ICS 77.040.10
CCS H 21

中华人民共和国国家标准

GB/T 40320-202×

代替GB/T 40320-2021

有色金属力学熔点测试方法

Measuring method for mechanical melting temperature of non-ferrous metal

(送审稿)

在提交反馈意见时，请将您知道的相关专利连同支持性文件一并附上。

××××-××-××发布　　××××-××-××实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会发布

前　言

本文件按照GB/T 1.1-2020《标准化工作导则　第1部分：标准化文件的结构和起草规则》的规定起草。

本文件代替GB/T 40320-2021《铝合金力学熔点测试方法》，与GB/T 40320-2021相比，除结构调整和编辑性修改外，主要技术变化如下：

a) 更改了试验机要求（见5.1.3、5.1.4，2021年版的5.1.3）；
b) 更改了试样形状与尺寸要求（见6.1.2、6.1.3、6.1.4，2021年版的6.1.2）；
c) 更改了试样取样要求（见6.2.1，2021年版的6.2.1）；
d) 增加了试样切削加工要求（见6.2.4）；
e) 更改了加工后试样的表面要求（见6.2.5，2021年版的6.2.4）；
f) 增加了试验环境保护的要求（见7.1.2）；
g) 更改了第二阶段与第一阶段峰值温度之差（见7.3.2，2021年版的7.3.2）；
h) 更改了第二阶段加热时间的要求（见7.3.5，2021年版的7.3.5）；
i) 更改了预设峰值温度范围（见8.3.1，2021年版的8.3.1）；
j) 更改了温度测量通道（见8.3.6，2021年版的8.3.6）；
k) 更改了试验中真空要求（见8.3.7，2021年版的8.3.7）；
l) 更改了应力单位表示（见8.4.2，2021年版的8.4.2）；
m) 更改了样本标准差描述（见8.5.1，2021年版的8.5.1）。

请注意本文件的某些内容可能涉及专利。本文件的发布机构不承担识别专利的责任。

本文件由中国有色金属工业协会提出。

本文件由全国有色金属标准化技术委员会（SAC/TC243）归口。

本文件起草单位：中车青岛四方机车车辆股份有限公司、上海交通大学、有色金属技术经济研究院有限公司、洛阳船舶材料研究所（中国船舶集团有限公司第七二五研究所）、中国兵器工业第五二研究所烟台分所有限责任公司、国标（北京）检验认证有限公司、中铝（山东）轻合金股份有限公司、中铝洛阳铜业检测技术有限公司、航鑫材料科技有限公司、上交（徐州）新材料研究院有限公司、中南大学、中车唐山机车车辆有限公司、国家高速列车青岛技术创新中心、龙口市丛林铝材有限公司、中车株洲电力机车有限公司。

本文件主要起草人：丁叁叁、田爱琴、孙晓红、谷柳、徐济进、李文夏、赵如涛、梁景恒、张红菊、王涛、陈大伟、岳好锋、李延朋、蔡宜成、李广州、尹登峰、高军、刘韶庆、王琪、曹龙韬。

本文件于2021年首次发布为GB/T 40320—2021《铝合金力学熔点测试方法》，本次为第一次修订。

有色金属力学熔点测试方法

1 范围

本文件描述了铝合金、钛合金和镁合金材料的力学熔点测试方法。

本文件适用于铝合金、钛合金和镁合金板、带材或型材的焊接、热处理、铸造、锻压等热加工过程的力学熔点测试及其参数优化。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。其中，注日期的引用文件，仅该日期对应的版本适用于本文件；不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

GB/T 8170 数值修约规则与极限数值的表示和判定

GB/T 16825.1 金属材料 静力单轴试验机的检验与校准 第1部分：拉力和（或）压力试验机 测力系统的检验与校准

GB/T 16865 变形铝、镁合金及其加工制品拉伸试验用试样及方法

GB/T 23604 钛及钛合金产品力学性能试验取样方法

JJF 1637 廉金属热电偶校准规范

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

力学熔点 mechanical melting temperature

测定金属材料不同峰值温度热循环后的残余应力，形成残余应力与峰值温度曲线。残余应力达到波峰时的温度为力学熔点起始温度，残余应力下降到波谷时的温度为力学熔点结束温度，该温度区间即为力学熔点。

3.2

热循环曲线 thermal cycle curve

加热、冷却过程中温度随时间变化的曲线。

4 原理

采用试验机模拟铝合金、钛合金和镁合金材料热加工过程中不同峰值温度下的热循环特征，测量不同峰值温度下的残余应力，得出残余应力与峰值温度的关系，通过计算获得铝合金、钛合金和镁合金力学熔点。

5 试验条件

钛合金、镁合金力学熔点测试应在真空环境或惰性气体保护下进行。

6 仪器设备

6.1 试验机

6.1.1 试验机的测力系统应按照 GB/T 16825.1-2022 进行校准，其准确度应达到或优于 1 级。

6.1.2 试验机加热速率应不小于 350℃/s，试验机应具有回零功能。

6.1.3 试验机应配备真空泵或气氛箱，且具有良好的密封性能。

6.2 热电偶

6.2.1 热电偶直径为0.15mm～0.30mm，应满足JJF 1637规定的1级热电偶要求。

6.2.2 铝合金和镁合金力学熔点测试宜选用镍铬-镍硅（K型）热电偶，钛合金力学熔点测试宜选用铂铑合金（R型）热电偶。

6.3 夹具

6.3.1 夹具材料宜采用高温合金，如工具钢、镍基合金等。

6.4 量具

6.4.1 游标卡尺，分辨力不低于0.01mm。

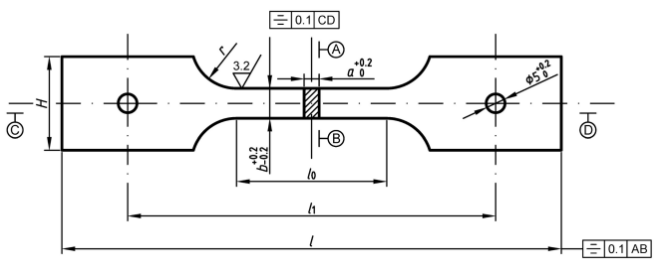
6.4.2 塞尺，分辨力不低于0.02mm。

7 试样

7.1 试样形状与尺寸

7.1.1 试样为矩形试样，试样尺寸应满足图1要求，弯曲变形量应不大于0.20mm。

单位为毫米



标引序号说明：

H——夹持端宽度；

r——过渡圆弧半径；

b——宽度；

a——厚度；

l_0——平行段长度；

l_1——圆孔间距；

l——试样总长度；

图1 矩形试样示意图

7.1.2 试样宽度 b 为厚度 a 的 2 倍，厚度 a 宜为 3mm～5mm。

7.1.3 铝合金试样平行段长度 l_0 应不大于宽度 b 的 5 倍。钛合金试样和镁合金试样平行段长度 l_0 应不大于宽度 b 的 4 倍。

7.1.4 试样夹持端的形状应适合试验机的夹头，试样夹持端和平行段长度之间以过渡圆弧连接。

7.2 试样加工

7.2.1 在铝合金、镁合金、钛合金板材、型材上取样，铝合金、镁合金试样切取部位和方向应满足 GB/T 16865 的规定，钛合金试样切取部位和方向应满足 GB/T 23604 的规定。

7.2.2 切取和机械加工试样时，不应影响试样形状、尺寸及力学性能等。

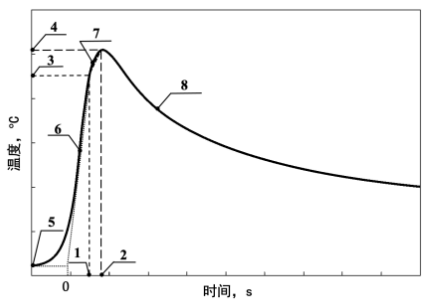
7.2.3 制备试样的缩减部分（包括过渡处）不应使用冲压加工。

8 试验步骤

8.1 热循环曲线绘制

8.1.1 采用温度测量法或数值模拟技术获得实际热加工过程中工件不同位置处的温度数据。

8.1.2 根据温度数据，绘制不同峰值温度下的热循环曲线，示意图见2，对加热段分段线性拟合。



标引序号说明：

1——加热过程第一阶段加热时间，t_{h1}；

2——总加热时间，t_{h2}；

3——加热过程的第一阶段峰值温度，T_{pk1}；

4——加热过程的第二阶段峰值温度，T_{pk2}；

5——试验初始温度，T_0；

6——第一段加热；

7——第二段加热；

8——冷却阶段。

图2 热循环曲线示意图

8.2 热循环特征参数确定

8.2.1 根据绘制的热循环曲线图确定峰值温度、加热速率和冷却速率，其中加热过程分为两阶段，热循环特征参数包括第一阶段峰值温度T_{pk1}、第二阶段峰值温度T_{pk2}、第一阶段加热速率v_{h1}、第二阶段加热速率v_{h2}、第一阶段加热时间t_{h1}和总加热时间t_{h2}。

8.2.2 铝合金和镁合金力学熔点测试的第二阶段峰值温度 T_{pk2} 与第一阶段峰值温度 T_{pk1} 之差应不大于50℃。钛合金力学熔点测试的第二阶段峰值温度 T_{pk2} 与第一阶段峰值温度 T_{pk1} 之差应不大于 100℃。

8.2.3 第一阶段加热速率 v_{h1} 和第二阶段加热速率 v_{h2} 通过线性拟合获得。

8.2.4 第一阶段加热速率 v_{h1} 的拟合直线与试验环境温度水平线的交点对应的时间设为 0s。

8.2.5 铝合金和镁合金力学熔点测试的第二阶段加热时间(t_{h2}-t_{h1})应不小于1s。钛合金力学熔点测试的第二阶段加热时间(t_{h2}-t_{h1})应不小于 2s。

8.2.6 冷却速率 v_c 根据实际给定的冷却速率确定。

8.2.7 记录热循环特征参数值。

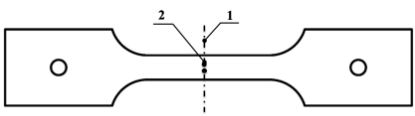
8.3 测试

8.3.1 在 T_y~0.9T_m（T_y 为材料的屈服温度，T_m 为材料的熔点）温度区间内均布选择不少于 8 个预设峰值温度，每个预设峰值温度测试 5 个试样，根据数据有效性判定方法确定增补试样数量。

8.3.2 使用游标卡尺按 GB/T 16865 规定的方法测量试样厚度 a 和宽度 b。

8.3.3 按预设峰值温度对试样进行编号。

8.3.4 将热电偶两电极点焊在试样中心线上，两焊点间距应不超过 2mm，如图 3 所示。



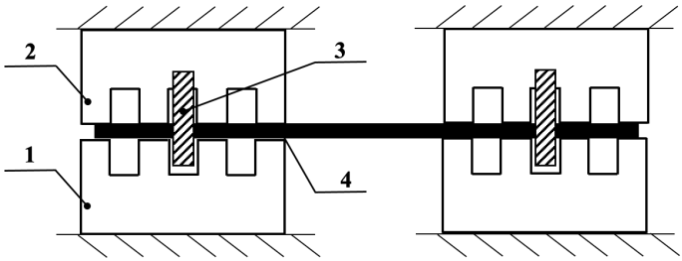
标引序号说明:

1——中心线；

2——热电偶焊点。

图3 热电偶点焊示意图

8.3.5 将试样按图 4 装夹到试验机中，两端应刚性固定，试验过程中试样不应移动。



标引序号说明:

1——下夹具;

2——上夹具;

3——固定销;

4——试样。

图1 装夹典型示意图

8.3.6 将热电偶连接到试验机的温度测量通道上，进行温度采集及控制。若采用镍铬-镍硅热电偶测温，应选用 K 型温度测量通道；若采用铂铑合金热电偶测温，应选用R 型温度测量通道。

8.3.7 根据热循环特征参数，编制热循环模拟试验程序，加热前应将力归零，采用真空泵抽真空，采用位移控制模式进行试验。

8.3.8 运行试验，采集和保存时间s、温度T、力值F等试验数据。

8.3.9 按从低到高的预设峰值温度进行试验，每个预设峰值温度测试不少于 5 个试样，每次试验需更换试样，重复步骤 8.3.2～8.3.8，完成不同预设峰值温度下的热模拟试验。

8.4 试验数据处理

8.4.1 根据试验数据，绘制力-温度的曲线图，并对数据进行拟合。

8.4.2 按公式（1）计算热循环过程的应力值σ,数值以牛顿每平方毫米（N/mm^2）表示，绘制应力-温度曲线图，示意图见图 5。

$$\sigma = \frac{F}{A} \cdots\cdots (1)$$

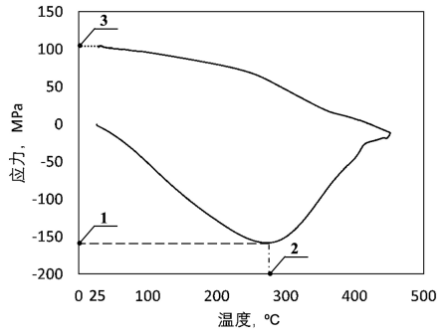
式中:

F——力值，单位为牛顿（N）；

A——原始横截面积，单位为平方毫米（mm^2）。

计算结果保留至整数位，数值修约按GB/T 8170的规定进行。

8.4.3 从图5 获得不同峰值温度试验下的屈服温度、屈服应力以及残余应力。



标引序号说明:

1——屈服应力;

2——屈服温度;

3——残余应力。

图5 应力-温度曲线示意图

8.5 试验数据有效性判定

8.5.1 测试完成后，根据相同峰值温度下的屈服温度、屈服应力以及残余应力，按GB/T 3358.1计算样本标准差S:

$$S=\sqrt{\frac{1}{n-1}\sum_{i=1}^{n}(x_i-\bar{x})^2} \quad \cdots\cdots (2)$$

式中:

$\bar{x}$——样本平均值;

x_i——单次样本测量值;

n——样本数。

计算结果表示至小数点后两位，数值修约按GB/T 8170的规定进行。

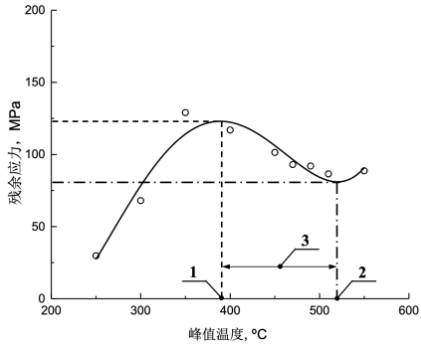
8.5.2 相同峰值温度下的屈服温度、屈服应力以及残余应力应在95%的置信度区间($\bar{x}$-$k_{(p,1-\alpha,v)}S$, $\bar{x}$+$k_{(p,1-\alpha,v)}S$)内，记为有效数据。$k_{(p,1-\alpha,v)}$为正态分布的单边误差限系数，可查表获得，1-α=95%为置信度，α为0.05。

8.5.3 如果试验测试的屈服温度、屈服应力以及残余应力中任何一个数据不在置信度区间，判定试验结果无效，应取双倍试样进行补测，确保相同峰值温度下有5个有效试验数据，并进行记录。

8.6 力学熔点计算

8.6.1 对每个峰值温度下有效试验数据的残余应力取平均值，绘制残余应力-峰值温度曲线图，示意图见图6，采用一元四次方程拟合获得数学方程，求解方程一阶导数为零的温度结果，中间值为力学熔点起始温度，最大值为力学熔点结束温度。力学熔点值保留至整数位，数值修约按GB/T 8170的规定进行。

8.6.2 根据图6曲线，波峰为力学熔点起始温度，波谷为力学熔点结束温度，记录力学熔点数据。



标引序号说明:

1——起始温度;

2——结束温度;

3——力学熔点。

图6 残余应力-峰值温度曲线示意图

8 试验报告

试验报告应至少包括下列内容:

a) 试样材料的牌号、状态、炉号、批号等;

b) 试样编号等;

c) 试样尺寸;

d) 热循环特征参数及冷却方式;

e) 试验结果（包括屈服强度、屈服温度、残余应力、力学熔点开始温度、力学熔点结束温度等）;

f) 本文件编号;

g) 试验过程中的异常情况;

h) 试验人员;

i) 试验日期。