

7055铝合金材料动态压缩力学性能研究

王佐君, 齐丹, 张锐, 刘小川, 高景龙

沈阳理工大学, 辽宁 沈阳

收稿日期: 2022年4月22日; 录用日期: 2022年5月24日; 发布日期: 2022年5月31日

摘要

7055铝合金是目前最先进的高强度高韧铝合金, 具有较好的抗应力腐蚀性能。霍普金森杆是检测金属在动态压缩下的力学性能最有效的手段。本文即利用霍普金森杆、DHDAS动态信号采集分析系统、origin软件、SHPB金森波形处理软件等, 研究7055铝合金在不同冲击载荷下的应力-应变曲线, 探究材料动态冲击下的力学性能对于改善交通工具的抗变形能力。

关键词

7055铝合金, 霍普金森杆, 动态压缩力学性能

Study on Dynamic Compression Mechanical Properties of 7055 Aluminum Alloy Material

Zuojun Wang, Dan Qi, Rui Zhang, Xiaochuan Liu, Jinglong Gao

Shenyang University of Science and Technology, Shenyang Liaoning

Received: Apr. 22nd, 2022; accepted: May 24th, 2022; published: May 31st, 2022

Abstract

7055 aluminum alloy is the most advanced high-strength and high-toughness aluminum alloy at present, with good stress corrosion resistance. Hopkinson rods are the most effective means of testing the mechanical properties of metals under dynamic compression. This paper uses the Hopkinson bar, DHDAS dynamic signal acquisition and analysis system, origin software, SHPB Kinson waveform processing software, etc. to study the stress-strain curve of 7055 aluminum alloy under different impact loads, and explore the mechanical properties of the material under dynamic impact.

Keywords

7055 Aluminum Alloy, Hopkinson Rod, Dynamic Compression Mechanical Properties

Copyright © 2022 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

如今铝合金材料广泛应用于道路交通、航空航天等各大领域。在实际生活中, 避免不了撞击类突发情况造成的重大事故, 且复杂的工作环境对其性能要求也越来越高, 因此对铝合金提出了冲击载荷下的力学性能要求[1]。目前, 普通的 7XXX 系铝合金的生产和应用已进入实用化阶段, 但是更高性能的先进铝合金(如 7055 铝合金)仍然处于研究阶段, 尚未达到应用的程度[2]。7055 铝合金是目前超高铝合金中强度较高且断裂韧性和耐腐蚀性能较好的一种新型变形铝合金[3], 故本文选用 7055 铝合金作为主要研究材料。

SHPB 是近 50 年来测试材料动态压缩力学性能的新兴技术, 已发展为在 $10^2 \sim 10^4 \text{ S}^{-1}$ 应变率范围内获得材料应力应变关系的最主要的试验方法[4], 杆件和试样端面的应力 - 位移 - 时间之间的关系通过杆中应力波的传播情况来求得[5], 从而得到试样应力 - 应变曲线。故本文利用 SHPB 技术展开对 7055 铝合金动态压缩力学性能的研究。

1.1. 霍普金森杆技术

霍普金森杆是由气枪、子弹、入射杆、透射杆、能量吸收装置和数据采集系统组成。撞击杆、入射杆、透射杆和吸收杆四部分组成压杆系统。撞击杆速度的测量系统和压杆上的传感系统组成测量系统[6], 其用途主要用来测试材料在高应变率下的力学性能。数据采集系统作用是对信号的采集、处理和显示。

1.2. 霍普金森杆基本工作原理

在高压气体的推动下, 撞击杆(子弹)被赋予一定速度由发射管打出, 安装在发射管与入射杆之间的平行光源可发射与接收激光信号, 可以测得两个光源间的距离, 当子弹经过平行光源时会遮挡光信号, 产生一定宽度的脉冲信号, 即可测出子弹通过平行光源的时间进而可求出子弹的撞击速度。撞击输入杆时, 在杆内会产生一个入射脉冲, 置于两杆之间的试件在应力脉冲下产生高速变形, 与此同时, 输出杆中产生透射脉冲, 输入杆中产生与入射脉冲反向的反射脉冲。距杆端部同等距离相应位置上有粘贴在压杆上应变片, 应变片经电桥连接在超动态应变测试仪上, 据此即可测出压杆中的应变。数据采集的仪器是 DHHP-20, 采集软件是 DHDAS 动态信号分析采集系统。吸收杆主要是用来吸收来自输出杆的动能, 以削弱二次波加载效应, 为保证获得完整的入射及反射波形。

2. 实验部分

实验步骤

1) 取试件取值为长 6 mm, 直径 6 mm 的圆柱体 7055 铝合金。取同样尺寸的普通铝合金(6XXX 系), 为后续对比实验做准备。

- 2) 将霍普金森杆所有相关的实验设备连接好。
- 3) 采用 DHDAS 动态信号采集分析系统。将 DHHP-20 超动态数据采集系统与霍普金森杆相连。用计算机中的软件调试。
- 4) 打开氮气开关开始实验。
- 5) 得到图像后，输出数据。然后通过 origin 软件画出图像，得到应力 - 应变曲线。

3. 实验结果与分析

3.1. 曲线分析

首先我们拿出实验图像来简单说明 7055 铝合金在高应变率下的形变特点。SHPB 实验发生在高应变率的冲击下，冲击时间非常短(2×10^{-4} s 左右)。如图 1，在图像最高点发生屈服现象，此刻被压缩的金属基体内产生大量孪晶。在屈服点的前面变形速度很快，发生了非塑性变形，在屈服点的后面发生塑性变形，此时的变形为不可逆变形。曲线的最高点为 7055 铝合金材料所承受的最大工程应力，这个应力的大小体现了材料的弹性极限。如果超过材料的弹性极限，材料会发生断裂，这个最高点代表着实验进行中冲击力的最大值，当应力加载到这个点时说明材料形变达到最大值，超过这个点后，加载失效，力逐渐消失，塑性变形发生，材料也发生了不可逆的形变[7]。接下来我们用实验得到的数据应用控制变量法进行对比分析。工程应变即材料试样在外力作用下，试样的绝对形变量与原尺寸之比。在材料被使用的过程中受到应力作用发生变形，受到的应力越大，材料发生的形变越大；工程应变的大小和工程应力的大小有直接关系，工程应力越大，工程应变也就越大。我们实验后得到了应力—应变曲线，曲线的特点是开始的斜率很大，在屈服后斜率变小，直至最后的趋于平缓。

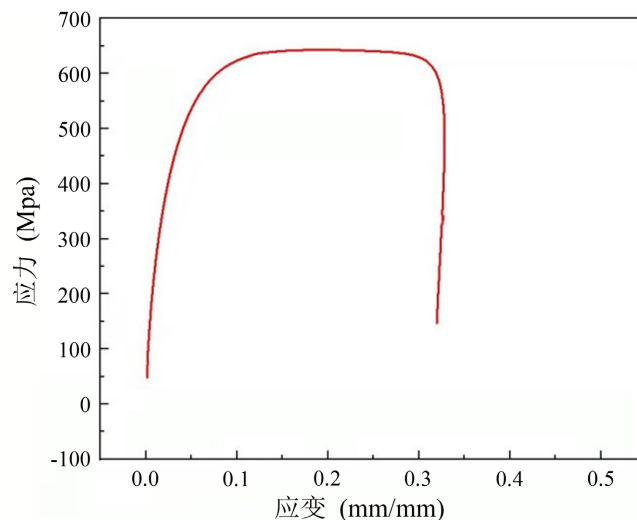


Figure 1. Stress-strain curve of 7055 aluminum alloy
图 1. 7055 铝合金的应力 - 应变曲线

3.2. 不同冲击速度对 7055 铝合金性能的影响

如图 2 所示，四组实验分别为在相同条件下使用霍普金森杆撞击 7055 铝合金材料所得到的应力—应变曲线，四组实验分别使用了四个不同的速度： $V_1 = 11.27$ m/s、 $V_2 = 18.72$ m/s、 $V_3 = 21.8$ m/s、 $V_4 = 24.48$ m/s。每个曲线的最高点即实验时应力卸载时的点，纵坐标代表卸载时的应力大小，横坐标代表卸载时试样发生的应变。当实验时冲击材料，入射杆的前段设有黄铜垫片，将力均匀的加载到试样上，试样所受

的应力随着时间的变大而变大，试样的变形也越来越大，曲线的横坐标代表实验的工程应变，曲线最高点的横坐标近似于试样的最大变形量，最高点以后代表力的卸载。

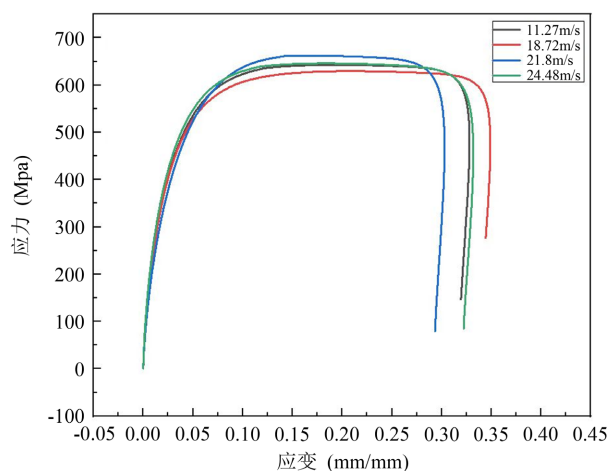


Figure 2. Stress-strain curve of 7055 aluminum alloy under different impact speeds

图 2. 7055 铝合金在不同冲击速度下的应力 - 应变曲线

分析上列图像的屈服点，虽然这四组的速度都不相同，但是他们的屈服点却相差不大，可以说速度对于屈服的影响很小，在常见的冲击速度下 7055 铝合金材料都会保持较高的屈服强度。

3.3. 相同条件下 7055 铝合金与普通铝合金性能对比

为了探究 7055 铝合金性能优异性，在实验中只以不同材料为变量，不改变环境因素以及撞击速度，在相同条件下冲击常用的普通铝合金(6 系)，以此来对比 7055 铝合金材料在性能上与传统铝合金的优劣性。

对比图 3~6 中两种材料在四种不同速度撞击下的应力 - 应变曲线，发现在屈服点之前的弹性变形阶段，所有实验的 7055 铝合金材料的屈服强度明显大于 6 系铝合金材料，结合表 1 所示试样冲击前后数据对比，7055 铝合金的应变率也低于 6 系铝合金。说明在相同环境，相同的撞击条件下，7055 铝合金比 6 系铝合金拥有更高的强度和更好的韧性。

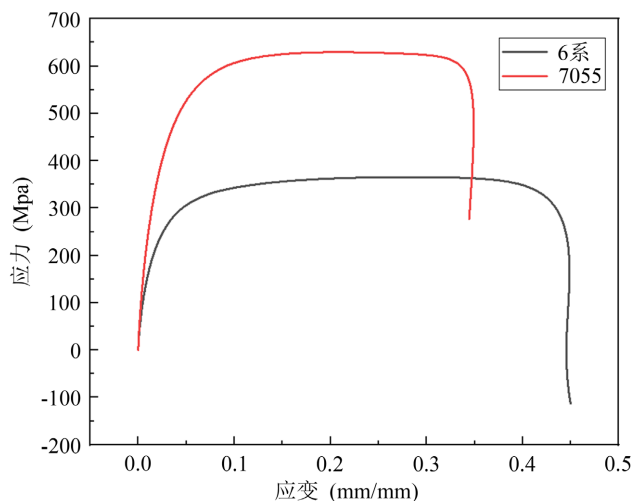


Figure 3. Stress-strain curve of aluminum alloy under 11.27 m/s impact

图 3. 11.27 m/s 冲击下的铝合金应力 - 应变曲线

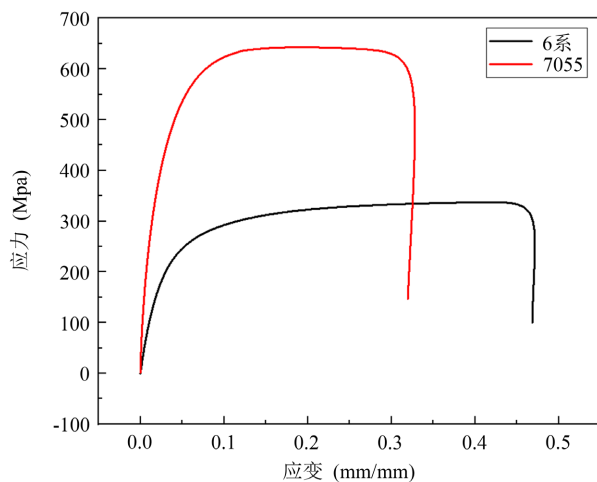


Figure 4. Stress-strain curve of aluminum alloy under 18.72 m/s impact
图 4. 18.72 m/s 冲击下的铝合金应力 - 应变曲线

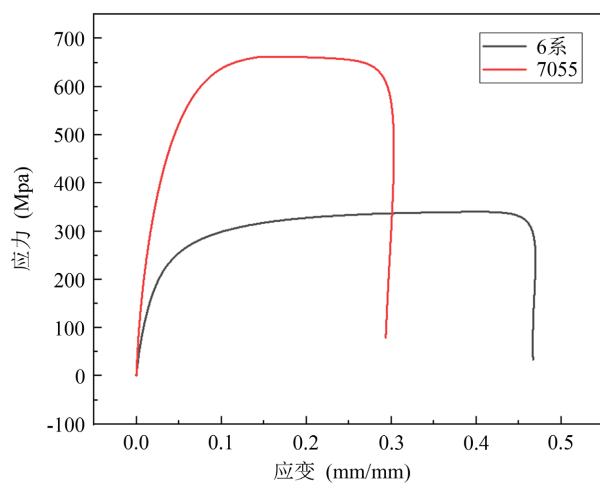


Figure 5. Stress-strain curve of aluminum alloy under 21.8 m/s impact
图 5. 21.8 m/s 冲击下的铝合金应力 - 应变曲线

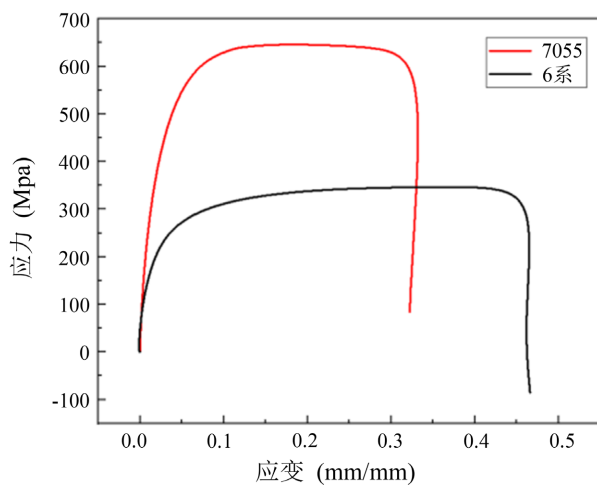


Figure 6. Stress-strain curve of aluminum alloy under 24.48 m/s impact
图 6. 24.48 m/s 冲击下的铝合金应力 - 应变曲线

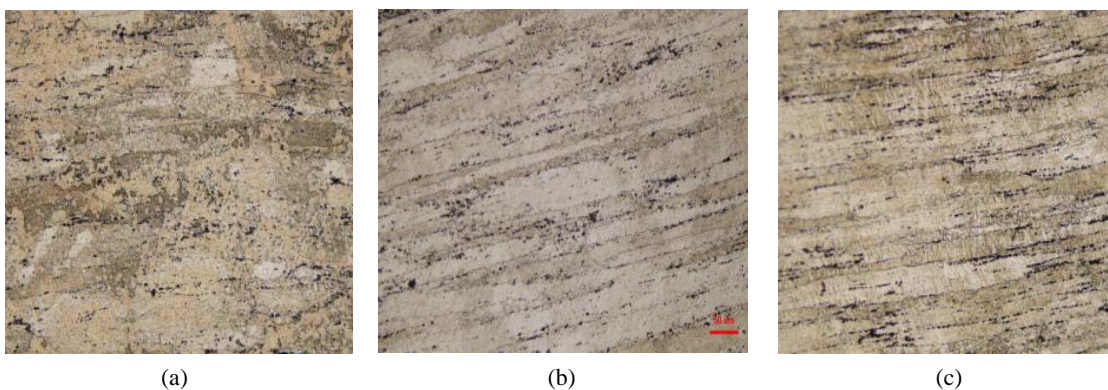
Table 1. Sample size and strain rate before and after impact**表 1.** 试样冲击前后尺寸及其应变率

| 试样 | 冲击速度 | 冲击前长度 | 冲击后长度 | 应变率 |
|------------|-----------|-------|---------|-------|
| 6 系铝合金 1 | 11.27 m/s | 6 mm | 4.70 mm | 0.217 |
| 7055 铝合金 1 | 11.27 m/s | 6 mm | 5.48 mm | 0.087 |
| 6 系铝合金 2 | 18.72 m/s | 6 mm | 3.72 mm | 0.38 |
| 7055 铝合金 2 | 18.72 m/s | 6 mm | 4.40 mm | 0.267 |
| 6 系铝合金 3 | 21.8 m/s | 6 mm | 2.58 mm | 0.57 |
| 7055 铝合金 3 | 21.8 m/s | 6 mm | 4.00 mm | 0.333 |
| 6 系铝合金 4 | 24.48 m/s | 6 mm | 2.02 mm | 0.663 |
| 7055 铝合金 4 | 24.48 m/s | 6 mm | 3.30 mm | 0.45 |

3.4. 金相分析

由下图 7(a)~(f)可知:

×200 金相图



×500 金相图

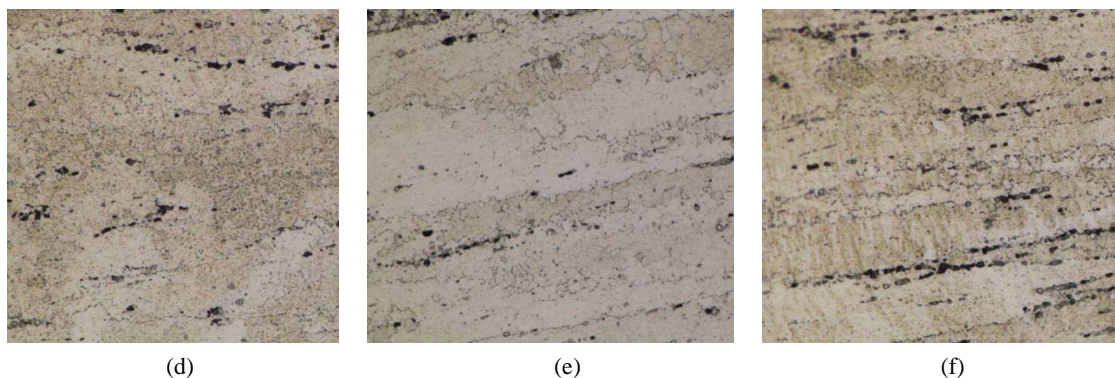


Figure 7. (a) 7055-0.3mpa; (b) 7055-0.4mpa; (c) 7055-0.5mpa; (d) 7055-0.3mpa; (e) 7055-0.4mpa; (f) 7055-0.5mpa
图 7. (a) 7055-0.3mpa; (b) 7055-0.4mpa; (c) 7055-0.5mpa; (d) 7055-0.3mpa; (e) 7055-0.4mpa; (f) 7055-0.5mpa

通过金相图分析可知, 7055 铝合金的组织中在 α 基体上分布着较多的第二相, 造成第二相强化, 同时 7 系铝合金的 θ 相, S 相, T 相等强化相也保证了铝合金拥有较高的强度与硬度。

由不同速率冲击后的金相对比发现,随着冲击速率的增加,合金的晶界被压缩,晶粒逐渐被拉长,铝合金收到冲击时发生冷变形,产生加工硬化现象,提高了材料的强度和硬度。随着冲击力越大,晶粒越细小,但没有明显的破碎,表明 7055 铝合金具有很好的稳定性,在外力的作用下不容易断裂,体现了 7055 铝合金具有良好的抗变形能力。

4. 结论

1) 7055 铝合金的环境适应能力较好,在速度跨度较大的冲击下能保证较高的强度与硬度。

2) 相同条件下,7055 铝合金比普通铝合金(6 系)有更高的屈服强度和更小的应变率,说明 7055 铝合金的抗变形能力更好。

基金项目

沈阳理工大学 2020 年“大学生创新创业训练计划”(编号 202010144011)。

参考文献

- [1] 李落星,叶拓,郭鹏程,徐从昌. 挤压态 6061 铝合金动态力学性能及微观组织演变[J]. 中国材料进展, 2016, 35(4): 268-274.
- [2] 朱耀. AA 7055 铝合金在不同温度及应变率下力学性能的实验研究[D]: [博士学位论文]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2010.
- [3] 闫亮明,王志强,沈健,李周兵,李俊鹏,毛柏平. 7055 铝合金的研究现状及展望[J]. 材料导报, 2009, 23(9): 69-73.
- [4] 李继明. 超声表面滚压处理对渗碳齿轮钢弯曲疲劳性能影响的研究[D]: [硕士学位论文]. 镇江: 江苏科技大学, 2019.
- [5] 黄雄. 三维四向编织复合材料动态力学性能及鸟撞特性研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京航空航天大学, 2017.
- [6] 滕婉婷. 温压炸药发射安全性相关研究[D]: [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2013.
- [7] 易培文. 机械应变及并联下的高温超导带材临界电流研究[D]: [硕士学位论文]. 成都: 西南交通大学, 2015.