

冷却剂

复合材料加工跨越边界

尽管复合材料的传统加工方法是干加工,但新的冷却剂技术已经证明可以防止材料分层,延长工具寿命和降低健康风险。

文 | Barbara Schulz



更多精彩请扫描二维码

跨越不同的界限和创造新纪录是人类的本性,例如在 100 m 短跑中跑出前所未有的速度、飞向更遥远的太空和进入新的领域。速度可以让人上瘾,就像爬山一样,爬得快是一种荣誉,而碳纤维加强型塑料 (CFRP) 的应用正影响到各种应用爬到顶峰的速度。这也解释了为什么 CFRP 材料用于飞机、1 级方程式赛车和高端自行车部件并不令人意外。实际上, Bugatti Chiron 顶级跑车除部件外,整个车身也是采用 CFRP 材料制造的,不但降低了车的重量,并且让车速高达 261 mph。

然而,尽管金属零件可以在几秒钟内完成冲压,但 CFRP 制模和固话可能需要花费几分钟时间。另外,长期以来的 CFRP 加工方法要耗费大量加工时间,并且导致成本增加,这一点与纤维材料本身相似。

CFRP 的一条通用加工“定律”是不能使用传统的冷却液,尤其是以石油为原料的冷却液。其中的道理是担心这些冷却剂会降低材料的机械属性,这也解释了为什么几乎所有复合材料加工传统上都采用无水操作。

总部位于德国 Dusseldorf 的 Capricorn 也采用了这种方法。Capricorn

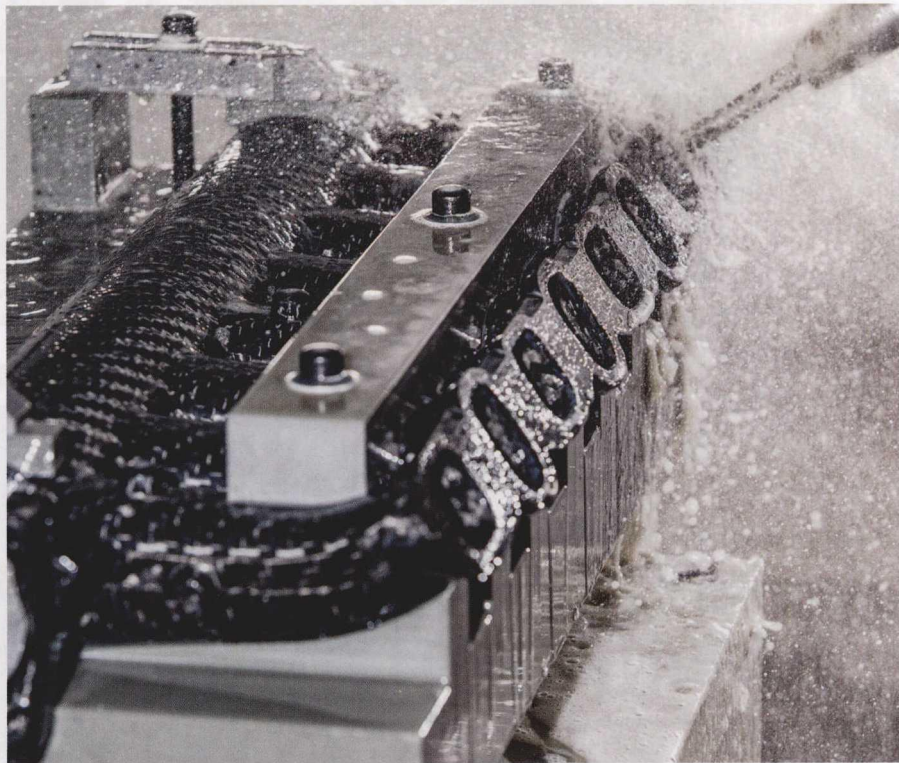


图 1 使用专用冷却剂显著缩短了加工用时并延长了工具寿命,提高了零件质量,使用总部位于 Dusseldorf 的汽车行业专业供应商 Capricorn 的五轴机床加工的碳纤维加强型塑料 (CFRP) 进水管就是一个例子

是一个汽车行业的专业供应商,拥有六个工厂,这六家工厂分布在欧洲四个国家。Capricorn 还为赛车行业和奢侈品行业的顶级汽车制造商 Bugatti 制造纤维复合材料及混合材料部件。

直到约一年前, Capricorn 只采用干燥模式或最小量润滑 (MQL) 方式加工复合材料部件。然而,它投资购买的 FZ33 Zimmermann 数控加工研磨机为湿加工铺平了道路。Capricorn 与一家位于

德国 Mönchengladbach 的高性能润滑油和润滑脂专业制造商 Rhenus Lub 合作，在加工工艺中试验和应用冷却剂，提高了零件质量、缩短了加工用时，降低了成本并提高了操作人员的安全性。

消除健康危害

CFRP 切割过程中释放的粉尘应当特别关注，大量细小颗粒会对车间工人的健康造成不利影响。为了避免危害员工健康，雇主必须在工作场所安装通风系统和过滤系统。“这种设备的成本很高，但为了提供足够的纤维粉末保护必须安

装。” Rhenus Lub 研发团队成員 Anna Lena Demmerling 说道，“它对于机床维护也至关重要，碳尘可以导电，可能影响电气零件，增加主轴的磨损。使用冷却剂可以将灰尘聚集在一起，提高健康和安全条件并确保流程负责人和机床操作人员最大程度接收工艺。同时，冷却剂的特殊冲洗特性可以保持机房清洁。”

事实上，Capricorn 现在可以进行无尘加工，对于研磨机操作人员 Tobias Lussi 非常重要。“粉尘颗粒不会再产生健康危害了，因为它们都被冷却剂聚集到了一起。这样我的工作变得很简单，现

在完全可以在加工操作完成后直接打开机床，而不再需要等到粉尘全部被抽空。”

干加工的陷阱

由于碳纤维强度高，难以切割，所以进行干加工时，它的低导热性和蓄热性迫使操作员工采用较慢的切割速度，以保持产热和热处理之间的平衡在可接受范围。“另外，CFRP 铺叠成型很容易在钻孔出口侧产生分层，即便加工过程中的速度和进料速率比湿加工的可能进料速率低很多也避免不了这个问题。” Demmerling 说道。刀具会产生很大的应力，复合材料中包含的粗纤维会导致钻孔、铣削和研磨工具加速磨损和频繁更换。对于钻孔工作，孔的质量决定何时要更换或调整刀具。为了抵消这种严重的磨损，通常要使用多晶金刚石材料的高质量刀具或带有类金刚石涂层的刀具。使用这些刀具会增加成本，严重影响新材料的竞争力。

零件质量和孔质量的提高（例如制造机身时，CFRP 钛材料的盘旋装置越来越受欢迎），刀具寿命的延长和二次加工的减少会缩短交付周期，显著提高生产力。

“湿加工工艺的使用已经得到了回报。” Capricorn 表示。“与干加工相比，我们可以把刀具寿命提高六倍。” Lussi 介绍说，“这样真的能节约很多成本。加工时间已经缩短，使用冷却剂之前，我们必须进行多次粗加工和精加工操作，才能实现最佳加工效果。采用湿加工后，我们将这些操作缩减为一次粗加工和一次精加工。”

那么，如果使用切割液体可以显著缩短加工用时、提高加工质量和延长刀具寿命，为什么大家仍然普遍采用复合材料干加工呢？Demmerling 表示主要原因是还没有合适的研究和测试可以确保湿加工流程不会降低材料的机械属性。

专为纤维加强型塑料设计的冷却剂

为了发挥湿加工的优势，Rhenus

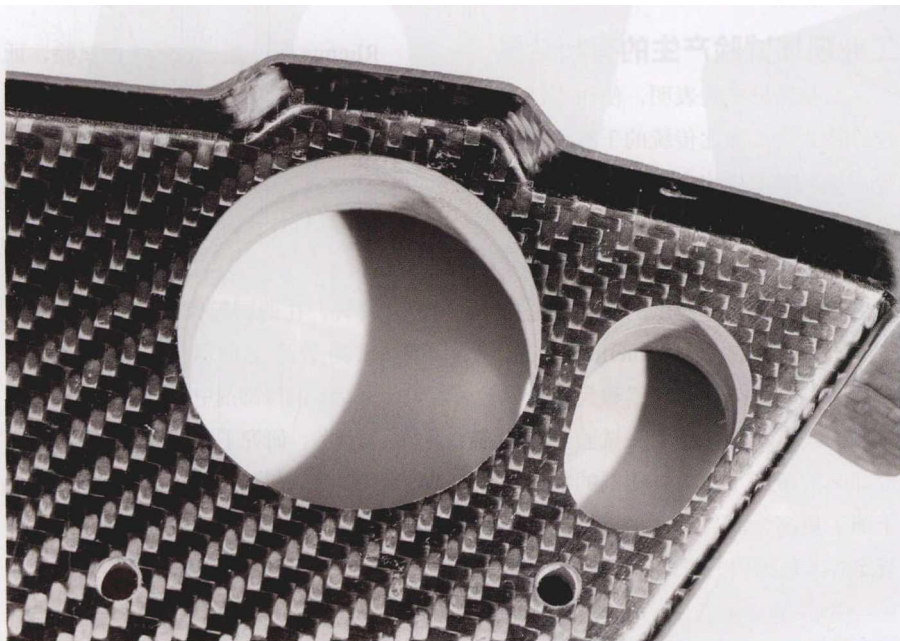
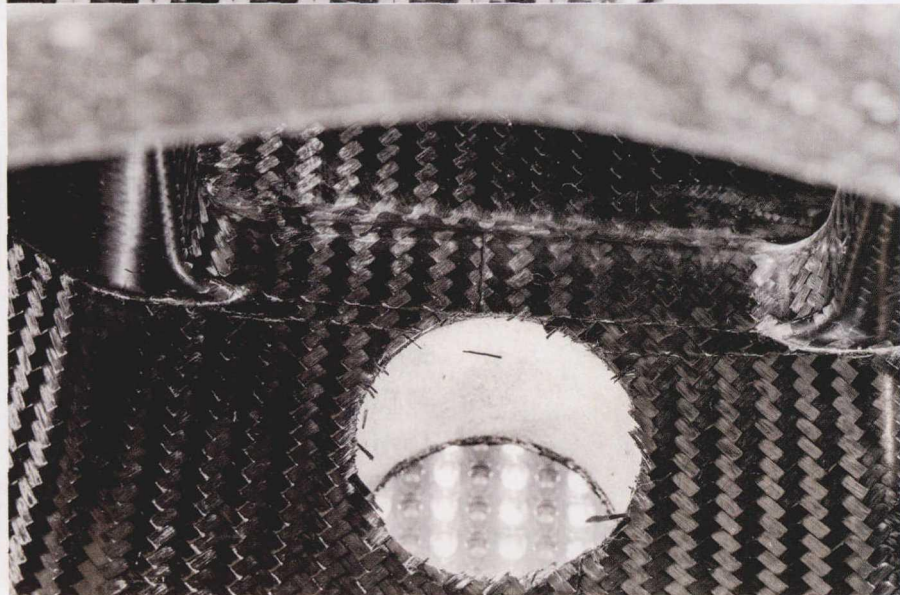


图 2 将冷却剂用于 CFRP 的钻孔操作时，质量提升很明显：无分层现象（如顶部的图片所示）这意味着质量更好，不必再进行成本高昂的后处理操作

Lub 公司决定研制专门用于纤维加强型塑料持续加工的冷却剂。

“我们已经使用冷却剂对 CFRP 加工进行了一端时间的试验，并且从研究项目开始阶段就与强大的合作伙伴开展合作，共同完成这项创新项目。” Rhenus Lub 的冷却剂研发主管 Hans Jürgen Schlindwein 说道。Rhenus Lub 公司与茨维考应用科技大学的研究和转移中心合作，对新开发的冷却剂进行试验，在生产环境下通过可持续性试验检查工具和工件的耐磨性和加工质量。Rhenus Lub 还与德国航空航天中心（Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt, DLR）密切合作，共同开展材料和兼容性试验。

最早完成开发的产品是专用冷却剂 Rhenus XY 190 FC 和 Rhenus XT 46 FC。前者具有水溶性，完全采用合成配方，专为 CFRP 和（玻璃纤维加强型塑料）GFRP 而设计。Rhenus XT 46 FC 是一种水溶性冷却剂，也可以用于铝、钛合金和钢材料制造的复合材料或堆叠工件。

按照 Rhenus Lub 提供的信息，工业试验表明，使用专用冷却剂加工 CFRP 和 GFRP 对于切割和钻孔质量、单孔成本、加工成本和浪费成本以及其他关键的加工费用均会产生直接的积极影响。

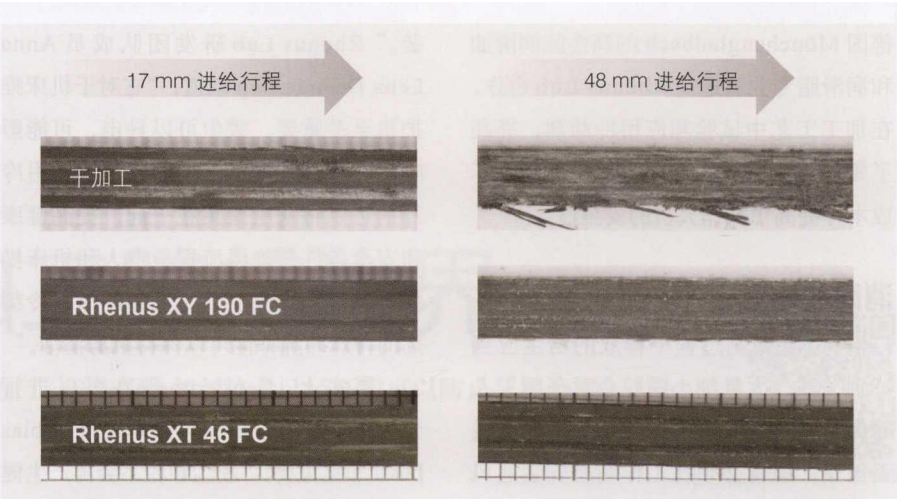


图 4 使用和不使用冷却剂进行研磨后的表面质量

工业现场试验产生的有利结果

工业现场试验表明，使用冷却剂进行 CFRP 加工相比传统的干加工具有优势。与干加工相比，使用冷却剂可以将刀具寿命延长多达四倍，将进料速率提高 60%。“专用冷却剂具备高散热性和出色的润滑性能，产生的切割数据是干加工无法比拟的。” Demmerling 说道。

使用冷却剂后，加工和尺寸精度也有所提高，如图 3 所示。试验表明，在冷却剂的帮助下，刀具切割的准确度比干加工更高，而且尺寸稳定性数据落在规定容差范围内的时候更多。

Rhenus Lub 还进行了铣削试验，证明了湿加工对表面质量的提升（图 4）。进行干加工时，铣刀完成 48 mm 进料的切割后即发生分层，而 Rhenus 冷却剂却避免了分层，进而消除了成本高昂的后加工。

另外，在德国航空航天中心的帮助下，采用最恶劣的条件（将 CFRP 在 -50℃ ~ 60℃ 的冷却剂中存放一周）进行了一系列试验，研究了冷却剂和 CFRP 之间的相互作用，结果是很乐观的。Demmerling 表示：“加工过程中短时间停留和使用冷却剂不会改变 CFRP 的材料属性，并且没有迹象表明冷却剂渗入了复合材料。”

对于 Rhenus Lub 团队，未来一定会使用冷却剂进行复合材料加工。“既然这样加工 CFRP 更经济，而且不会对健康或这些优秀材料的持续竞争力造成风险，我们就必须承认，使用冷却剂将是未来很长时间内的唯一选择。” Schlindwein 博士说道。

对于 Capricorn 来说，他们的许多部件采用湿加工也是最佳选择。“使用冷却剂让混合材料的加工变得简单多了。” Lussi 说，“一般来说，铣削操作和钻孔在不改变进给率时，不会给我们造成麻烦。然而，对于 Capricorn 最重要的是部件质量，采用湿加工可以显著提高部件质量。纤维不像之前进行干加工时那样容易破损。” MM

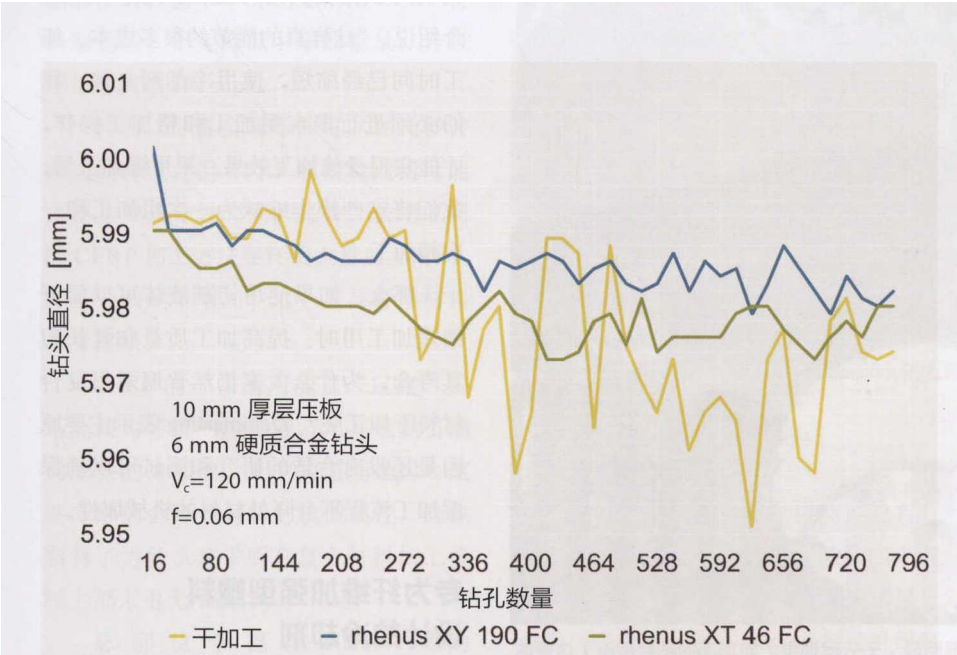


图 3 CFRP 钻孔操作的加工精度