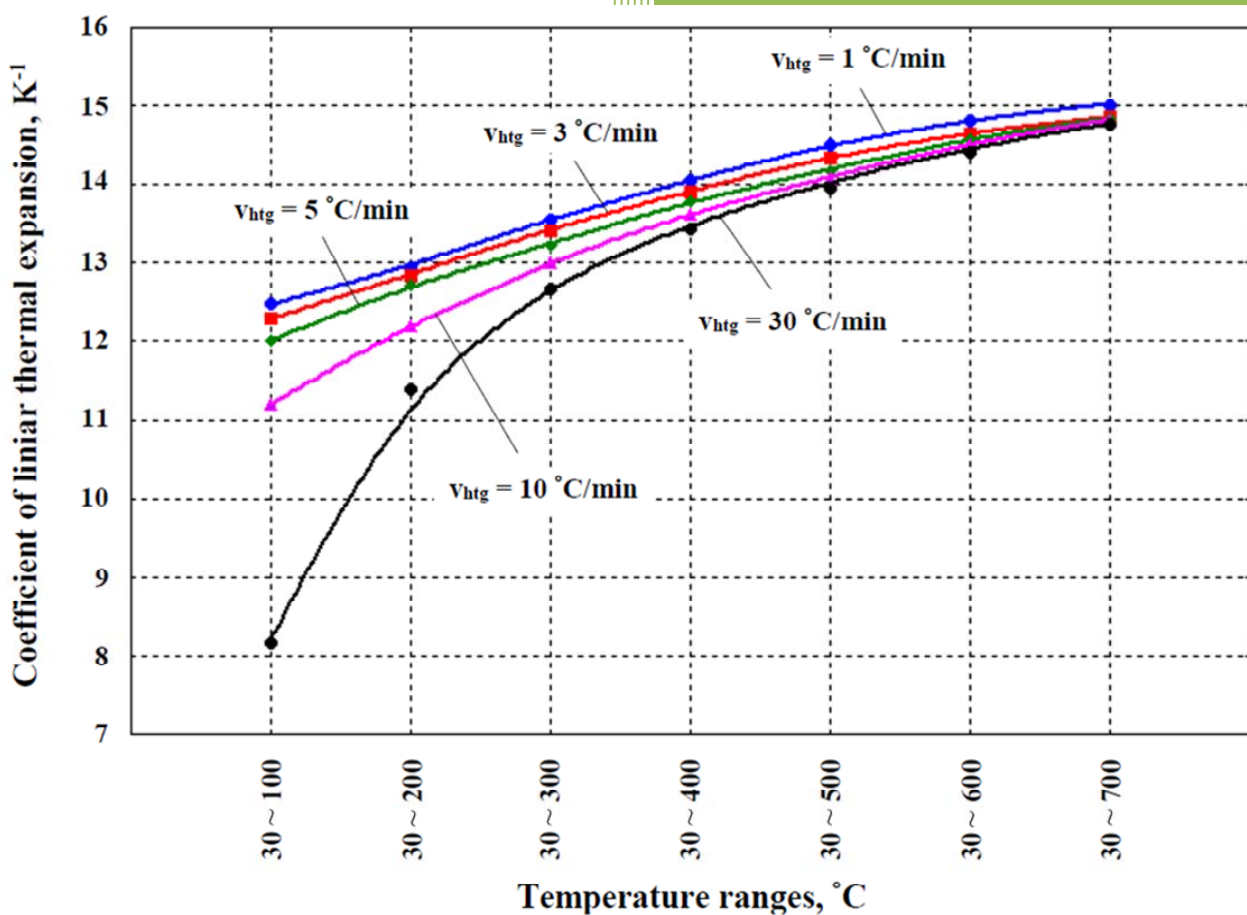


热膨胀测试技术——加热速率对平均线膨胀系数测试结果影响的实验演示

Thermal Expansion Testing Technology—Experimental Demonstration of the Effect of Heating Rate on Average Linear Expansion Coefficient Test Results



摘要：热膨胀测试过程中，加热速率是一个重要试验设置参数，它直接影响热膨胀系数测量的准确性。本文展示了不同加热速率下对低锰钢材料样品的测试结果，直观显示了加热速率对平均线膨胀系数测试结果的影响。

关键词：热膨胀系数、平均线膨胀系数、加热速率、测试

在热膨胀系数测试过程中，加热速率是一个重要试验设置参数，加热速率的设置直接影响热膨胀系数测量的准确性。一般来说，加热速率越小，热膨胀系数测量的准确性越高，但相应的整个测试过程时间就会很长。因此，在实际热膨胀系数测试过程中，针对不同被测材料样品，选择合理的加热速率则显得非常重要，从而实现既能保证测量的准确性，又能缩短整个测试过程时间。

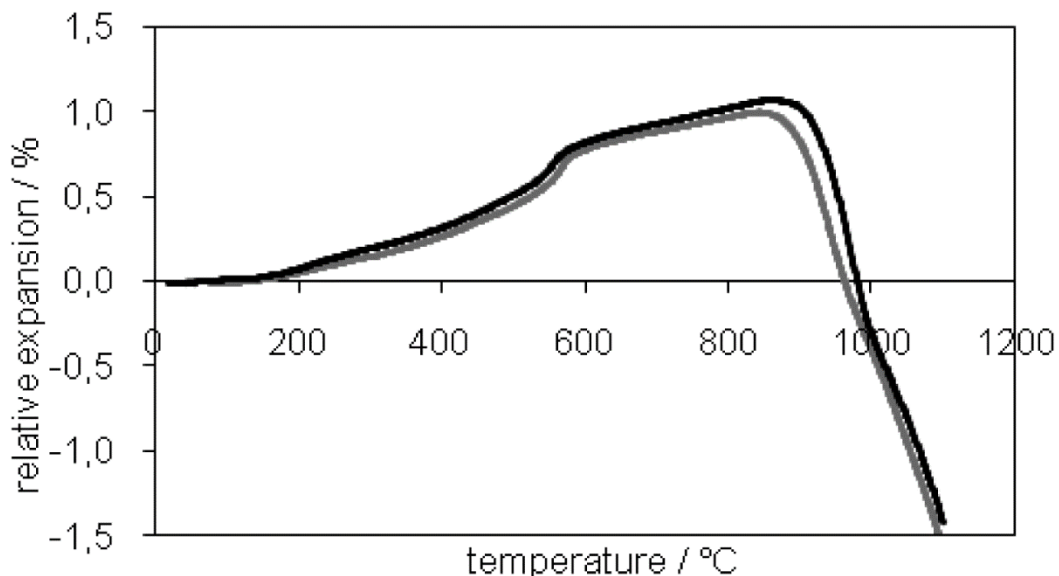


图 1 不同升温速率下砖坯样品的相对热膨胀变化曲线：2.5°C/分钟（灰色）和 10°C/分钟（黑色）

一直以来，加热速率对热膨胀系数测试结果的影响只是一个公认的常识，很少看到有专项研究对这种影响进行系统性考核试验和报道。如 Jankula 等人的研究中 [1]，仅展示了不同加热速率会使相对热膨胀曲线之间产生偏移，如图 1 所示。即在较高加热速率下，温度在整个样品中的分布并不均匀，因此可以观察到相对膨胀的

一些延迟。这种不同加热速率所带来的延迟效应在热分析测试中非常典型，可以在差热分析、热重分析和其他热分析技术中找到，但这种延迟性描述和表征并不直观，特别是在热膨胀系数测试中并不能直观描述加热速率的影响。

为了更直接和直观的描述加热速率对热膨胀系数测量的影响，Dulucheanu 等人开展了这方面的专项研究[2]，具体的实验条件如下：

- (1) 热膨胀仪：德国 NETZSCH 公司 Expedis DIL 402-SUPREME 膨胀仪；
- (2) 样品材料：铁素体-马氏体结构双相钢；
- (3) 样品尺寸：圆柱形样品，直径 5mm，高度 25mm；
- (4) 加热温度范围：30~980°C；
- (5) 测试温度范围：30~700°C；
- (6) 加热速率：1、3、5、10 和 30°C/min；
- (7) 试验气氛：氮气，流速 100ml/min；
- (8) 样品负载：200mN。

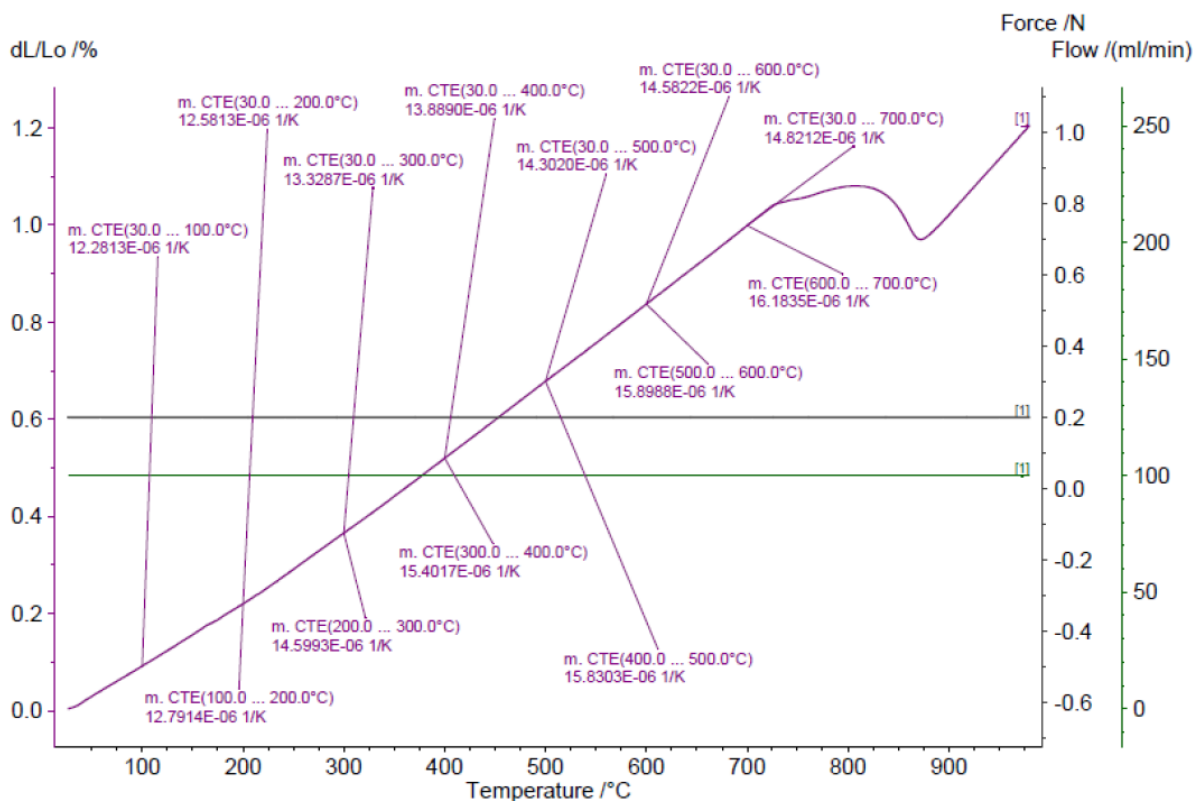


图 2 膨胀曲线和线性热膨胀系数 (CTE)，温度范围为 30~700°C，加热速率为 3°C/分钟
在加热速率为 3°C/min 时，得到如图 2 所示的相对热膨胀曲线，并由此可计算

得到 30~100°C、30~200°C、30~300°C、30~400°C、30~500°C、30~600°C和 30~700°C 的平均线膨胀系数。

分别采用不同加热速率进行测试，得到相应的平均线膨胀系数测试结果，数值形式如表 1 所示，曲线形式如图 3 所示。

表 1 不同加热速率下的平均线膨胀系数测试结果

加热速率 (°C/分钟)	温度范围 (°C)						
	30~100	30~200	30~300	30~400	30~500	30~600	30~700
1	12.4842×10^{-6}	12.9369×10^{-6}	13.5605×10^{-6}	14.0485×10^{-6}	14.5021×10^{-6}	14.8031×10^{-6}	15.0128×10^{-6}
3	12.2947×10^{-6}	12.8444×10^{-6}	13.4223×10^{-6}	13.9153×10^{-6}	14.3413×10^{-6}	14.6497×10^{-6}	14.8513×10^{-6}
5	12.0058×10^{-6}	12.7268×10^{-6}	13.2158×10^{-6}	13.7978×10^{-6}	14.1664×10^{-6}	14.5852×10^{-6}	14.8339×10^{-6}
10	11.1989×10^{-6}	12.1986×10^{-6}	13.0040×10^{-6}	13.6219×10^{-6}	14.0802×10^{-6}	14.5046×10^{-6}	14.8203×10^{-6}
30	8.1539×10^{-6}	11.4013×10^{-6}	12.6822×10^{-6}	13.4275×10^{-6}	13.9641×10^{-6}	14.4068×10^{-6}	14.7689×10^{-6}

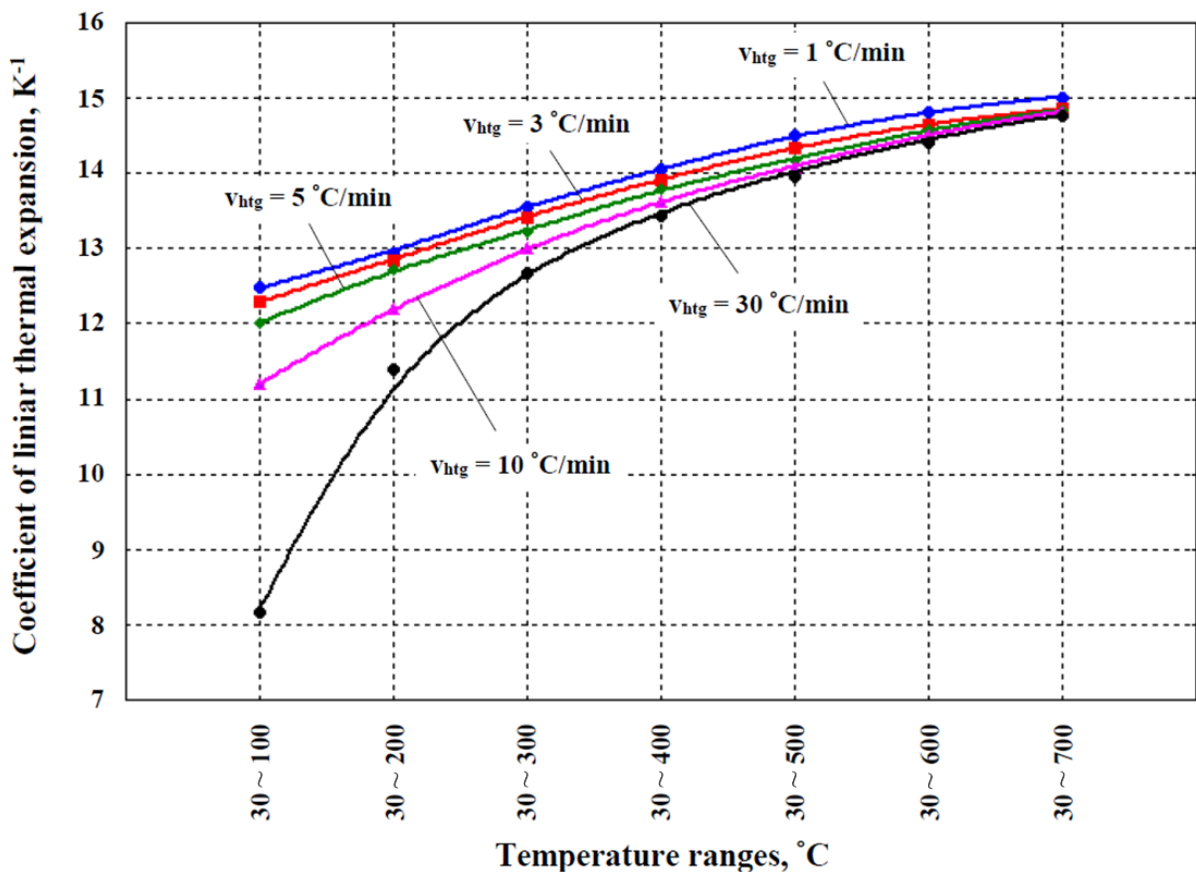


图 3 平均线性热膨胀系数 (CTE) 随加热速率和温度范围的变化

从这个直观的系列性验证试验可以看出，由于被测样品材料的内部结构和热物理性能，加热速率会对热膨胀系数测试结果产生明显影响，加热速率这一试验参数的选择不当会造成热膨胀系数测量误差极大。因此，在实际测试过程中，要根据被

测材料结构和热物理性能，选择合理的加热速率。

参考文献

[1] Jankula M, ŠÍN P, PODOBA R, et al. Typical problems in push-rod dilatometry analysis[J]. Epitoanyag-Journal of Silicate Based & Composite Materials, 2013, 65 (1)

[2] C. Dulucheanu, T. Severin, M. Băeșu, The Influence of Heating Rate on the Coefficient of Linear Thermal Expansion of a 0.087% C and 0.511% Mn Steel, TEHNOMUS.