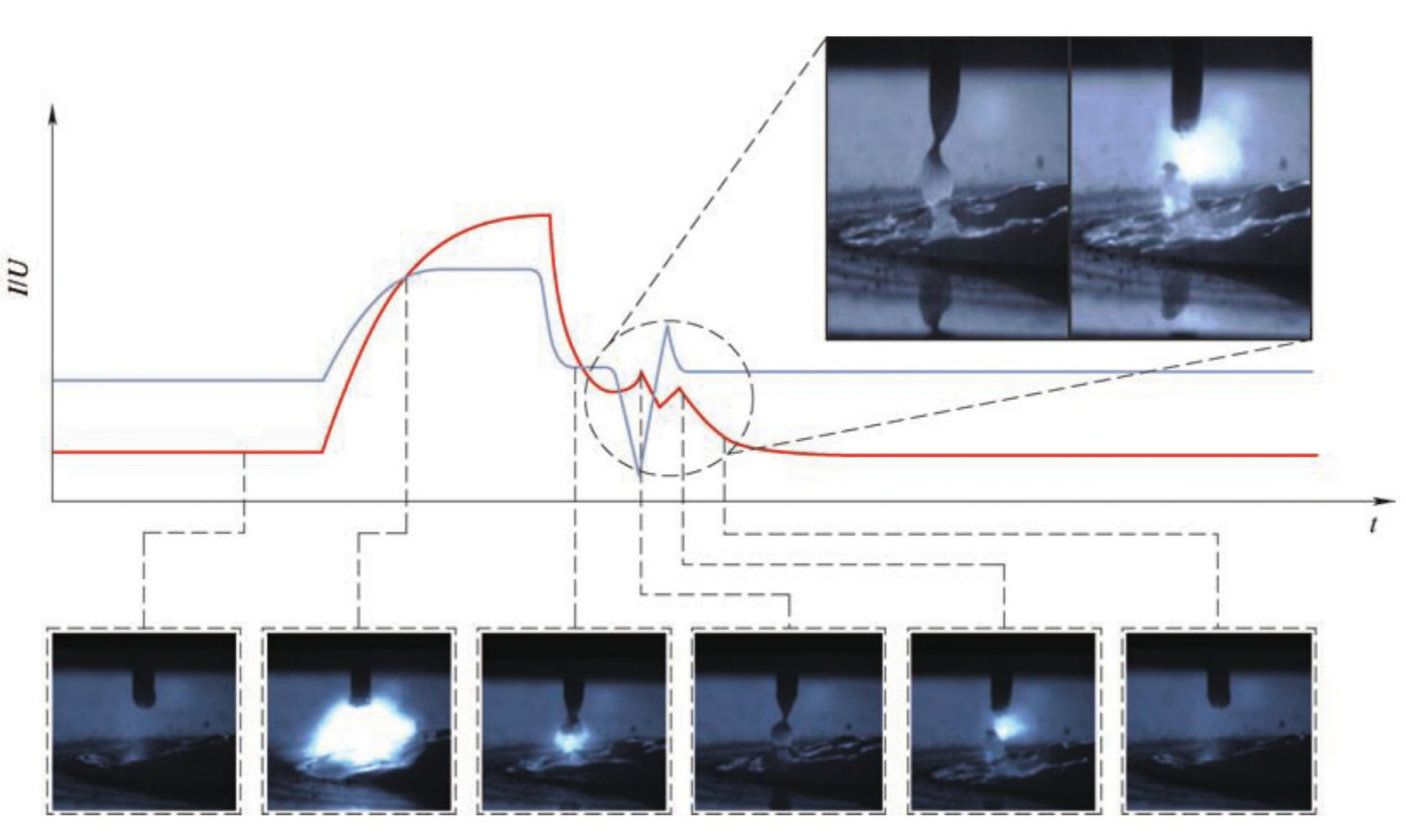


图3　PMC工艺波形

（3）CMT工艺　诞生于2005年的CMT冷金属过渡工艺，具有极大可控性的熔滴过渡过程使其成为GMAW中极具代表性的工艺之一。Fronius伏能士全新一代TPS/i智能焊接平台为CMT工艺带来全新可能和应用空间，CMT在秉承原有CMT电弧特性的同时大幅扩大了工艺窗口，并能够焊接更厚的板材，使CMT摆脱“薄板”标签。此外，焊接系统内部通信速度的大幅提升，也使得焊机CPU处理焊接信息更快速、高效。

新的CMT有如下特性：①电弧更稳定。②回抽频率更快。③几乎无飞溅。④更高焊接速度。⑤极佳的间隙搭桥能力。⑥焊丝回抽几乎没有电流、电压，热输入极低。

在CMT工艺基础上衍生出的新工艺包括：CMT MIX (CMT+PMC)、CMT Cycle Step 、CMT Braze +。

CMT是一个全程受控的短路过渡过程，极其精准的控制赋予了该工艺非常强大的功能，当熔滴逐渐长大接触到熔池时，焊机马上做出反应，让小电动机反转使焊丝回抽，此时电流、电压几乎为零，熔滴在进入熔池的同时避免了爆断的发生，然后又进入下一个周期，循环往复，极大地降低了焊接飞溅。CMT工艺波形如图4所示。

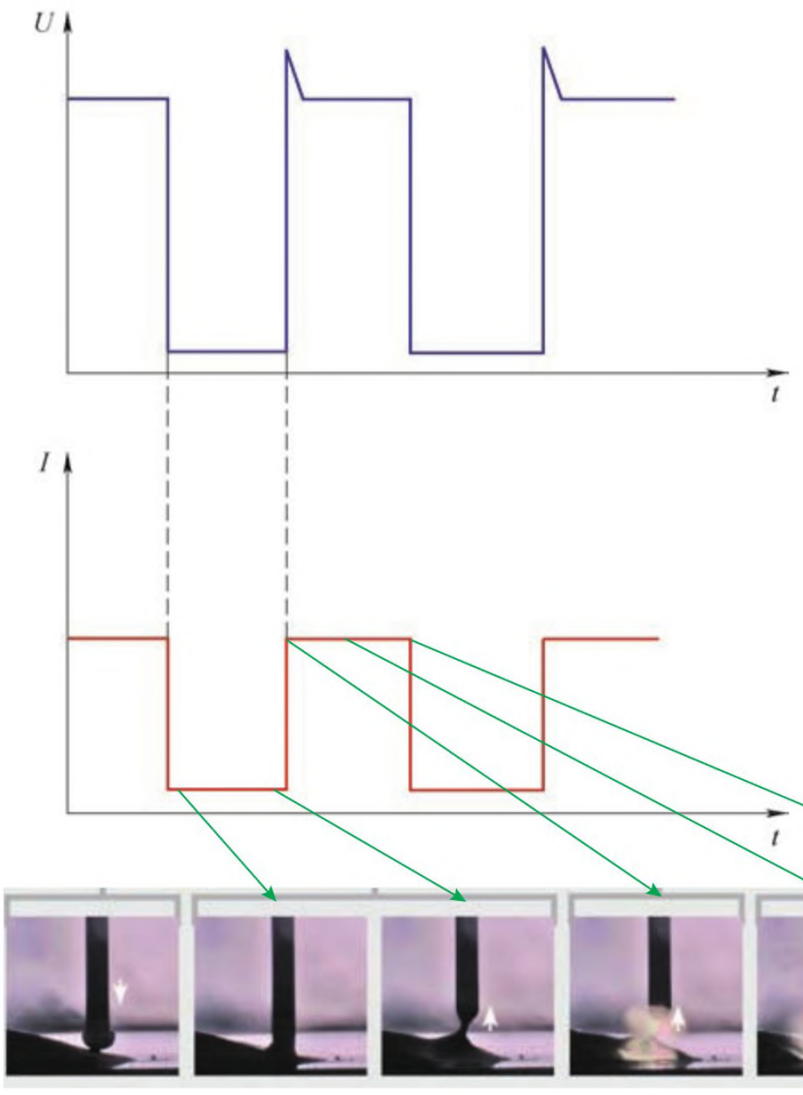
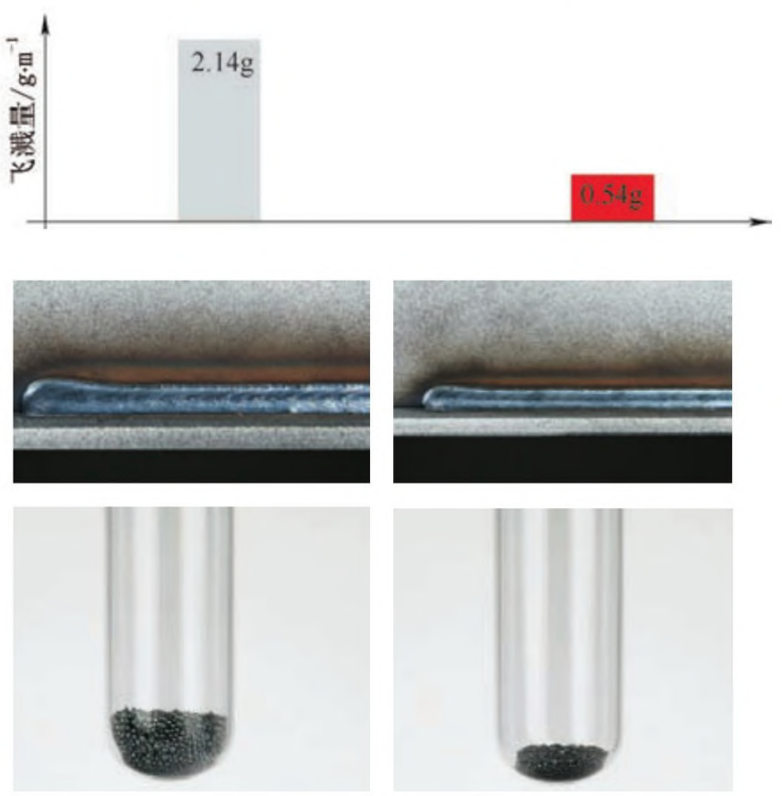


图4　CMT工艺波形

3　TPS/i智能焊接平台先进工艺的应用

（1）LSC工艺的焊接应用　该工艺适合5mm以下材料的焊接（不适合铝合金和镁合金材料），焊接速度与传统的短路过渡工艺类似，但具有更低的飞溅量，适合全位置焊接，如图5所示。



a）标准工艺　　b）LSC工艺

图5　LSC工艺

从图5可知，在相同送丝速度6m/min情况下，LSC工艺的焊接电流是128A，电弧电压是18.2V；短路过渡工艺的焊接电流是140A，电弧电压是18.6V，在焊接1m焊丝后产生的飞溅分别是0.54g、2.14g，减少了约3/4的飞溅量，焊缝外观更平滑均匀。

（2）PMC工艺的焊接应用　该工艺适合厚度≥2mm材料的焊接，尤其适合镀锌板焊接。图6和图7分别采用普通的脉冲工艺和PMC工艺焊接镀锌板，焊接速度都是1m/min，送丝速度也都是8m/min。在高达1m/min的焊接速度下，由于PMC短弧脉冲工艺+弧长自适应具有更短、更稳定的电弧，因此焊缝成形美观；而传统脉冲工艺焊接的焊缝无法获得均匀连续的焊缝成形。PMC工艺焊接镀锌板焊缝的熔深如图8所示。

图6　普通的脉冲工艺焊接镀锌板

图7　PMC工艺焊接镀锌板

图8　PMC工艺焊接镀锌板焊缝的熔深

用传统脉冲焊接镀锌材料会出现大量气孔，PMC搭配“等弧长”功能可最大程度地确保电弧的稳定性，如果有任何干扰发生也能立即进行自动调节，这就极大地克服了锌蒸气从熔池逸出时带来的不良干扰。

PMC Mix Drive是在PMC工艺周期里有一次焊丝回抽，在追求极致焊缝外观上所表现出来的优异性能：极佳的鱼鳞纹，完全等同于氩弧焊的外观成形（见图9），熔深一样出色，非常适合焊接铝合金，由于热输入相比CMT大，因此能焊接更厚的铝材。

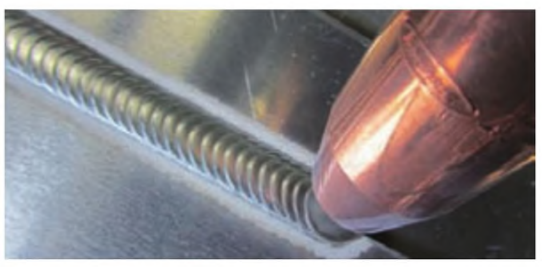


图9　PMC Mix Drive工艺焊缝成形

PMC工艺还衍生出另外一种高效工艺——PMC TWIN 双丝焊工艺，最大熔敷效率高达30kg/h。

两台TPS 600i在100% 暂载率的条件下可提供高达500A的输出（见图10）。所有外围的配件（中继线、焊枪和送丝机）都设计为可承载1000A、100%暂载率。紧凑型的二合一送丝机可以在每条工艺线上实现高达30m/min的送丝速度。总电流超过800A，熔敷效率超过20kg/h的双丝焊是这套系统的典型焊接参数。单从焊接效率而言，可以实现1+1＞2的效果，即一套双丝焊系统的焊接效率大于两台单电源焊接系统总的焊接效率，配备水冷焊枪。此外，通过更换易损件可以快速改变导电嘴之间的角度，也可以通过换枪器自由实现双丝焊枪到单丝焊枪的更换。

图10　双丝焊系统

图11是PMC Twin工艺焊接的钢结构产品，超强的控制力可以让主从弧的焊接电流自由地组合，电弧始终如一地稳定，抗干扰能力也很出色。该工艺采用Fronius新型电源技术，从引弧阶段一直保持到收弧，无论参数是否变化或受到干扰，两个电弧都可控且做到协同。这为双丝焊扩展工艺窗口的同时，也为焊缝成形提供新方案。

图11　PMC Twin工艺焊接的钢结构产品

（3）CMT工艺的焊接应用　该工艺的焊接应用非常适合厚度≤6mm的材料，无论是碳素钢、不锈钢、铝合金、镁合金，还是镍基合金、高强钢等材料都有非常出色的表现。0.7mm镁合金板（AZ31）对接焊缝（单面焊接双面成形）如图12所示。3mm镁合金板（AZ31B）的搭接焊缝（ϕ1.2mm、AZ31焊丝、纯氩保护气）如图13所示。

镁合金质量较轻，熔滴易受保护气影响，在过去通常使用TIG工艺进行焊接。相对而言熔化极气

CLOOS焊接技术

李玉龙

卡尔克鲁斯机器人科技（南京）有限公司　江苏南京　211106

摘要:在CLOOS品牌下我们研发、生产并销售各种创新解决方案，100年来行销全球40多个国家。我们一直专注于各种创新的焊接和切割工艺。无论是厚或薄，还是铝或钢——克鲁斯总能为每种需求找到最理想的工艺。旗下子品牌QINEO为高端焊接电源，每台电源都包含多种焊接工艺。另一子品牌QIROX专门根据顾客需求定制全自动的机器人解决方案，其中囊括了机器人本体、变位机及所有的配套设备。生产深度、产品广度、创新力度是支撑了克鲁斯强大自信的三座基石。焊接技术、机器人本体、控制系统、变位机、软件直至传感器都由克鲁斯独立研发生产，严格把关。

关键词：CLOOS；焊接和切割；QINEO QIROX；自动化焊接

1　品牌历史

1919年，CLOOS由工程师卡尔·克鲁斯先生在德国锡根市（Siegen）成立了以自己名字命名的焊接公司，主要生产乙炔气体发生器及自体焊枪。1924年公司迁至德国海格尔（Haiger）。1948年启用新生产线来生产焊条及焊接设备。1956年实现创举性突破，工程师埃尔文·克鲁斯成功研发了CO_2气体保护焊技术。1958年机器人焊接崭露头角，成

体保护焊在镁合金的焊接中仍处于探索阶段，CMT工艺中熔滴的精准送进与回抽特性正好解决了镁合金焊接的痛点，让镁合金的MIG工艺焊接变得可控和稳定，因此镁合金的焊接将会得到越来越广泛的应用和普及。

图12　0.7mm镁合金板（AZ31）对接焊缝

图13　3mm镁合金板（AZ31B）的搭接焊缝成形

（4）CMT Braze+工艺　该工艺是一种可与激光钎焊相媲美的MIG CMT高速钎焊。白车身侧围落水槽的CMT Braze+钎焊（0.8mmCuSi3焊丝，纯氩气保护，焊接速度高达3m/min，焊缝余高可控制在0.5mm以下）如图14所示。

图14　白车身侧围落水槽的CMT Braze+钎焊

4　结束语

Fronius伏能士TPS/i智能焊接平台中除了上述的几种工艺外，还搭载了很多新的工艺和功能，如恒熔深功能（颠覆传统熔化极气体保护焊中的等速送丝为变速送丝）、弧长自适应功能、大数据管理功能、深熔工艺PMC PCS、适合立向上焊的PMC MIX工艺，以及弧焊打标的Marking工艺等。以上焊接应用工艺，可满足客户大部分产品焊接需求。

MW 20201115