轧辊表面毛化的创新

波米尼数字毛化™（PDT™）是基于激光技术开发用于轧机工作辊的表面毛化。此创新技术能够实现各种类型的表面精加工，包括了先进的表面毛化，从而优化轧机的性能以及客户加工时板材的性能和成品的性能。

作者: Niccolò Drago、Rick McWhirter、 Massimo Cavallari 和 Claudio Trevisan
Tenova S.p.A.

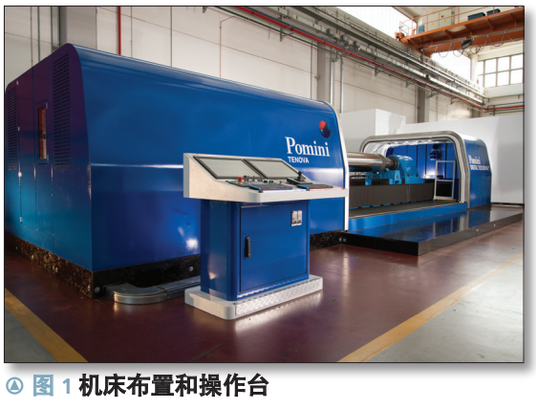

图 1 机床布置和操作台

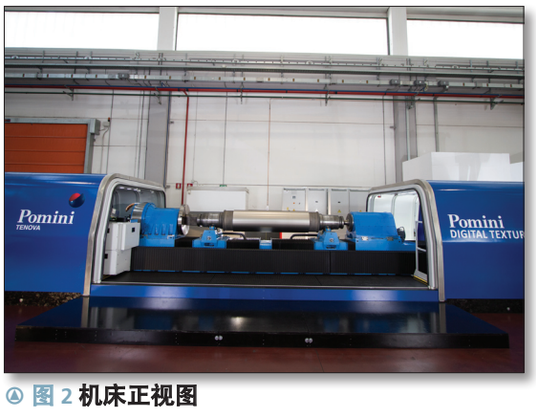

图 2 机床正视图

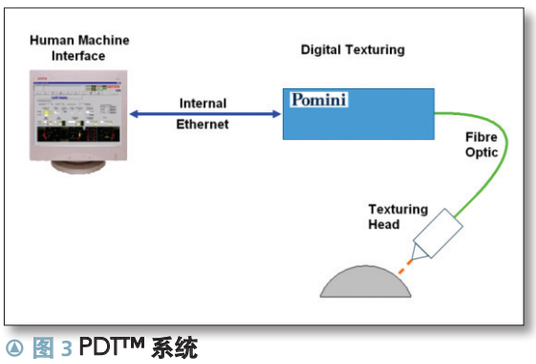

图 3 PDT™ 系统

冷轧板材的表面毛化对于许多高规格产品非常重要。可以归为三个主要的类别：

- **经改进且更一致的钢板表面外观 毛化可以减少波纹度**，因此提升了汽车外壳板材或室内应用中光线与表面轮廓的交互作用效果。它也提升了板材纹理的视觉连续性，例如在建筑应用中使用的大面积板材。
- **增加油漆和其它涂料的附着力**
- **通过更好地保持表面润滑剂而改进板材的可成型性 在深度冲压应用时板材表面的微观颗粒保持了润滑剂，**从而减少了模具磨损并增加了冲压能力。主要例子包括生产二片饮料罐、洗碗槽的接水碗以及用于现代车辆中越来越复杂而先进的高强度冲压件。

板材打毛

有一定数量可以测量的微观几何形态参数会影响技术性能标准。一些会影响涂层和成型时的性能以及板材最后的外观。它们是：平均粗糙度(Ra)、粗糙度峰计数(Rpc)、粗糙度偏斜(Rsk)以及平均波纹度(Wa)。Ra对于涂层和成形很重要，Rpc影响外观，因为它显示了表面是光滑或粗糙，Rsk描述峰值相对谷值的数量是对引起摩擦的特性的测量，而Wa对外观产生最大影响，因为它是毛化可见的部分。

毛化是由光整机和精轧机的轧辊传递到板材的，因此轧辊毛化设计非常关键，这样才能在板材表面产生要求的参数，在整个表面上具有接近的公差和一致性。还需要具有在广大范围的各种精加工进行毛化的可能性。轧辊毛化的主要工艺如下：

- **喷丸毛化(SBT)**是用于冷轧机轧辊毛化的最常见的技术，类似于喷丸去除铁锈和鳞片等。这是复杂程度最低的工艺，但是由于缺乏一致性，因此对于大多数优质应用已不再适用。
- **电火花毛化(EDT)**是大约40年前发展起来的，改编于电火花加工(EDM)。机器通常使用几个电极并需要专门的电路和介电油。轧辊毛化是一个或多个径向布置的伺服控制电极多重瞬态火花放电的结果，通过一般为石蜡的介电油电极设置为轴向地扫描旋转的轧辊。

2.3 MSC17-10 NEW.indd 58 5/11/17 14:52:55

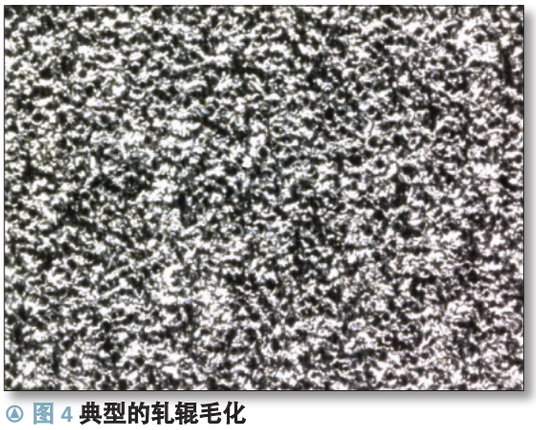

图 4 典型的轧辊毛化

- **激光毛化(LT)** 通过使用一系列镜子并由镜头聚焦使用 CO_2 激光柱直接并聚焦于轧辊表面。机械‘断波’轮将激光柱截断为一系列规律脉冲以产生特定的绕轧辊的连续螺旋弧坑与尖峰图案，具有相对较低的粗糙度峰计数(Rpc)值。
- **电镀铬化(ECD)**是基于六价铬工艺，将一系列铬颗粒沉积到轧辊表面以生成想要的毛化。这需要一个长工艺过程以实现表面毛化、硬度和涂层粘附性的适当组合。

所有这些工艺都有着技术限制并通常需要额外的后期表面加工工艺如抛光以产生需要的表面，因此波米尼开发了一款可替代，经改进的激光毛化工艺：PDT™。

波米尼数字毛化 – PDT™

得益于其轧辊间及其辅助设备的件卓越设计和制造水平， 波米尼特诺恩一直是标准化和高度自动化的交钥匙轧辊间的领先供应商。作为对上述毛化方法局限性的回应，该公司开发了创新的毛化机床用于冷轧工作辊，并发挥出独特优势。这些毛化轧辊的质量得到许多用户的赞赏。

图 *1*和*2*显示了该机床的两个视图。

波米尼数字毛化™ 工艺是基于激光系统加上内部软件技术以生成毛化矩阵并控制高频激光用于毛化（参看图3）。激光技术是清洁高效的系统，并且虽然该技术并非新技术，但其一直在持续发展，这里使用的独特类型的高频激光特别适合于软件的切换和控制。

将这些技术匹配到高效的毛化系统要得益于高度可靠的激光源，该激光源已在大量的工业应用中得到验证。光纤传输系统给了毛化头的灵活定位并避免了聚焦和对中的问题。这种控制毛化坑和尖峰的特殊性能更好地定义了粗糙度和偏斜度。相应的，在轧机里实现了优化的粗糙度转移和磨损特性。典型的轧锟表面毛化如图4所示。

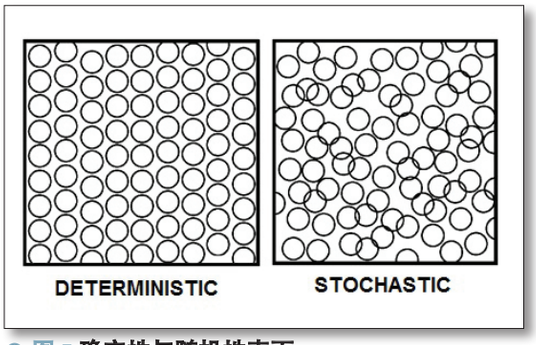

图 5 确定性与随机性表面

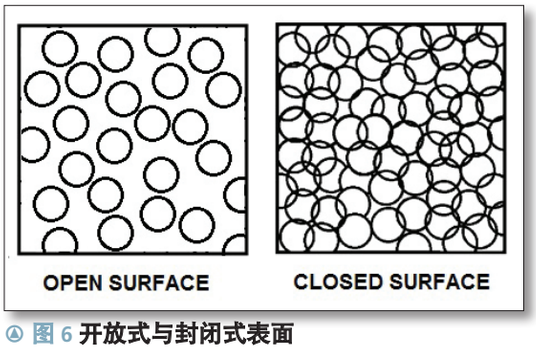

图 6 开放式与封闭式表面

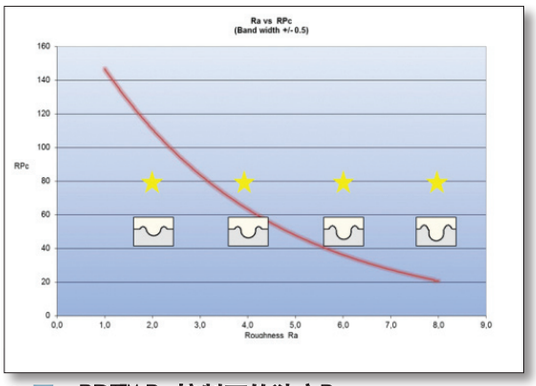

图 7 PDT™ Ra控制下的独立Rpc

2.3 MSC17-10 NEW.indd 59
5/11/17 14:53:12

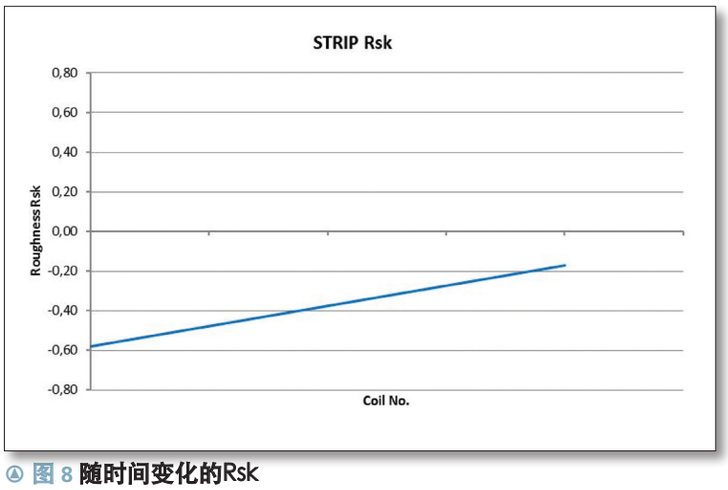

图 8 随时间变化的Rsk

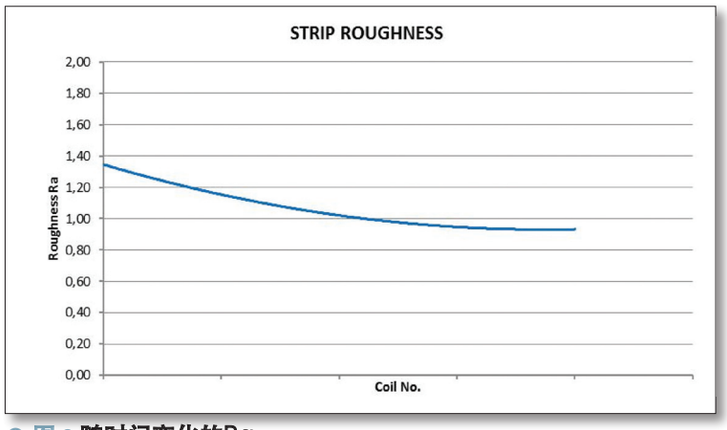

图 9 随时间变化的Ra

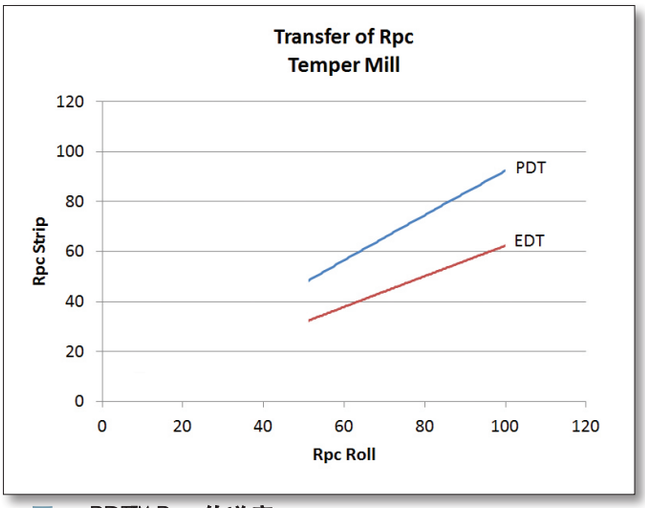

图 10 PDT™ Rpc传递度

表面毛化矩阵是软件控制的，能够生产的表面范围从确定性的（预先确定的图案）到随机性的（任意的）。表面毛化的密度和重叠度也可以被控制用来生产‘开放式’（无重叠的毛化坑）或‘封闭式’（重叠的毛化坑）表面。在图5中可以看到确定性的与随机性的区别，图6中可以看到开放式与封闭式的区别。

PDT™ 工艺具有强大功能，已被应用于许多不同的产品、质量等级和应用场合中。该机床设计仅需最少的维护；只有少量辅助系统，能耗非常低，从而相应地降低了成本。机床设计是全封闭的，为了最大的运行安全。

毛化类型

如上所述，PDT™ 允许高程度的控制并有能力复制已有的毛化或通过对轧辊和板材两者优化出的参数的特定组合以增强现有的毛化。相应地，工艺也能开发全新的毛化，这是以前不可能做到的。这些毛化可以控制轧辊表面的特征来生产板材，具有以下特性的组合，这些特性来自于以前的调查即在成型和喷漆过程中可以实现良好的性能：

- 轧制板材上的负偏斜（更少擦痕）
- 轧制板材上封闭空洞的优化分布（孤立分布而不是相连的）（改进油保有性）
- 融合了随机性和确定性的毛化，从而优化性能和外观
- 轧制板材的粗糙度值更低，有着稳定的可成形性
- 可达到最佳Rpc以减小轧辊磨损并实现更佳的油漆外观
- 更少不规则和更低图案波纹度。

各向同性并随机的毛化坑如图4所示。这个特别的表面类似于典型的电火花分布，但有着更好的毛

2.3 MSC17-10 NEW.indd 60 5/11/17 14:53:27

化坑与边缘定义从而导致了离散的毛化坑和显著的尖峰。这些非常适合为工作的轧辊提供非常好的毛化转移和磨损特性而无需后续处理，如同在电火花 工艺中通常的实践一样。

在这个领域总的趋势是减少平均粗糙度(Ra)并增加峰值数（Rpc）以改进涂漆外观。在电火花中，减少 Ra 和增加 Rpc 可减少波纹度，从而有助于改进涂漆外观。然而，已显示出更确定性类型的表面也能改善涂漆外观，因为其规律性更高，尖峰变化更少以及波纹度更低。研究也显示确定性的表面对于轧制板材的实际Ra和Rpc较少敏感。

使用较低Ra的工作辊可产生较低的轧制板材波纹度，因其与Ra成比例。由PDT™ 提供的从轧辊到板材的改进传递率允许使用带较低Ra和相应更低波纹度的毛化工作辊 。

毛化板材表面的孤立孔洞在成型时如同润滑油的小池。增加孤立孔洞的数量与体积有助于减少擦痕同时不影响摩擦系数。研究发现，带有较低Wa（平均波纹度）与负粗糙度偏斜的轧制板材(Rsk) 是高涂漆外观的优化外形。

与其他毛化系统不同，Ra、Rpc和Rsk的主要质量规格可以在 PDT™ 工艺中相互独立调节 图7显示了粗糙度和Rpc（红线）之间典型的相互依赖以及 PDT™ 达成的结果（金星），其粗糙度范围从2.0到8.0微米可以生成相同的毛化坑矩阵且Rpc为80。通过改变激光控制以生产增加了毛化坑深度和边缘高度，Ra增加，如图7所示在金星下面毛化坑外形草图里。

质量改进

在特殊的精轧机应用中要求改进Ra的一致性，产生负偏斜度板材表面并延长工作辊的使用寿命。在这个精轧机应用中理想的负偏斜度板材表面在整个轧辊寿命中得到保持，如图8所示。轧辊的使用寿命几乎是目前毛化和后期加工的工作辊的二倍并维持Ra高于0.8微米，如图9所示。这种毛化也在板材表面产生了数量增加的孤立孔洞，提高了油留存并将堆存期间油自卷板的外溢降到了最低，这种情况先前曾导致顾客的质量投诉。

一般来说，生成负偏斜的带材表面要求工作辊上有正偏斜，这不幸地会导致轧辊寿命减少。在此情形下，PDT™ 毛化的轧辊能够生产出所需的负偏斜带材表面，同时保持了所需的表面质量并显著了增加轧辊寿命。

使用 PDT™ 设计毛化的能力已在镀锡板应用中得到了非常成功的验证，通过实现期望的表面质量，同时有着非常一致的粗糙度辊形及延长的轧辊寿命。在单次和二次冷轧平整机上都获得了这些好处。

毛化的传递度，即轧辊毛化反射到带材上Ra和Rpc的程度，显示出是高质量的，一种超越已有的毛化方法的改进。尤其是Rpc的传递度非常精 ▷

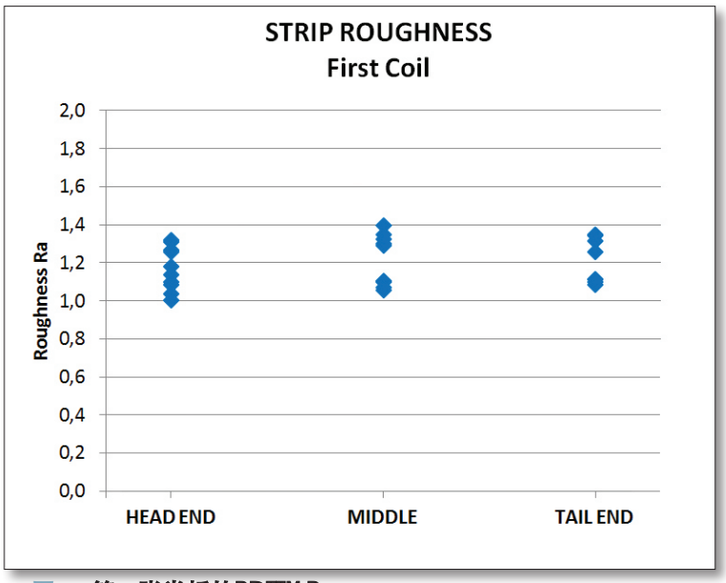

图 11 第一张卷板的PDT™ Ra

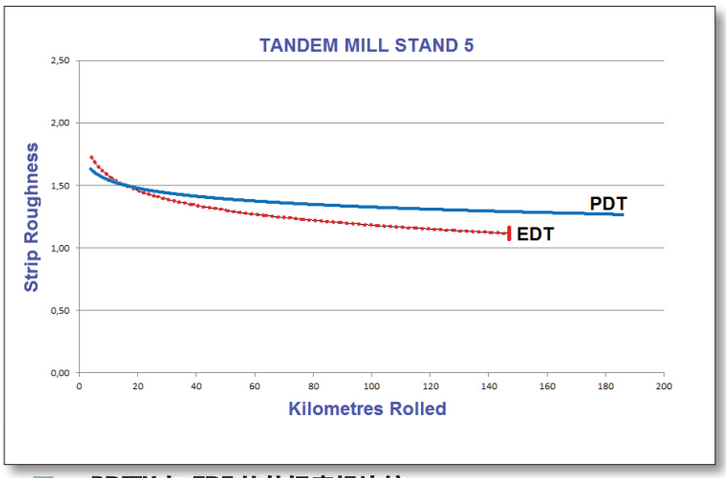

图 12 PDT™ 与 EDT 的轧辊磨损比较

2.3 MSC17-10 NEW.indd 61 5/11/17 14:53:37

确，甚至在复杂应用中都能达到几乎1:1。在图10中，可以看到与EDT 后续处理后在4辊平整机上无涂层材料轧制所达到结果的直接比较。此外改进了的传递度还减少了初始的Ra下降，使得轧辊通常能降低20%的Ra。PDT™ 轧辊的初始Ra下降发生在轧制的最初几米，然后在整个第一卷板材中表面质量和Ra都非常稳定。这在图11中显示，比较了新工作辊第一个卷材的头端、中间与尾端处粗糙度值的样品。

对于连轧机的应用，由于工作硬化带材材料非常坚硬，传递和维持需要的带材粗糙度在要求的质量规范内是关键的要求。在大多数应用中，使用 PDT™ 后轧辊的使用寿命明显增加。在图12中，轧辊寿命比典型的 EDT 轧辊寿命延长30%，而带材粗糙度在整个轧制中更为均匀。这主要是因为更广泛峰值的磨损性能和更好的传递性以及控制毛化坑的尺寸 之间 的组合。

结论

通过激光与波米尼数字毛化工艺的内部控制软件之间的结合，现在可以精确而独立地控制表面毛化的许多参数以优化工作辊与轧制板材两者的质量与性能。此工艺在生产中展示了非常好的结果。它改进了表面毛化的连续性并达到了质量规格，这是其它技术不可实现的，目标是即满足当前的质量要求又开发全新毛化以优化质量与性能。PDT™ 也基于表面毛化的质量参数提供差异化生产产品的能力。

对于钢铁生产商来说该技术其它的优点是清洁、安全、绿色和非常高效，产生的废料最少。进而，机器有着现代化设计特性以及最少的硬件组件，因其技术的大部分存在于控制软件中。MS

Niccolò Drago, Rick McWhirter, Massimo Cavallari 和 Claudio Trevisan 是意大利 Tenova S.p.A.公司员工

联系方式： pomini@tenova.com