



NiobiumNb

在 API 钢材中添加 0.10% 铌，
将有助于提高管道强度和韧性

管线钢的最佳力学性能

在 API 钢材中添加不超过 0.10% 的铌，即可提高热机械加工工艺 (TMCP) 的轧制温度。

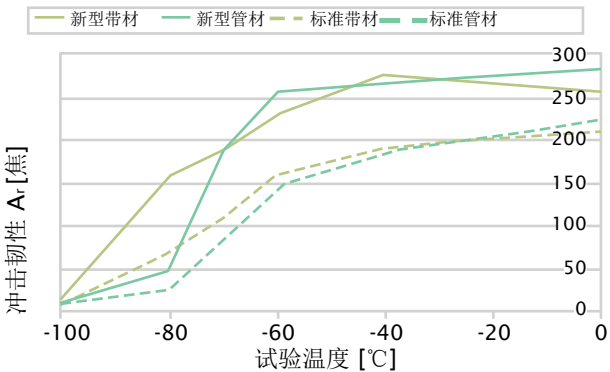
提高轧制温度不仅可以改进板材和卷材的生产工艺，而且还可以实现具有出色最终横截面的 API 微观结构。该精细均匀微观结构不仅可以确保材料具有最佳机械性能，同时还可实现更高强度和韧性。

微观结构如何影响钢材性能？

多次实践已成功证明，当钢材的精细均匀微观结构中含有不超过 0.10% 的铌时，即可确保其具有出色韧性。例如，针对欧洲生产的 0.10% 铌含量的 X70 级螺旋钢管进行夏比冲击试验时，其能量值上限超过了 200 焦，且转变温度范围达到了 -20℃~-65℃。当钢管直径为 1067 毫米时，其能量值上限超过 270 焦，且转变温度约为 -70℃；而对于 0.05% 铌含量的同等 X70 级钢管，其能量值上限约为 200 焦。0.10% 铌含量的 API X70 级钢管的转变温度在 -60℃ 以下（低于 0.05% 铌含量的 API X70 级钢管）。

直径为 1067 毫米且壁厚为 18.8 毫米的螺旋钢管

API X70 级钢管韧性（冲击试验）

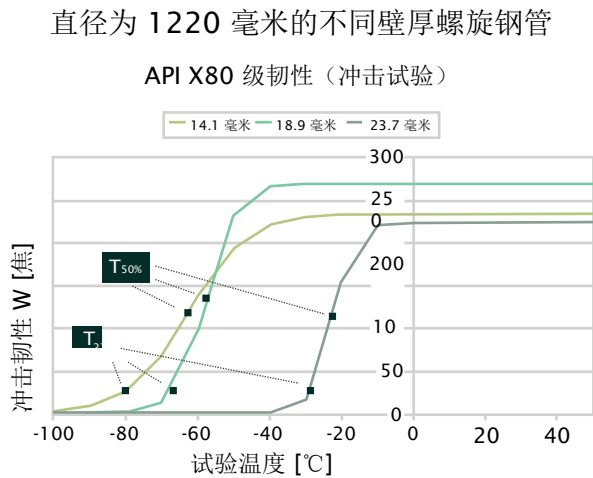


此外，超过 0.08% 铌含量且直径为 1220 毫米的 API X70 级和 X80 级螺旋钢管，其不同壁厚下均可实现极好韧性。

| 螺旋钢管 | 基本成分 | | | 微合金 | | | 添加物 |
|----------|------|------|------|------|------|------|---------|
| | 碳 | 锰 | 硅 | 铌 | 钒 | 钛 | Σ 铬 + 钼 |
| 新型 X70 级 | 0.05 | 1.80 | 0.30 | 0.10 | 0.00 | 0.02 | 0.30 |
| 新型 X80 级 | 0.05 | 1.80 | 0.30 | 0.09 | 0.00 | 0.02 | 0.45 |

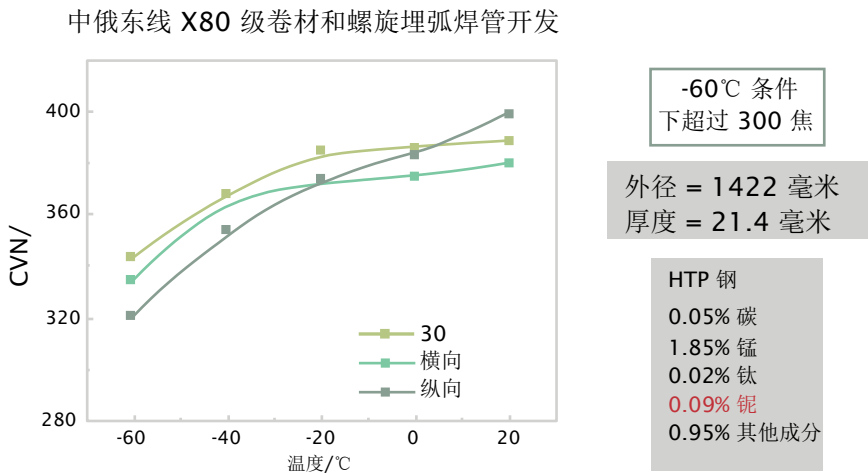
T_{27J} = 吸收能量达到 27 焦最低值时的转变温度
(欧洲国家)

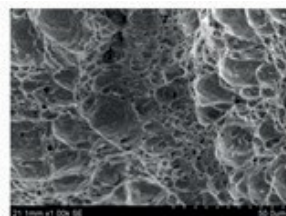
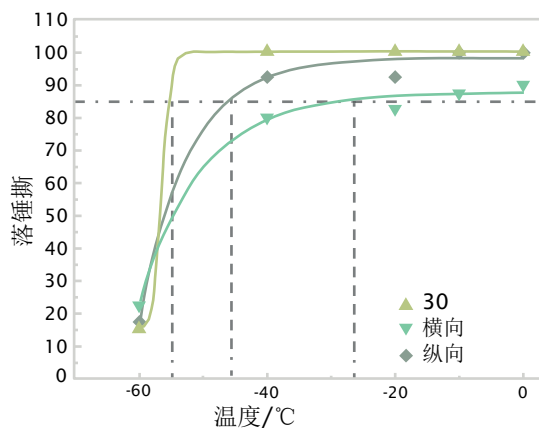
T_{50%} = 断口外观为 50% 时的转变温度



桑德琳·布雷默 (Sandrine Bremer)、沃尔克·弗拉克萨 (Volker Flaxa); 弗朗茨·马丁·努普 (Franz Martin Knoop) —
—新型管道钢材, 圣保罗, 2010 年

中国生产的螺旋钢管也表现出良好性能。下图所示为夏比冲击和落锤撕裂试验 (DWTT) 结果。

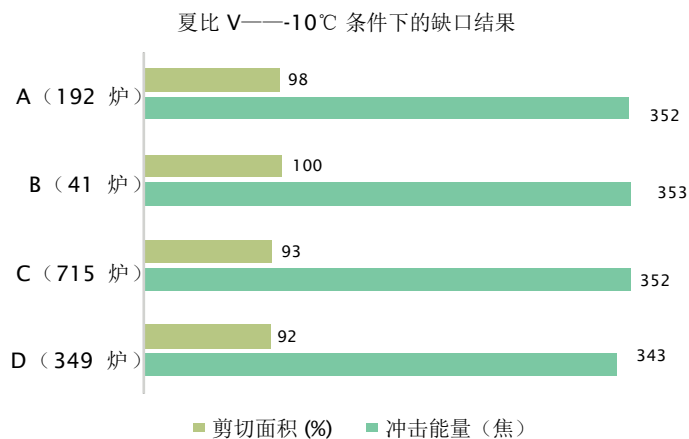




30° 方向上，落锤撕裂试验的 85% 脆性转变温度达到 -55℃，而在另外两个方向上均低于 -20℃。

Zhang, YQ; Tao, N; Zongyue, B. I——基于优化处理的大尺寸 X80 级卷材开发和应用, ABM 周刊, 巴西圣保罗, 2019 年。

从图上我们能够清楚地看出，在钢材中加入 0.08%~0.10% 的铌，可提高其机械性能的可靠性，且无需具有明显分散性即可得到出色结果（即，性能更加一致）；结果详见以下四家中国制造商生产的螺旋钢管。

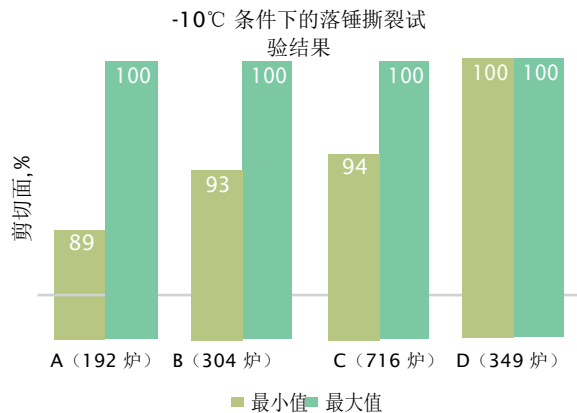


性能要求

单一 ≥ 170 焦, 平均 ≥ 220 焦 单一 ≥ 80, 平均 ≥ 90

四家中国钢厂共计生产了 1297 炉直径 1219 毫米且厚度 18.4 毫米的 X80 级钢管。

典型化学成分 0.035% 碳、0.23% 硅、1.77% 锰、0.25% 钼、0.11% 铌、0.018% 钛、氮含量 <40ppm
且铬 + 镍 + 铜含量 < 0.73



性能要求

单一 ≥ 85%

四家中国钢厂共计生产了 1561 炉可用于生产螺旋钢管的 Nb X80 级钢材。

Shang, C.、Guo, F.——中国长距离天然气管道的最新技术。

https://www.gas-for-energy.com/fileadmin/G4E/pdf_Datein/g4e_1_18/gfe1_18_b-ShangGuo.pdf

如美国夏延平原输气管道所示，直缝钢管同样实现了较好结果。2004 年，在厄尔巴索夏延平原输气项目中，穿越科罗拉多州和堪萨斯州的天然气输气管道，均采用了由含 0.05% 碳和 0.095% 铌的钢材加工而成的钢管。俄勒冈钢铁公司生产的直缝钢管具有以下机械特性：

管体和焊缝

HTP X80 级——夏延平原输气项目结果
0.098% 铌

钢管平均韧性和规范（-7℃ 条件下）

| 要求 | 管体：106 焦 | 热影响区： 106 焦 | 纵向焊缝 CL：55 焦 | 落锤撕裂试验： 80% 剪切 |
|----|----------|----------------|-----------------|-------------------|
| 实际 | 292 焦 | 290 焦 | 80 焦 | 100% |

J.马尔科姆·格雷 (J. Malcolm Gray); A.B.罗斯威尔 (Rothwell)——X80 级管道应用经验，中国石油国际管道论坛，北京，2008 年

更精细均匀的微观结构保证了高强度和高韧性。铌的作用是什么？

铌在提高 T_{nr} （未再结晶温度）后，减缓了再结晶过程。由此，即可在较高温度下热轧，而不会产生变形晶粒再结晶和生长风险。其结果是，在热轧过程结束时，奥氏体晶粒细小、均匀且具有更多应变积累。这种更精细的变形奥氏体将转化为需要的精细 **API** 微观结构。通过此工艺生产的具有精细均匀横截面 **API** 微观结构的板材或卷材，将为管道制造商的生产提供最佳条件。利用此材料，制造商将能够在持续生产出满足标准要求的产品的同时，显著降低材料的不合格率和缺陷率。

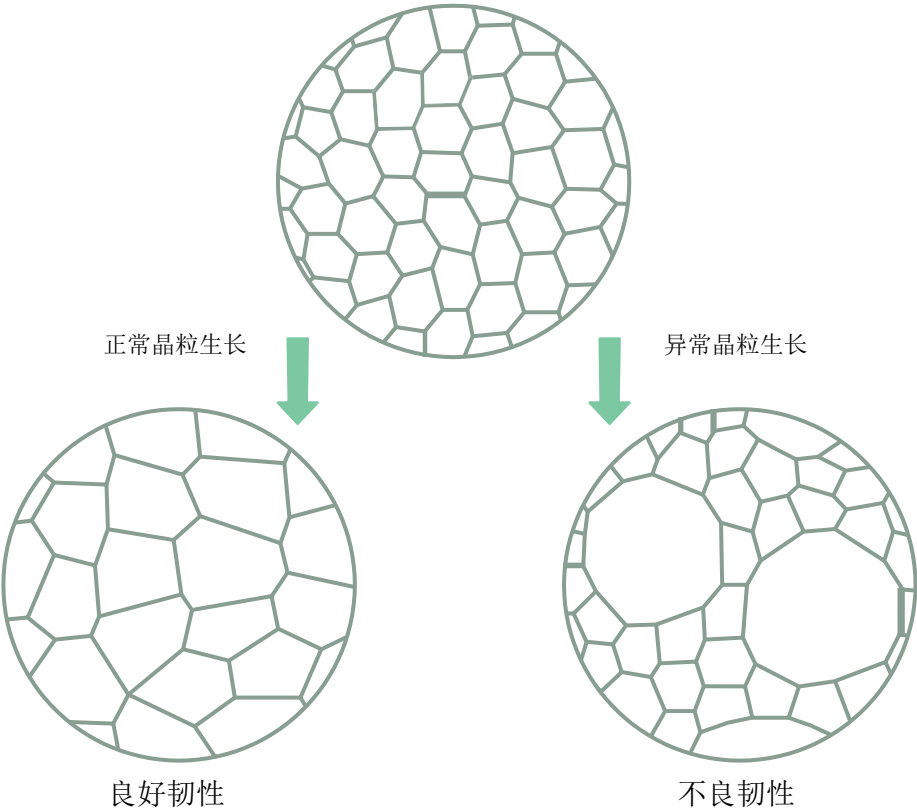


针状铁素体、贝氏体和碳化物沉淀物

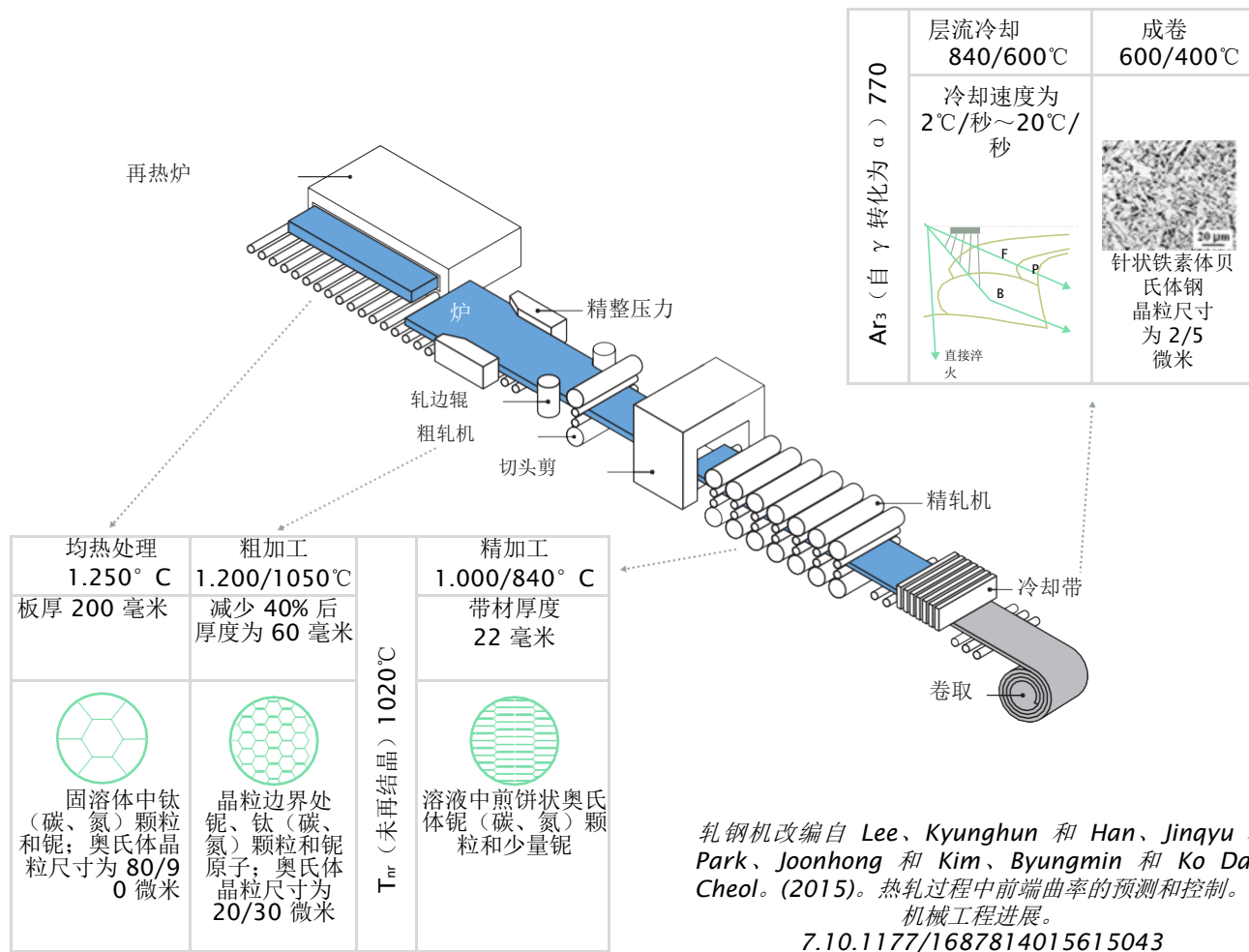
沃尔克·弗拉克萨 (Volker Flaxa)、弗朗茨·M.努普 (Franz M.Knoop)，厚度不超过 19 毫米的热轧带材及以此为原料加工 X80 级螺旋焊接大口径管道，BAC2010，中国，2010 年。

钢材韧性由晶粒尺寸决定。在根据韧脆转变温度 (DBTT) 对韧性进行评估时，发现钢材晶粒尺寸越小，韧脆转变温度越低。但是，仅依靠较小平均晶粒尺寸无法保证高韧性水平。由于当材料中晶粒尺寸存在差异时，韧性水平将受到较大尺寸晶粒的影响，因此为了实现高韧性水平，还须确保细晶粒分布均匀。

下图显示了在轧制过程中控制晶粒生长，以在钢材中产生细小均匀晶粒结构，从而实现所需韧性水平的重要性。



以下热轧机各阶段示意图，显示了热轧过程中奥氏体晶粒尺寸的变化情况。从再热炉开始，晶粒在机械作用下持续细化。如果能够在热机械加工工艺过程中妥善设计变形顺序和温度，则可有效实现晶粒细化，并可确保精加工后的材料具有煎饼形奥氏体晶粒结构。经过层流冷却后，这些晶粒即可转化为超细针状铁素体或贝氏体。含有针状铁素体和贝氏体的更精细均匀微观结构，将可确保材料同时具备出色的高强度和高韧性。



轧钢机改编自 Lee、Kyunghun 和 Han、Jingyu 和 Park、Joonhong 和 Kim、Byungmin 和 Ko Dae-Cheol。(2015)。热轧过程中前端曲率的预测和控制。
机械工程进展。

7.10.1177/1687814015615043

钢铁公司已成功利用此方法，为管道制造商创造了客观收益。

得到具有此微观结构和更高性能的钢材后，管道制造商在管道生产过程中将更加自信。钢材中会导致降级或材料切除的缺陷更少。生产过程更加流畅后，将实现轧机生产效率下降（甚至在某些情况下减少轧机停产的“瓶颈问题”）。当出现这些瓶颈问题时，不得不重新排列管道或者进行返工，进而带来生产流程降速、生产效率降低和生产成本升高，并最终导致管道延迟交付。

在现场施工期间，使用更高韧性钢材是防止因迟滞引起严重损伤并减少在用管道发生故障的最佳方法。

如欲了解关于此概念对产品和生产过程好处的更多信息，请联系 **CBMM** 技术专家。**CBMM** 将与合金设计和热轧专家通力合作，并借助热轧模拟专用计算机模型，确保客户能够在生产高质量管道用钢中实现收益。





CBMM 在铌产品的生产和商业化方面处于世界领先地位，客户遍布 40 多个国家。本公司总部位于巴西，并在中国、荷兰、新加坡、瑞士和美国设有办事处和子公司。本公司致力于为基础设施、交通、航空航天和能源部门提供产品和尖端技术。CBMM 自 1955 年在米纳斯吉拉斯州阿拉萨成立以来，依靠自身强大的技术方案，不断扩大铌的应用范围，并不断推动市场增长和多样化。



更多信息，请登录
www.niobium.tech。

v08.2020 版权所有 © 2020 CBMM