

POSCO TRIZ 创新案例

线材制造工艺中的冷却问题

作者：Hongyul Yoon; Marino Kim (TRIZ Korea Inc.,Kyonggi-do, South Korea)

Chul-Min Bae (POSCO,Pohang,Gyeongbuk, South Korea)

编译：陈代巽（GET 集团成都分公司）

2003 年，世界领先的钢铁生产商之一的韩国浦项（POSCO）制铁，用了三个月的时间，圆满完成了 5 个 TRIZ 项目，这些项目的成功实施，使 POSCO 决定在 2004 年在其内部进行大规模的 TRIZ 理论推广。以上所述的 5 个项目中，有一个是关于线材生产过程中的冷却问题。为了占领新的市场，要求对线材生产过程的冷却工艺进行控制，以达到使其同时具有低的拉伸强度和薄的锈层。由于目前的工艺不能保证这两个特性同时满足，因此，需要对该工艺进行改进。

首先，利用问题分析器对问题进行根源分析，然后进行设备功能建模分析，从而形成冲突和最终理想解（IFR）。依据分离的原理，产生多种方案，通过对这些方案的评估筛选，从而得到最优的解。

POSCO 概况

2003 年，我们在世界领先的钢铁生产商之一的韩国浦项（POSCO）制铁，利用 TRIZ 理论为其解决了多个问题，POSCO 年生产钢量达 2600 万吨，足够每天生产十万辆小轿车所需的用钢量。POSCO 的产品种类很丰富，包括热轧钢、冷轧钢、电器用钢、不锈钢以及线材等。

从 2003 年七月开始，POSCO 就注重创新并发现 TRIZ 是一种能产生创意的好工具。作为 TRIZ 实施的先锋，POSCO 在三个月的时间内圆满实施了五个项目。IMC 创新软件平台中的问题分析器（Innovation Workbench）以及方案生成器（Researcher）两大模块极大地提升了工程人员的工作效率。经过四天的 TRIZ 理论培训后，工程师们开始应用 TRIZ 来解决他们的项目问题。

这是一篇关于如何应用 TRIZ 理论来解决线材生产过程中出现的问题的实际案例。

POSCO 年生产标准和特殊线材量约为 192 万吨，这些线材的用途非常广泛，可作为各种螺丝、钉子、弹簧、焊接电极、海底电缆以及具有高拉伸强度的螺母、螺栓、钢琴用线材、轮胎布帘、建筑用钢筋和其它精密仪器零件用的材料等。

这里所写的是一个与车轮布帘用线材有关的问题，是所有线材项目里面最有价值的项目之一。客户对具有不同性能的线材的需求量越来越大，这就要求对线材的采用一种新的生产工艺以满足客户的要求。

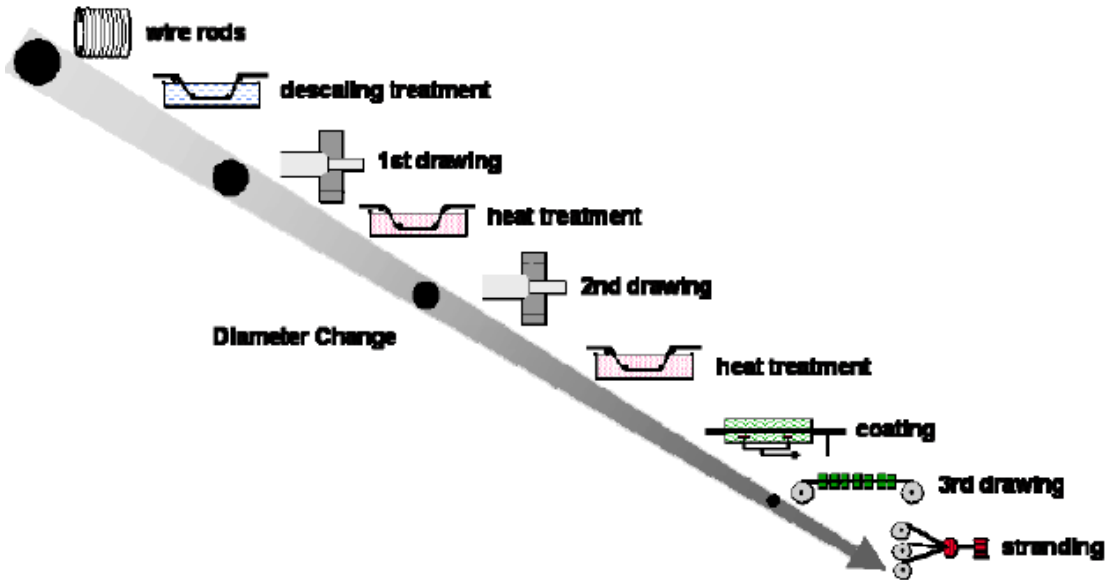
本文详细地阐述了如何应用 TRIZ 理论解决车轮布帘用线材生产过程的问题的整个过程。然而，基于保密的原因，略去了敏感的参数。

问题背景

客户需要一种在特殊工况下使用轮胎布帘。

线材的生产要经过以下几种工艺：如除锈、拉伸、热处理、上镀层、分股等过程，经过这些工艺，线材直径逐渐变小，最终达到设计值。整个流程如 Figure 1 所示。

Figure 1: a general process of making thin cords



客户向 POSCO 提出给他们供应具有不同性能参数线材的需求，其中有两个重要的参数是“拉伸强度”以及“锈层厚度”。这两个参数决定了线材的内应力和脆性性能。

POSCO 线材生产工艺中控制其拉伸强度和锈层厚度的工序是“冷却”这一环节，如 Figure 2 所示。这其中利用空气冷却是非常有效的方式。从 Figure 2 可以看到，首先把加热的线材放入至一个锥状的导向器，该导向器能把线材沿水平和垂直方向移动，线材经过导向器后，由吹风机向线材吹冷空气，吹风机安置于辊轴下方同时控制线材的冷却率。

Figure 2: “cooling” operation of wire rod production

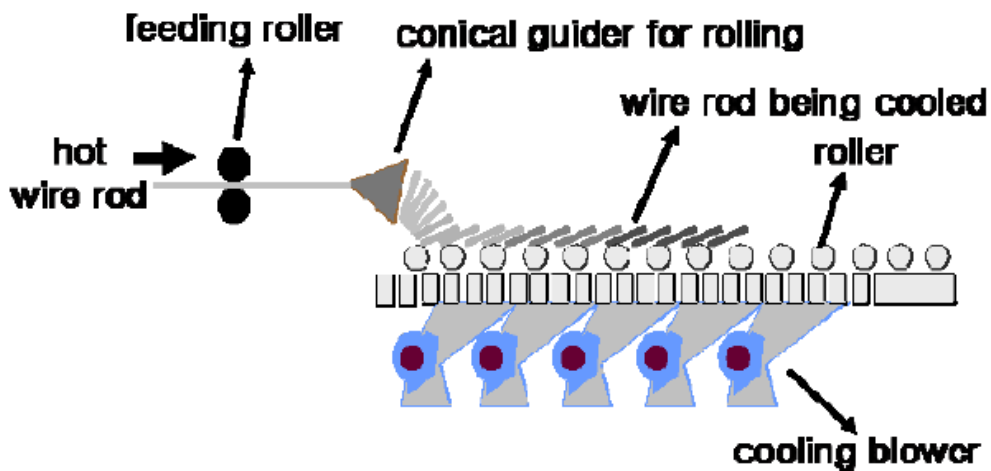
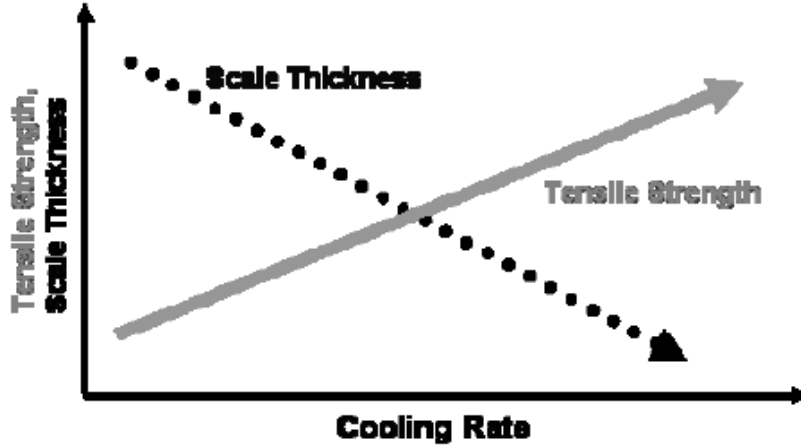
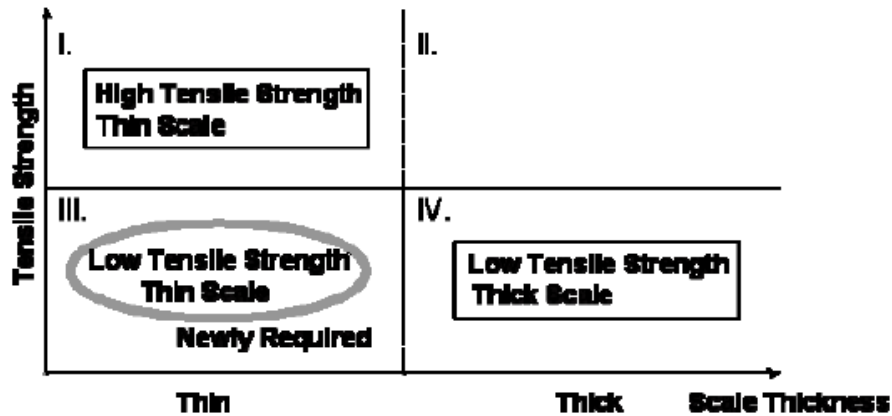


Figure 3: relationship among tensile strength, scale thickness and cooling rate



从 Figure 3 所示冷却率与拉伸强度（或锈层厚度）的相关性，可以看出，拉伸强度与冷却率成正比关系，而与锈层厚度成反比之关系。因此，如果我们希望得到具有高拉伸率和薄锈层的线材，只需提高冷却率就能达到；相反，如果客户需要低拉伸率和厚锈层的线材时，只需降低冷却率即可。

Figure 4: product domain of wire rods according to tensile strength and scale thickness



因此，我们可以得出如 Figure 4 所示的线材性能分类图。POSCO 现有的工艺只能提供两类产品：一类是具有高拉伸强度和薄锈层的线材，另一类则具有低拉伸强度和厚锈层的线材。

当前，市场上对线材有新的需求，要求既具有低的拉伸强度和薄的锈层。这样，目前的工艺则不适用了，如何解决这一问题呢？我们就从这里入手吧！

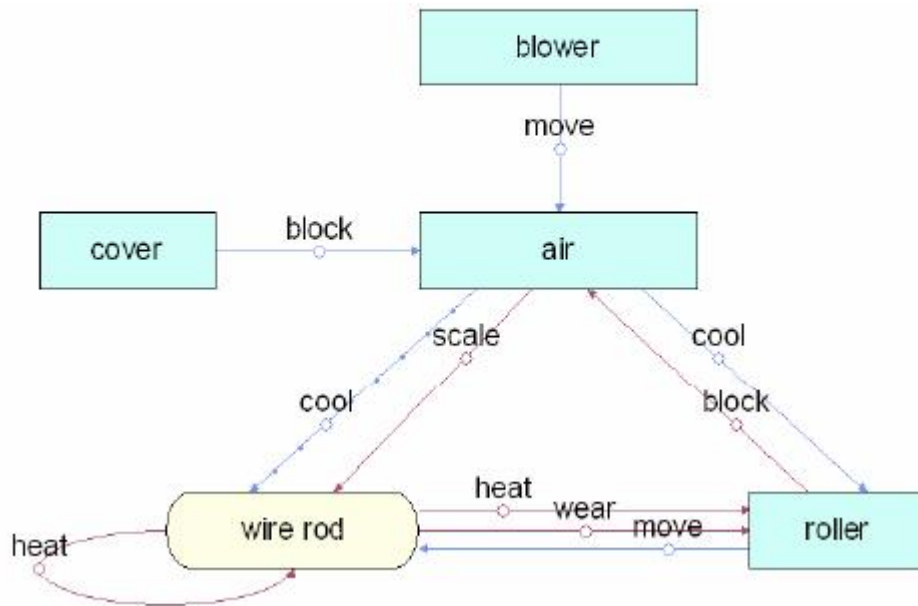
问题分析

TRIZ 理论结合创新平台，对问题的分析的方法有多种，包括：根原因分析（Root cause analysis）、设备功能建模（Function analysis）、工艺分析（Process analysis）等。

（1）设备功能建模（Function analysis）

为了进一步对整个工艺流程进行分析，我们建立一个设备功能模型。功能模型详细地说明了各个部件在冷却工艺过程中彼此之间的相互关系，如 Figure 5 所示。

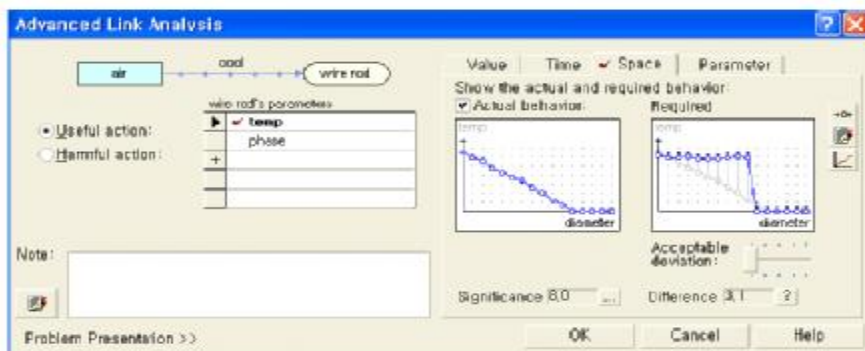
Figure 5: function analysis



对于“冷却线材”这一功能，我们作更进一步的分析，在这功能里，线材的温度与相会变化，在这里，只介绍与温度相关的参数，见 Figure 6。从该图表曲线可以看出，冷却过程中，线材从中心到表面的温度曲线是呈不断下降的趋势，亦即表面温度下降得较中心温度快。我们所希望的是：只在线材表面有温度的下降，中心到表面这一区域的温度呈同步的变化。

这样，我们就违犯了热导法则，自然的热量传导是一个连续变化的过程，而我们却要求线材整个横截面的区域无明显温度变化。

Figure 6: advanced link analysis



(2) 建立冲突

通过功能分析，我们得到了几组与线材冷却相关的冲突。工程师们凭借自己的专业知识归纳出线材特性与参数控制之间的关系。以下分别介绍四组不同的冲突：

冲突 1：气流量大，能避免发生氧化，但同时导致线材快速冷却。

气流量小，线材实现缓慢冷却，但同时加速了氧化过程。

冲突 2：冷却气体温度尽可能低，以防止氧化发生，但同时导致线材快速冷却。

冷却气体温度尽可能高，线材缓慢冷却，但同时加速氧化过程。

冲突 3：冷却率高，能避免线材氧化，但同时导致线材拉伸应力变大。

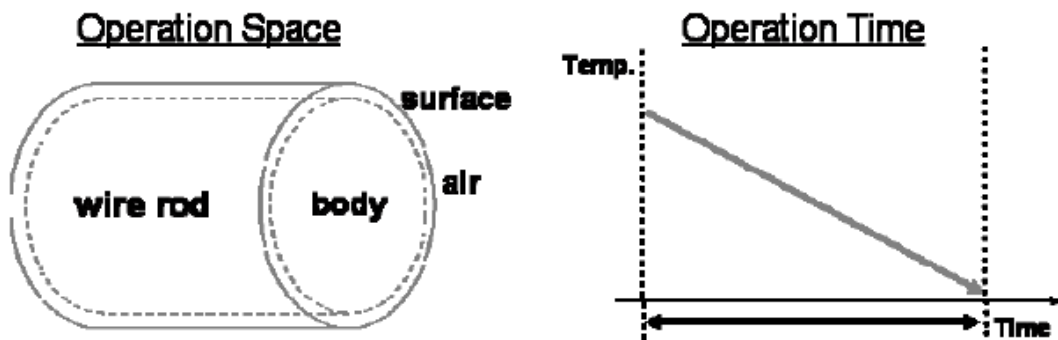
冷却率低，降低线材拉伸应力，但同时加速了线材的氧化过程。

冲突 4：线材温度低，以避免氧化，但同时加速了线材的冷却。

线材温度高，以降低线材的冷却速度，但同时加速了线材的氧化过程。

以上冲突可在时间和空间作进一步分析，如 Figure 7 所示。

Figure 7: operation space and time



空间方面，包括线材本体、线材表面以及冷却气流与线材接触的区域。线径大小为 5~5.5mm。我们都知道，冷却初始，线材表面的锈层很薄，大约为几毫米，远远低于目标值。时间方面，我们分析的是冲突发生的时间，因此，可以定义为从高温开始一直到室温这一个过程。

(3) 最终理想解 (Ideal Final Results)

最终理想解是为方案的形成起到方向性的作用，我们可按如下所述形成一些最终理想解：

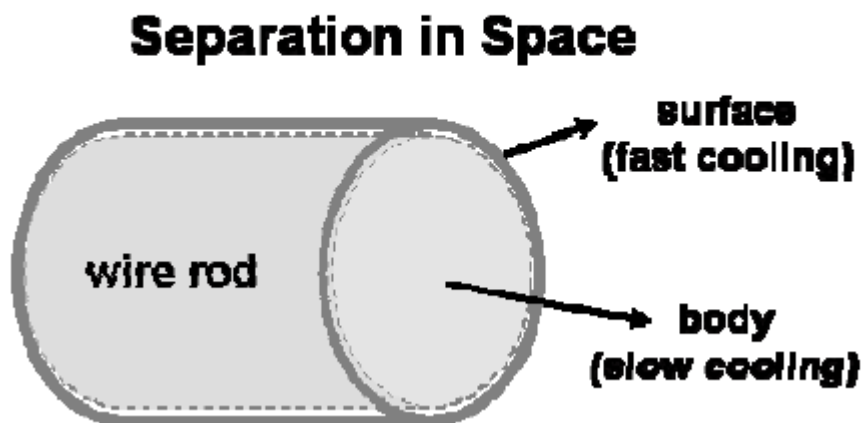
- 1、气流量很大，无氧化发生，引入一种物质（或场）来防止线材快速冷却（不能增加系统的复杂性和产生有害作用）。
- 2、气流温度很低，无氧化发生，引入一种物质（或场）来避免线材快速冷却（不能增加系统的复杂性和产生有害作用）。
- 3、冷却率很大，无氧化发生，引入一种物质（或场）来避免线材快速冷却（不能增加系统的复杂性和产生有害作用）。
- 4、线材的温度很低，无氧化发生，引入一种物质（或场）避免线材温度快速下降（不能增加系统的复杂性和产生有害作用）。

解决冲突

物理冲突的解决方法有：时间分离法、空间分离法、系统分离法、条件分离法。最终理想解用来评估工程师所产生的方案。下面介绍用空间分离法所产生的一些方案：

以上所述的冲突 3 能够用空间分离法来解决：如果线材表面冷却率非常大，与此同时线材内部缓慢冷却的话，如 Figure 8 所示，冲突就能消除。

Figure 8: a schematic of separation in space



这样，冲突 3 消除了，但又产生了新的问题：如何确保线体缓慢冷却？线体缓慢冷却，意味着在低温部分与高温部分之间无明显的温差，如何实现线体各部分温度在冷却过程中无太大的温差呢？

建议采用“感应加热法”。我们知道，“感应加热”利用一种电磁场来在导体上产生电流的原理，来加热表面下层的区域。本案中线材直径小于 5.5mm，可以通过电磁频率来对线材表面的受热进行控制，热量渗透的深度，由电磁频率来决定，它们之间存在一个反比的关系。若要求穿透整个材料厚度，则采用一个低频的电磁场。这样，线材整体的温差就会大大缩小。

应用分离的原理消除了冲突，从而生成一些可行的方案，下一步就可以通过实验来对这些方案进行验证，从而筛选出最优的方案并在实际生产中实施。

结论

以上是一个关于如何应用 TRIZ 理论来解决钢材生产问题的案例。通过用 TRIZ 理论分析问题的方法，对线材生产过程中的冷却工艺出现的问题进行分析，低拉伸强度与薄锈层的线材是客户所需求的。目前的工艺是用吹风机来冷却，在这过程中，存在着拉伸强度与锈层厚度朝相反的方向变化的冲突。找出其中的冲突及确定最终理想解，通过分离的原理，生成几个方案；利用空间分离的原理，形成了“感应加热法”这一方案。这些方案通过实验来进行筛选，最后得到最优方案并付诸实施。

REFERENCES

1. Altshuller, G “Creativity as an Exact Science”, Gordon and Breach Science Publishers, New York, .,1988
2. Khomenko, Nikolai, “OTSM-TRIZ, Training Hand-out Set”, LG Electronics., 2000
3. Royzen, Zinoby, “TRIZ Technology”, TRIZ Consulting, INC., 1998
4. Terninko,J., Zusman, Alla, Zlotin, Boris, “Systematic Innovation : An Introduction to TRIZ”, St. Lucie Press, New York, 1998
5. Ikovenko, Sergei, “Lecture materials for TRIZ & TechOptimizer”, LG Chem, 2003
6. POSCO homepage, <http://www.posco.co.kr/en/company/index.html>
7. Salamatov, Yuri, “TRIZ: The Right Solution at the Right Time”, INSYTEC B. V., 1999