

304 不锈钢薄板微成形行为实验研究

李河宗 李金亮

(河北工程大学 机电学院 河北 邯郸 056038)

摘 要 随着微成形技术的快速发展,微型零件在各行业得到广泛的应用,需求也大大增加。在微成形过程中,由于材料的晶粒尺寸越来越趋近零件的几何尺寸等,导致材料的力学性能与宏观大尺寸零件相比,呈现出不同的尺寸效应现象。针对四种厚度 304 不锈钢薄板进行了单向拉伸试验,测得板料的屈服应力随板料的减薄而增大,表现出“越薄越强”的尺寸效应现象,而材料延伸率随板料的减薄而减小,表现出“越薄越脆”的尺寸效应现象。

关键词 304 不锈钢;尺寸效应;单向拉伸

随着现代工业的飞速发展,产品的微型化已成为工业界不可阻挡的趋势。新的挑战应运而生,微机电系统的加工质量、加工方式、加工批量等面临着新的考验。相对于宏观大尺寸零件,微型零件在一个或多个尺寸处于毫米或以下级别时,其力学性能表现出一定的尺寸效应,随着尺寸的减小,这种尺寸效应也更加明显。

国内外学者在微塑性成形技术方面的研究越来越多。德国的 Engel 等学者^[1]通过对零件进行单向拉伸试验和翻边试验,发现随着尺寸的减小,一些几何相似材料的流动应力也相应减小,而 Giger 等人^[2]也进行了单向拉伸试验,发现了关于材料的应力-应变变化的相关规律,即材料的延伸率、抗拉强度等相关塑性性能都随试样尺寸的减小而减小,但具体影响因素还有待探究。哈尔滨工业大学的郭斌、单德彬等教授^[3]对塑性微成形变形规律进行了研究,对薄板成形中尺寸效应产生的机理进行了理论分析;上海交通大学董湘怀教授等^[4]开展了塑性微成形技术和理论研究,对 CuZn37 黄铜板料微塑性成形中的尺寸效应进行了研究。

文章通过单向拉伸试验,对 304 不锈钢在试验中表现出的尺寸效应进行了理论分析。

1 单向拉伸试验

1.1 试验过程

首先将 304 不锈钢薄板材料通过线切割切割成试验所需的试样,试样厚度分别为 200 μm 、100 μm 、50 μm 、20 μm ,以氩气为保护气体,加热到 1000 $^{\circ}\text{C}$,采用退火处理方式得到均匀的晶粒组织。本实验采用 KEYENCE VH-600 晶粒度测量方法测量晶粒尺寸,测量较薄试样时,考虑到厚度方向上晶粒数目少,因此选取试样长度方向的晶粒测量数目。通过金相试验观察晶粒状态,试样晶粒尺寸见表 1。由表 1 可得,试样晶粒大小随厚度的增加,无明显变化。

表 1 试样晶粒尺寸

板料厚度 (μm)	20	50	100	200
	16.7	17.9	20.1	22.7

在 CMT4000 系列电子万能试验机上对不同厚度的试样进行单向拉伸试验,试验时选取合适的夹头固定试样,试样厚度 20、50、100、200 μm 对应的拉伸速度分别为 400、1000、2000、4000 $\mu\text{m}/\text{min}$ 。在试验过程中,同种厚度试样的拉伸试验不少于 3 次,对 3 次试验数据取平均值。

1.2 应力-应变曲线分析

三次重复的单向拉伸试验获得的数据构成的曲线是位移-力曲线,经过数据处理获得各种厚度试样的真实应力-真实应变曲线,如图 1 所示。

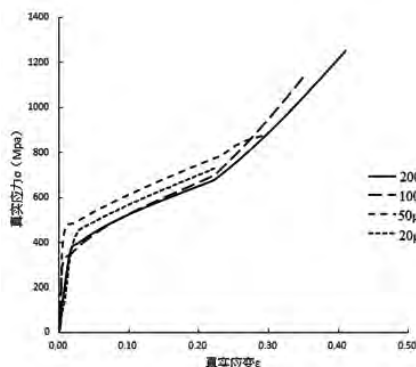


图 1 各厚度试样的应力-应变曲线

由应力-应变曲线,得到试样的屈服应力,各厚度对应的屈服应力见表 2。

表 2 试样屈服应力

板料厚度 (μm)	20	50	100	200
屈服应力 (MPa)	489	502	351	387

由图 1 和表 1 可得,试样的初始屈服应力试验值随着厚度的减小,呈现出增加的趋势,表现出“越薄越强”的尺寸效应现象。

1.3 材料延伸率分析

延伸率是指材料在拉伸试验时断裂瞬间的最大应变量,材料的延伸率越大,塑性成形性能就越好^[5],因此延伸率是表征材料塑性性能的重要指标。

$$\text{延伸率 } \delta = \frac{\Delta L}{L} \times 100\%$$

式中: ΔL —拉伸后试样的变形长度(μm); L —试样原长度(μm)

根据公式计算并处理试验数据,可获得材料延伸率和厚度关系曲线图,如图 2 所示。

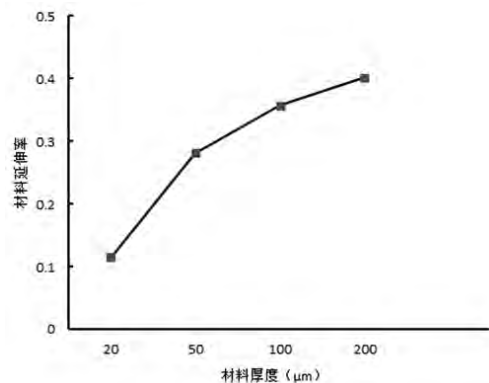


图 2 厚度对延伸率影响图

由观察图 2 可得,材料延伸率随试样的变薄呈降低趋势,且试样越薄这种趋势越明显,在试样厚度超过 50 μm 后增加速度趋于平缓,但仍比较显著,呈现出延伸率“越薄越弱”的尺寸效应现象。

2 结束语

文章通过对 304 不锈钢薄板进行单向拉伸试验,主要研究了屈服应力、延伸率这两项指标,主要结果有:随着试样厚度的减薄,表层晶粒数目的减少加强了钝化膜的效果,使屈服应力增强;塑性成形方面,材料的延伸率随着试样变薄而减小,表现出“越薄越弱”的尺寸效应现象。

参考文献

- [1]Engel U, Eckstein R. Microforming—from basic research to its realization[J]. Journal of Materials Processing Technology, 2002, 125(2): 35–44.
- [2]M. Geiger, R. Eckstein. Microforming advanced technology of plasticity [C]. Proceedings of the 7th ICTP, Yokohama, Japan, 2002, 6: 327–338.
- [3]周健, 郭斌, 单德彬. 铜箔抗拉强度及延伸率的尺寸效应研究[J]. 材料科学与工艺, 2010, 4: 445–449.
- [4]李河宗, 董湘怀, 申昱. CuZn37 黄铜板料微塑性成形中的尺寸效应研究[J]. 材料科学与工艺, 2011(8): 15–19.
- [5]赵迎红, 雷丽萍, 曾攀. 微塑性成形技术及其力学行为特征[J]. 塑性工程学报, 2005, 6: 1–6.