



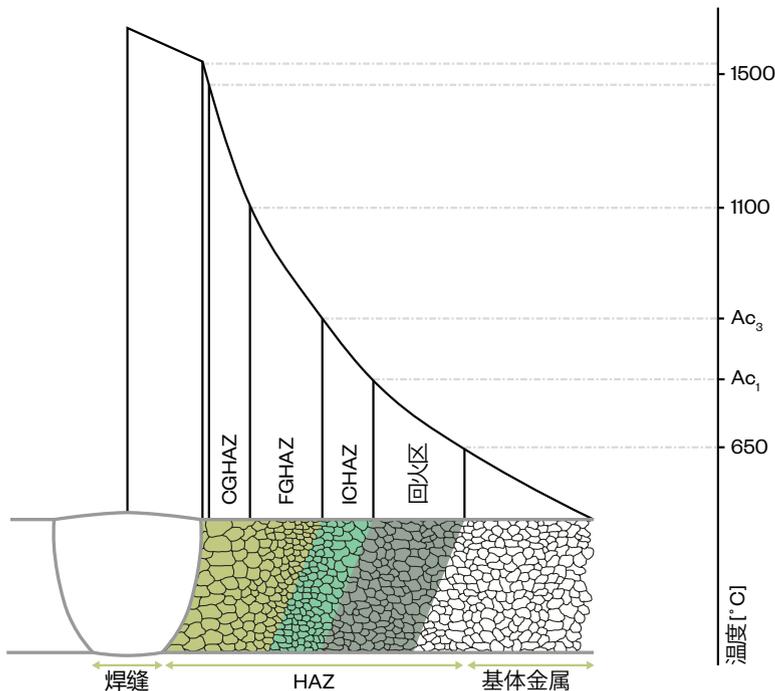
Niobium Nb

通过提高焊接性提供优质的  
管道

使用钕含量多达0.11%的低碳概念钢，在管道制造过程中，使用埋弧焊（SAW），以及在现场环缝焊接过程中使用较低热量输入工艺如气体金属电弧焊（GMAW），都能够改善管道焊接区的性能。这些显著的优势主要来自于这种钢在焊接过程中的热影响区（HAZ）晶粒粗化的阻力。

## 热影响区

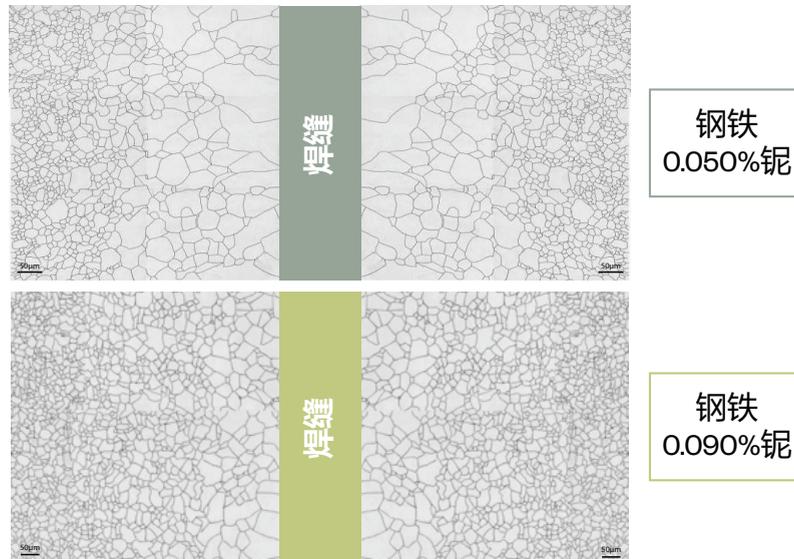
紧靠焊缝的热影响区(HAZ)中形成的微观组织是一个许多变量的函数。这些因素包括钢的成分、钢板或钢卷的厚度、焊接工艺的选择、热输入、焊接速度和焊接道数。所有这些因素都会影响焊接过程和焊接后的加热和冷却速度。最终，所有这些变量决定了在较粗晶粒HAZ中形成的晶粒尺寸，并决定了这一重要区域的力学性能。



改编自 K.E.Easterling, "Introduction to the Physical Metallurgy of Welding", second ed., Butterworth-Heinemann, 1992.

# 铌在热影响区的作用

铌是关键元素，但在同时使用少量钛进行微合金化时，钢中会产生复杂且非常细小的沉淀物，从而在焊接过程中控制热影响区的晶粒粗化。当铌的含量在0.08%到0.11%的范围内时，这种效应在很大的热输入范围内得到了最大化。这一重要作用与固溶中铌的其他独特属性相结合，在所有相关条件下，确保了在管道制造和随后的环缝焊接过程中，都能形成最佳的热影响区微观结构和韧性。



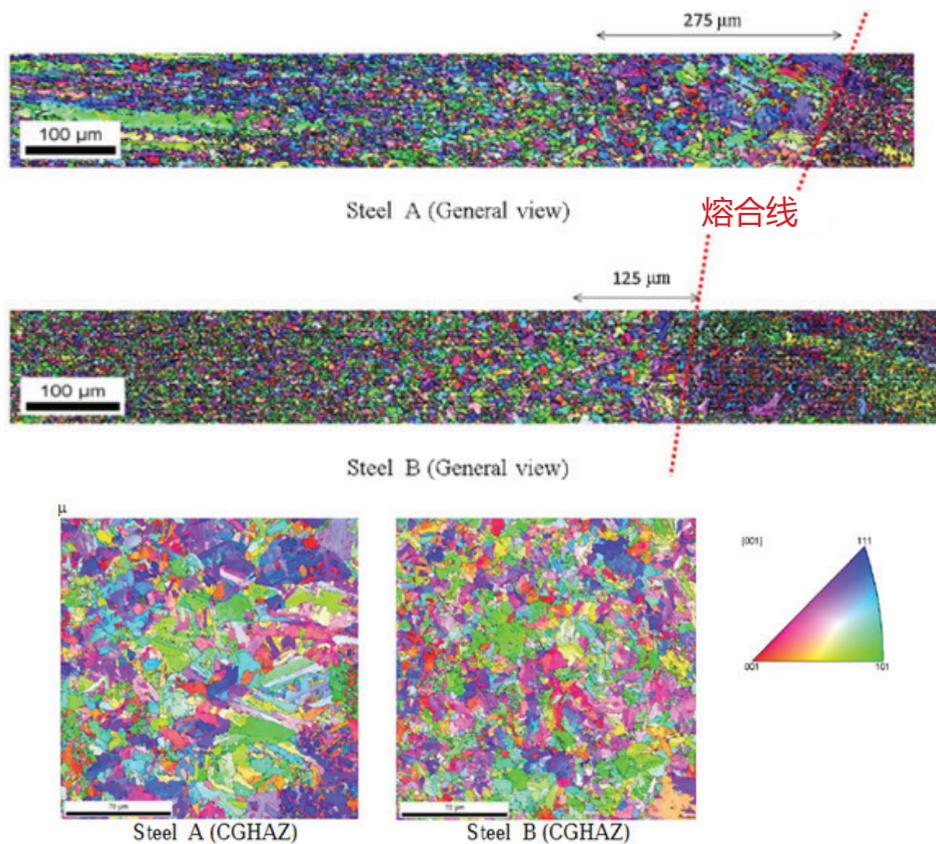
改编自 “The State of the Art of Long Distance Gas Pipeline in China”. Chengjia Shang - IGRC - Rio 2017

通过使用电子背散射衍射法（EBSD）对以下钢材的焊接接头进行分析，可以进一步了解这种晶粒细化。

	碳	锰	镍	铬	钼	铌	钛
钢铁A	0.04	1.83	0.25	0.26	0.10	0.07	0.013
钢铁B	0.04	1.75	0.26	0.23	0.25	0.10	0.01

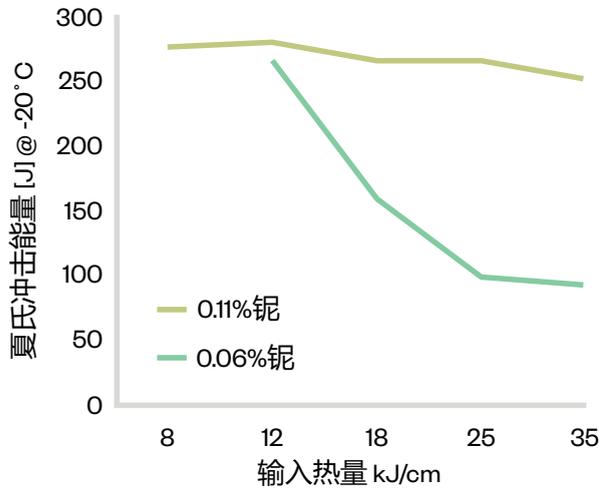
电子背散射衍射(EBSD)图像显示了A钢和B钢从焊缝金属到基体材料的微观结构变化。从这些复制图像的文章显示，铌含量从0.07%增加到0.10%，再加上适当的“最佳实践”轧制流程，确保了在铌含量较高的B钢中产生最佳析出物尺寸分布。这使得粗晶热影响区 (CGHAZ) 的范围从0.07%Nb钢中的275 $\mu\text{m}$ 减小到含Nb 0.10%的钢中的125 $\mu\text{m}$ 。粗晶热影响区(CGHAZ)中的这些更细小晶粒导致了更细小的微观结构 (更细小的板条束尺寸)。

### 铌对环缝焊接头的基体金属以及热影响区显微组织的影响。



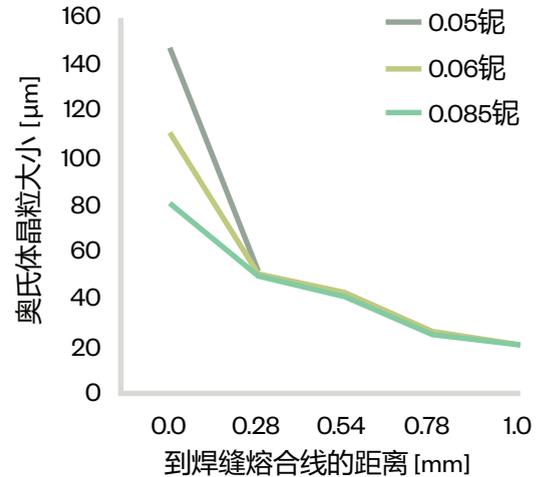
Andrea Di Schino, Paolo Emilio Di Nunzio, Acta Metallurgica Slovaca, vol. 23, no.1, 2017

## 铌对HAZ影响的其他支持性结果



Barbaro, F et al. *Developments in the Control of Weld HAZ Properties in Modern Microalloyed Steels*, SEASIS Convention & Exhibition, Vietnam, 2016.

焊接热量输入的增加与熔敷焊缝金属的增加直接相关，因此整体的焊接生产率也会随之增加。含有0.11%Nb钢的韧性对焊接热量输入的依赖性较小。



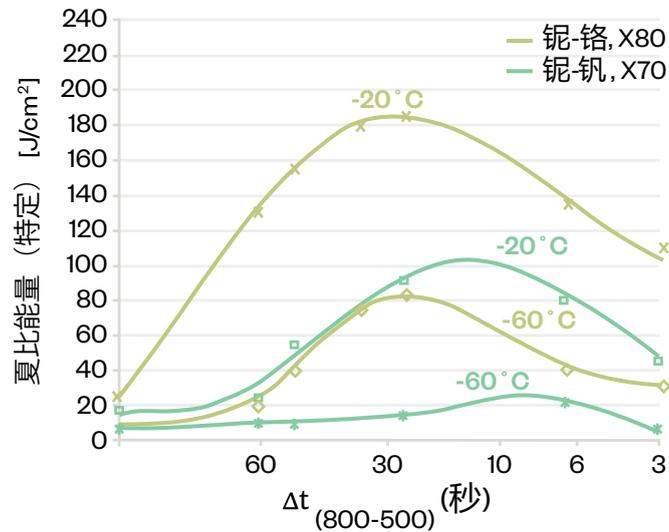
Qingyou, Liu. "The Alloy Design and Weldability of High Performance Pipeline Steels". *Int'l Conf, on Pipelines and Linepipe Steels (ICPLP)*, Xi'an China, April 2015.

在CGHAZ中，铌和钛能促进的晶粒细化。当铌含量在0.08%~0.11%范围内时，这种效应非常明显。奥氏体晶粒尺寸的控制以及由此带来的高铌钢CGHAZ中微观组织的细化直接结果是韧性的增强。

# 进一步证明显示含有0.08% 铌的钢对焊接热量输入的敏感性较低

数据是来自CBMM合作项目的位于俄罗斯莫斯科的TsNIIChermet [I P Bardin Institute]。下表和图中的数据是根据以下引用的出版物改编的，并且描述了两种生产管线钢管的焊接性能。

	碳%	硅%	锰%	钛%	铌%	钒%	铬%	铝%	钼%	镍%
X70	.07	.39	1.67	.013	.032	.042	-	.031	.18	.23
X80	.06	.30	1.56	.014	.094	.002	.23	.037	.01	.13



在不同的试验温度和不同的冷却速率下，使用一个较高铌含量对CGHAZ夏比韧性的影响

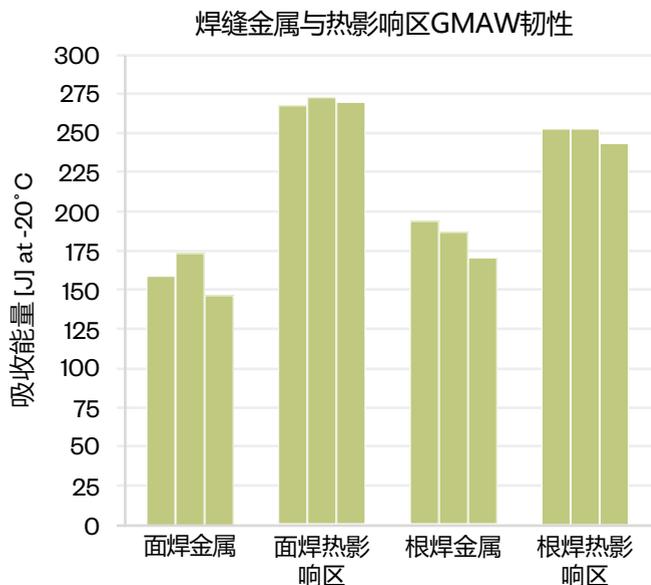
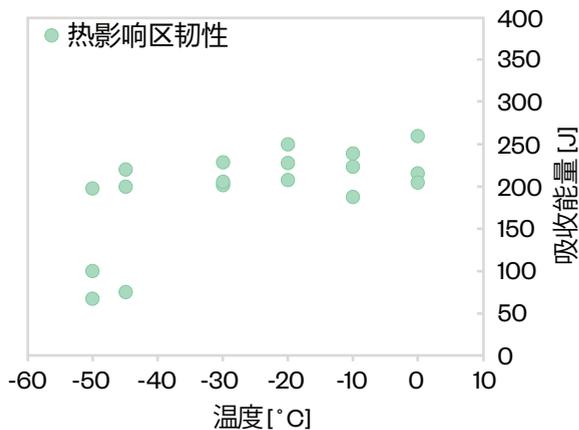
Frantov et al., 'The Effect of Alloying and Microalloying Additions on Base Metal Properties and Weldability of X70/X80 Linepipe Steels' Proceedings of the International Conference, Microalloyed Pipe Steels for the Oil and Gas Industry, Moscow, Russia, 2013.

这些数据表明，在所有相关的冷却速率范围内，含有较高铌的钢对增加的热输入具有明显的更高的灵活性和耐受性。在壁厚大于20毫米的厚壁管上进行气体金属弧环缝焊接(GMAW)时，一个可能应用的10千焦/厘米的热输入会导致这个冷却时间 $t_{(800-500)}$ 小于5秒，而同一材料在管道轧机进行多弧埋弧焊时，一个40-50千焦/厘米范围内的热输入会导致这个冷却时间 $t_{(800-500)}$ 在50-90秒之间。

## 在实际管道中的验证结果

**示例1: 直径为1219毫米，厚度为23.7毫米的管道，采用了安赛乐米塔尔生产的X70钢，其中铌含量高于0.08%。**

SAWH和GMAW的焊缝均都表现出优良的性能



(V型缺口的位置符合ISO 13847标准; 焊缝金属: 焊缝金属中心线; 热影响区: 包括1/3的焊接金属和2/3的基体材料)

改编自 Gungör, O.E. et al. - Girth Weldability Evaluation of SAWH Pipes Produced from 23.7 mm Thick, High-Nb Containing X70 Linepipe Steel, Proceedings of the 2014 10th International Pipeline Conference, Calgary, Alberta, 2014.

例2:中国-俄罗斯东部天然气管道应用的是直径为1420毫米、厚度为21.4毫米的螺旋管。

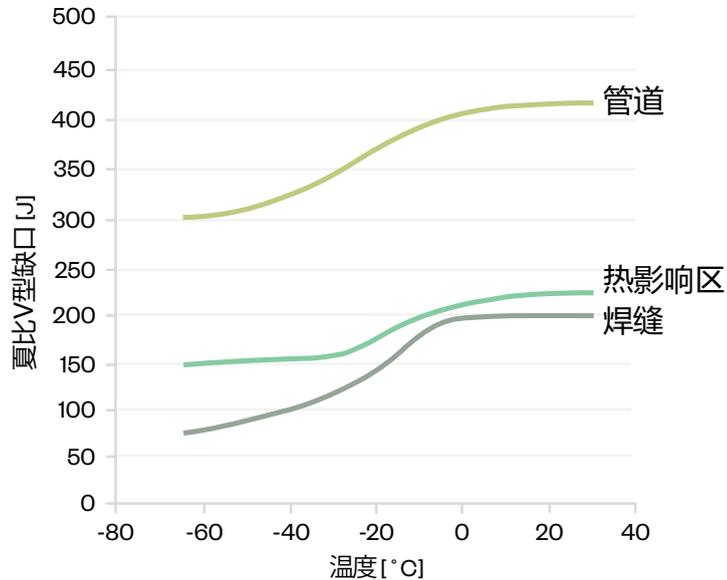
**合金设计:**

碳	硅	锰	磷	硫	铌	钛	其他
0.044	0.24	1.68	≤0.010	≤0.002	0.08	0.011	钼镍铜铬

**拉伸测试**

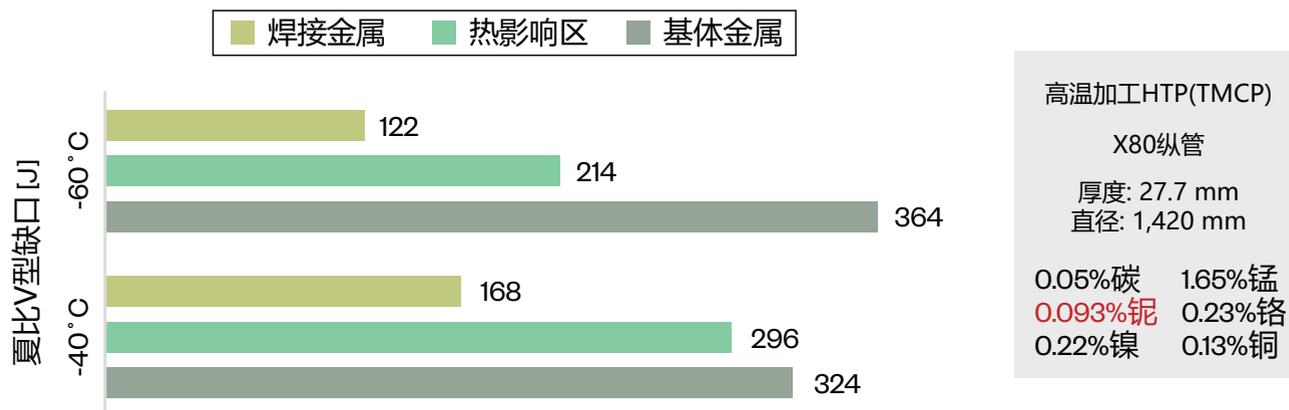
位置	Rt0.5 (MPa)	Rm (MPa)	A, %	Y/T
尾	623	697	23	0.89
中	574	660	26	0.87
头	622	695	25	
规格	555-690	625-780	min 16	max 0.93

**管道夏比冲击试验**



改编自 Huo Chunyong, H. et al. Latest Development and Application of High Strength and Heavy Gauge Pipeline Steel in China, The 26th International Ocean and Polar Engineering Conference Rhodes (Rodos), Greece, 2016.

例子3: 直径为1420毫米和厚度为27.7毫米的纵管，是另一个高镍钢项目的好例子。



CITIC 金属内部报告, 2017

CBMM的技术专家可以就如何将冶金概念应用于您的个人炼钢和热机械加工技术提供建议。我们的专家和顾问非常乐意为我们的客户提供管道制造和焊接技术的各个方面的帮助，以确保您和您的客户通过应用最新的知识可生产出最优质的板材或卷材，用于管道制造和后续焊接中获得最大的利益。

 | Niobium Nb

