

# GH625 合金的冷变形及其对力学性能的影响

## Cold Deformation Behaviors of GH625 Alloy and Their Effects on the Mechanical Properties

赵宇新 (北京航空材料研究院, 北京 100095)

ZHAO Yu-xin (Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

**摘要:** 研究了冷加工变形量对 GH625 合金板材力学性能的影响。研究表明, 随冷加工变形量的增加, GH625 合金的拉伸强度增加, 但塑性降低。冷加工变形量对持久寿命和冷热疲劳性能影响显著, 20% 左右的冷变形量可使合金具有最佳的持久寿命和疲劳性能及良好的综合力学性能。合金冷作硬化效果与合金的回复和再结晶程度及固溶处理温度有关。

**关键词:** 高温合金; 变形; 力学性能

中图分类号: TG132.32; TG113.25 文献标识码: A 文章编号: 1001-4381 (2000) 09-0036-02

**Abstract:** The effects of cold deformation on the mechanical properties of sheet superalloy GH625 and the mechanism of cold work hardening were investigated. It is indicated that the tensile strength of GH625 is increased but the ductility is decreased with increasing the degree of cold deformation. Significant effects of cold deformation on the stress rupture and thermal mechanical fatigue properties of the alloy are revealed; the best combination of stress rupture and fatigue properties and great overall mechanical properties are achieved after 20% cold deformation. The cold work hardening is affected by both the recovery and recrystallization after cold work and by the solid solution temperature.

**Key words:** superalloys; cold deformation; mechanical properties

GH625 是以 Mo, Nb 为主要强化元素的固溶强化镍基变形合金, 在 650 °C 以下具有良好的持久性能, 抗疲劳、抗氧化和抗腐蚀性能, 从低温到 1095 °C 温度范围内具有良好的强度和韧性。

GH625 作为固溶合金, 多用于板材零件, 由于板材零件在制造过程中要经过几次冷变形和退火, 这就会对原始状态板材的组织 and 力学性能产生影响。本工作针对不同冷变形量对 GH625 合金板材力学性能的影响进行了研究。

### 1 试验用料和试验方法

试验用料采用真空感应加电渣双联工艺熔炼, 按板材生产工艺加工成 6.0mm 中板, 炉号为 4D61034, 化学成分为: C0.051, Cr21.66, (Nb+Ta) 3.56, Fe0.10, Mn0.02, Mo9.08, Al0.21, Ti0.17, Si0.1, Co0.06, S0.001, P0.005, Mg0.011, Ni 余。

将 6.0mm 厚的中板经 1120 °C 固溶处理后热轧到不同厚度, 然后在 1060 °C 退火, 再冷轧到 1.5mm, 冷轧变形量分别为 3.3% ~ 50%。为了研究不同冷轧变形量对合金力学性能的影响, 在冷轧状态下对合金进

行室温拉伸、持久和冷热疲劳等性能测试; 选择适当的热处理制度对其进行处理, 然后再进行室温拉伸和持久试验, 以研究热处理制度对不同冷轧变形量的合金力学性能的影响, 同时还进行了显微组织观察。

### 2 试验结果与讨论

#### 2.1 冷加工量的影响及冷作硬化规律

将不同冷变形量的板材加工成试样, 进行室温拉伸、815 °C/114MPa 持久和 20 ~ 800 °C 冷热疲劳试验, 结果见图 1, 2, 3。

从合金的力学性能可以看出, 随着冷变形量的增加, 使合金冷作硬化效果增加, 导致合金的室温拉伸强度有很大提高, 延伸率下降。持久寿命受变形量的影响较大, 随着冷变形量的增加, 持久寿命大幅度增加, 超过 20% 变形量后, 持久寿命又急剧下降, 而塑性在 20% 变形量时最低。持久寿命的这种变化是与合金组织上的变化相联系的。从持久断口附近的组织 (见图 4) 及硬度可以看出, 在 815 °C/114MPa 持久条件下, 不同冷变形量的合金发生了不同程度的回复与再结晶。尽管在金相组织中没有看到明显的再结晶发

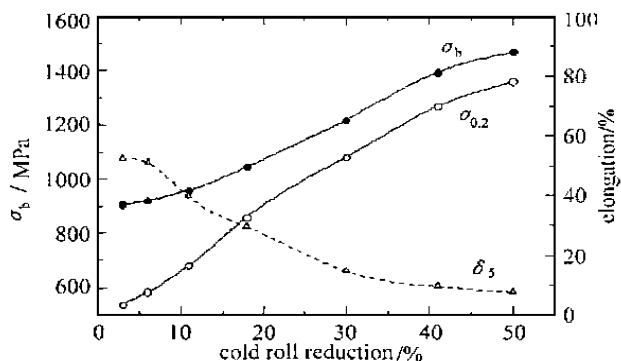


图1 变形量对合金室温拉伸性能的影响

Fig. 1 Effect of cold deformation on tensile properties at room temperature

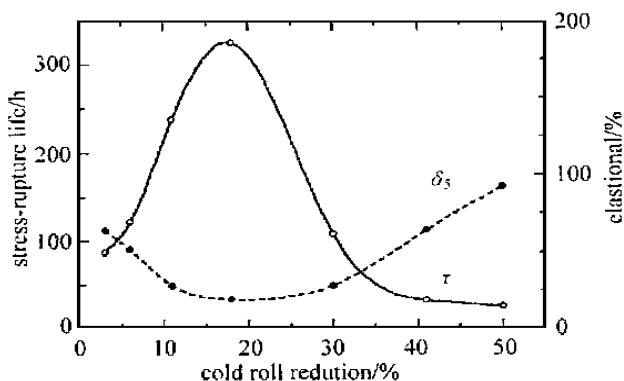


图2 变形量对合金持久性能的影响

Fig. 2 Effect of cold deformation on stress-rupture properties

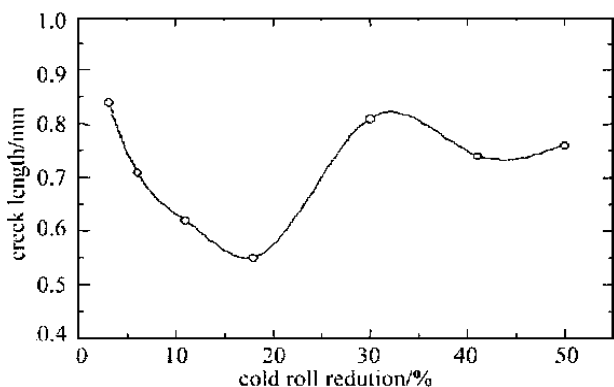


图3 变形量对合金冷热疲劳性能的影响

Fig. 3 Effect of cold deformation on cool-heat fatigue

寿命很高。由此可见, 18%冷变形量对合金板材有明显的强化效果。

在  $20 \sim 800$  °C 冷热疲劳条件下, 合金裂纹长度随冷变形量的增加而减小, 18%冷变形量时疲劳裂纹最短, 超过 18%后, 疲劳裂纹长度又有所增加。

通过上述分析可以认为, 冷加工可以提高合金的拉伸性能, 20%左右的冷变形量还可以提高合金的持久寿命和冷热疲劳性能。

## 2.2 固溶温度的影响

将 18% 变形量的合金板材经不同温度固溶处理后, 测定硬度。从硬度变化曲线可以看出: 18% 变形量的强化效果可以保持到 720 °C 左右, 超过该温度, 硬度下降, 强化效果逐渐消失。不同冷变形量的合金板材, 经 1000 °C、1040 °C、1080 °C 保温 10min 空冷的处理后, 由于合金板材已经发生回复和再结晶, 冷作硬化效果已不明显, 从合金的室温拉伸性能看出, 随着固溶温度的提高, 合金的冷作硬化效果减小, 1000 °C 固溶处理后, 随着冷变形量的增加, 拉伸性能提高, 但提高的幅度已经不大; 1040 °C 固溶处理后, 冷变形量对拉伸强度的影响很小了, 拉伸强度基本上保持在一个水平; 1080 °C 固溶处理后, 拉伸强度与正常工艺生产的板材性能相当。总的看来, 不同冷变形量的合金板材, 其室温拉伸强度随固溶温度的提高而下降。从合金的持久性能看, 同一固溶温度下, 随变形量的增加, 持久寿命稍有降低, 相同冷变形量的合金持久寿命, 一般随固溶温度的升高而稍有提高。

## 3 结论

(1) 冷加工变形量增加, GH 625 合金的室温拉伸强度增加, 但塑性降低。

(2) 冷加工变形量对合金的持久寿命和冷热疲劳性能影响显著, 20% 左右的冷变形量可使合金具有最佳的持久寿命和疲劳性能, 及良好的综合力学性能。

(3) 合金冷作硬化效果与合金的回复和再结晶程度及固溶处理温度有关。

## 参考文献

[1] 冶军编, 《美国镍基高温合金》, 1974: 228 ~ 241

收稿日期: 1999-04-20; 修订日期: 2000-06-20

作者简介: 赵宇新 (1959-), 女, 高级工程师。联系地址: 北京 81 信箱 72 分箱 (100095)

本文编辑: 孙常青

生, 但是此时显微硬度的变化已说明了这一点: 11% 变形量的 HV 为 325, 18.4% 变形量的 HV 为 320, 而 30% 变形量的 HV 下降到 311。30% 变形量的合金已经开始了再结晶, 因为此时硬度下降较大, 合金的再结晶使得持久性能大幅度下降; 18% 变形量的合金, 虽在回复过程中析出大量的  $\delta$ -Ni<sub>3</sub>Nb 相, 硬度有所降低, 但  $\delta$  相的析出, 抑制了再结晶的发生, 因而持久