

文章编号: 1001-4888(2022)06-0881-08

预紧力对 G50 动态拉伸实验结果的影响研究^{*}

陈军红, 张方举, 郭玲梅, 谢若泽, 徐伟芳

(中国工程物理研究院 总体工程研究所, 四川绵阳 621999)

摘要: 螺纹连接是动态拉伸实验中常用的连接方式, 试样与波导杆之间连接的松紧程度会对测试结果产生显著影响。在传统分离式霍普金森拉杆的基础上, 设计了试样预紧力施加装置, 利用改进后的分离式霍普金森拉杆开展了 G50 材料动态拉伸力学性能实验, 并研究了预紧力大小对测试结果的影响。结果表明: 未施加预紧力时, 在加载初期, 波的弥散效应使得透射波出现剧烈振荡, 通过应力应变曲线无法有效获取试样的屈服应力等信息。随着预紧力的增加, 波的弥散效应得到改善, 透射波振荡逐渐减弱, 当预紧力达到临界值后, 透射波振荡基本消失, 通过处理入射波、反射波和透射波能获得较为光滑的应力应变曲线以及材料屈服应力及应变硬化等信息。

关键词: 动态拉伸; 螺纹连接; 预紧力; 应力波传播; 屈服应力

中图分类号: O347 **文献标识码:** A **DOI:** 10.7520/1001-4888-21-306

0 引言

材料动态力学性能数据对于材料构成的武器装备结构设计、毁伤效应评估及冲击安全性评估具有重要意义。材料动态拉伸力学性能数据因其能反映材料的屈服强度、断裂强度以及断裂应变等多种信息而被广泛关注^[1-5]。金属材料动态力学性能实验一般采用分离式霍普金森拉杆(SHTB)开展, 实验时, 试样连接在入射杆和透射杆之间, 通过撞击在入射杆中产生拉伸应力波, 拉伸应力波通过入射杆的传播对试样加载, 并在试样两端产生反射和透射。利用应变片记录入射波、反射波和透射波, 利用一维应力波原理处理测得的数据从而获取材料在 $10^2/\text{s} \sim 10^3/\text{s}$ 应变率下的应力应变曲线^[6,7]。从 SHTB 实验中应力波传播过程可以看出, 试样与波导杆之间的界面连接特性会影响应力波的反射和透射, 从而进一步影响材料动态拉伸力学性能数据的准确性和有效性。

在 SHTB 实验中, 螺纹连接因其易于拆装且同时适用于片状和棒状试样而得到广泛应用, 在相关的国家标准中也推荐使用该种连接方式^[8-11]。但螺纹连接中界面较多, 应力波在其中的传播规律尚不清楚。现有的研究表明, 在螺纹连接结构中, 应力波的传播受预紧力大小以及螺纹表面润滑等诸多因素的影响^[12,13]。在 SHTB 实验中, 螺纹连接结构特性是如何影响材料动态拉伸实验结果的仍需进一步研究。

G50 钢因具有超高强度和高韧性而在航空工业及武器工程等领域得到了较好的应用^[14,15], 相比于准静态力学性能, 目前对该种材料动态拉伸力学性能的研究相对较少。因此, 本文以 G50 钢为研究对象, 利用 SHTB 实验装置对 G50 钢进行动态拉伸实验, 实验中, 分别对试样螺纹连接施加预紧力和不施加预紧力, 分析比较预紧力对透射波和反射波以及 G50 动态拉伸应力应变曲线的影响。

^{*} 收稿日期: 2021-12-30; 修回日期: 2022-06-09

基金项目: 国家自然科学基金(11602257); 中物院创新与发展基金(CX20210031)

通信作者: 张方举(1970—), 男, 研究员。主要研究领域: 冲击动力学实验技术。Email: zhangfj@caep.cn

1 动态拉伸实验

利用分离式霍普金森杆实验技术进行材料动态力学性能实验主要基于两个基本假定:一个是一维应力波假定,这个假定在波导杆长径比较大时是基本成立的;另一个是试样中应力、应变沿试样长度均匀分布假定,在这个假定条件下,试样中的应变和应力能分别用试样两端的位移差和平均载荷求得。

动态拉伸实验所用的实验装置为分离式霍普金森拉杆(SHTB),该装置示意图如图 1 所示。利用机械方式驱动撞击块以一定的速度撞击挡块,当连接短杆断裂时会产生一拉伸应力波,应力波向试样传播,在试样与入射杆界面处,一部分应力波发生透射进入透射杆,另一部分应力波反射回入射杆。在入射杆和透射杆中间位置分别粘贴有应变片,记录杆中的入射波、透射波和反射波。设试样与入射杆相连的端面为 1,试样与透射杆相连的端面为 2,根据线弹性波的线弹性叠加原理,试样两端的位移分别为

$$U_1 = C_b \int_0^t (\epsilon_I(t) - \epsilon_R(t)) dt \quad (1)$$

$$U_2 = C_b \int_0^t \epsilon_T(t) dt \quad (2)$$

在应力分布均匀的情况下,试样中的平均应变率和平均应变分别为

$$\dot{\epsilon}(t) = \frac{C_b}{l_0} [\dot{\epsilon}_I(t) - \dot{\epsilon}_R(t) - \dot{\epsilon}_T(t)] \quad (3)$$

$$\epsilon(t) = \frac{C_b}{l_0} \int_0^t [\dot{\epsilon}_I(t) - \dot{\epsilon}_R(t) - \dot{\epsilon}_T(t)] dt \quad (4)$$

试样两端的载荷分别为

$$F_1(t) = A_b E_b (\epsilon_I(t) + \epsilon_R(t)) \quad (5)$$

$$F_2(t) = A_b E_b \epsilon_T(t) \quad (6)$$

同样,在试样中应力分布均匀时,试样中的平均应力可用下式计算:

$$\sigma(t) = \frac{F_1(t) + F_2(t)}{2 A_0} = \frac{r_b^2}{2 r_0^2} E_b [\epsilon_I(t) + \epsilon_R(t) + \epsilon_T(t)] \quad (7)$$

式(1)~式(7)中: ϵ_I 、 ϵ_R 和 ϵ_T 分别为入射波、反射波和透射波; r_b 、 r_0 和 A_0 分别为波导杆半径、试样标距段半径和横截面面积; C_b 和 l_0 分别为波导杆弹性波波速和试样标距段长度; A_b 和 E_b 分别为波导杆横截面面积和弹性模量。

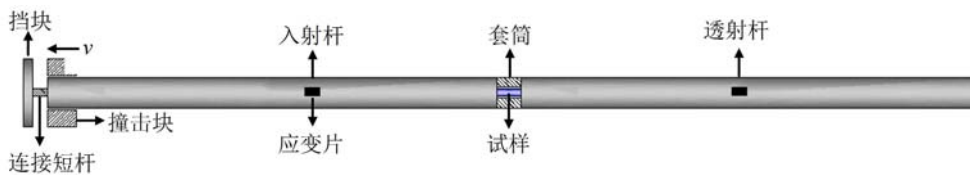


图 1 霍普金森拉杆(SHTB)示意图

Fig. 1 Schematic diagram of split Hopkinson tensile bar(SHTB)

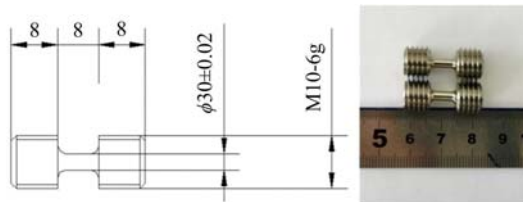


图 2 动态拉伸试样尺寸示意图和实物照片(单位:mm)

Fig. 2 Schematic diagram of the specimen for dynamic tensile tests(unit:mm)

动态拉伸试样尺寸示意图和实物照片如图 2 所示,试样为哑铃状,两端加工成 M10 螺纹,与入射杆和透射杆通过螺纹连接。图 3 所示为试样预紧力施加装置尺寸示意图和实物照片,该装置为空心圆筒,

材料为 1Cr21Ni5Ti 不锈钢。空心圆筒套于试样外,并放置于入射杆和透射杆之间,如图 1 所示。实验时,利用扭力扳手周向拧紧入射杆和透射杆,在空心圆筒中形成预紧压应力的同时也在试样中形成预紧拉应力。在空心圆筒表面粘贴应变片,记录拧紧过程中的应变信号,试样中的预紧力通过式(8)获得:

$$F = E_y \epsilon_y A_y \quad (8)$$

式中: E_y 、 ϵ_y 和 A_y 分别为空心圆筒的弹性模量、应变和横截面面积。预紧力施加过程中,监测空心圆筒表面应变输出信号,确保空心圆筒和试样均处于弹性状态。

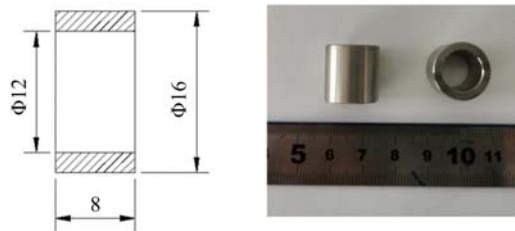


图 3 动态拉伸实验中试样预紧力施加装置(单位:mm)

Fig. 3 The ring used to preload the specimen in the dynamic tensile tests(unit: mm)

2 实验结果

2.1 无预紧动态拉伸实验

图 4 给出的是未施加预紧力时 G50 试样典型的原始波形、试样两端载荷和位移、试样应力应变曲线。图中标记 C 对应的时刻为透射波快速下降和反射波快速增加的时刻,在该时刻试样发生了断裂,以该时刻为基准,将入射波、透射波和反射波起点对齐,标记 A 为入射波到达试样的时刻。从图 4(a)中

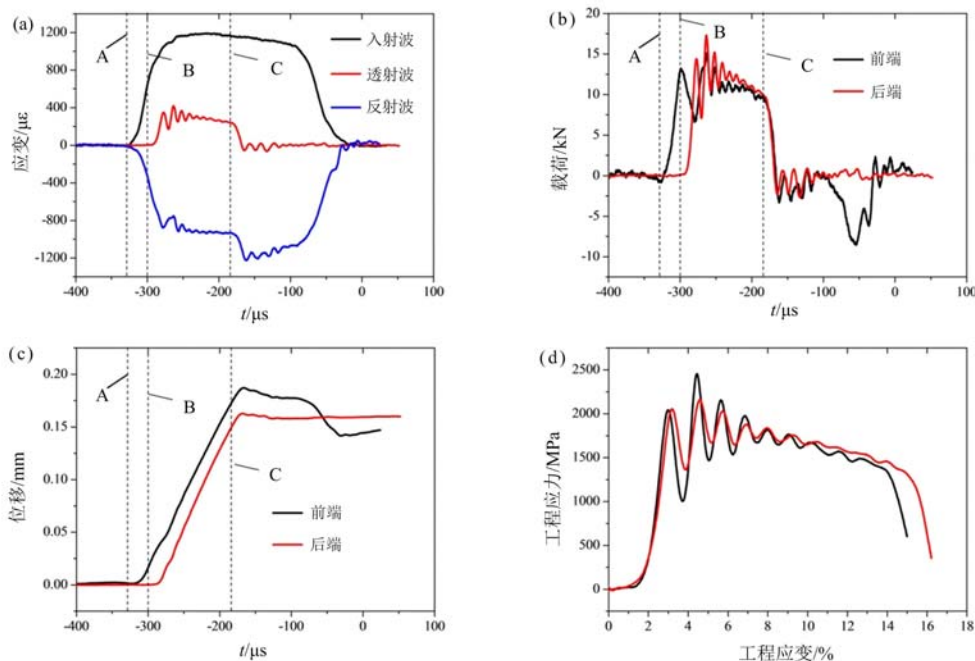


图 4 无预紧情况下的实验结果:(a) 原始波形;(b) 试样两端载荷;(c) 试样两端位移;(d) 应力应变曲线

Fig. 4 Experimental results of the without preload: (a) the original wave;

(b) load at the end of the specimen; (c) displacement at the end of the specimen; (d) the strain-stress curves

可以看出,入射波到达试样后,透射波并没有立即增加,表明入射波并没有透过试样,而是大部分被反射回入射杆中。在经过约 $30\mu\text{s}$ 后,透射波才开始上升,透射波开始上升的时刻对应为图 4(a)中标记为 B 的时刻。此外,从图 4(a)中还可以看出,透射波和反射波均出现了较大振荡。图 4(b)所示的为利用

式(5)和式(6)得到的试样两端的载荷,透射波延迟导致在加载前期试样两端载荷出现严重不平衡,在试样后端(试样与透射杆接触端)载荷开始增加时,试样前端(试样与入射杆接触端)载荷已经达到最大值 13.2kN,两端应力在加载后期才基本达到平衡。图 4(c)所示为利用式(1)和式(2)得到试样两端的位移,在应力波透过试样时,试样前端已经发生了 0.016mm 的位移。图 4(d)所示的为利用式(4)和式(7)得到的应力应变曲线,可以看出在屈服点附近,曲线出现了剧烈振荡,从应力应变曲线中基本无法有效获取材料的屈服应力等信息。

2.2 有预紧动态拉伸实验

为考察预紧力对材料动态拉伸力学性能实验结果的影响,利用图 3 所示的预紧力施加装置对试样施加预紧力。由小到大设置 3 种预紧力水平,分别为 1.26kN、2.6kN 和 2.92kN。图 5 给出的是预紧力为 1.26kN 时 G50 合金动态拉伸实验的原始波形、试样两端载荷-位移以及典型应力应变曲线,从图中可以看出,在 1.26kN 预紧力下,透射波相比于入射波的延迟时间已经从无预紧时的 $30\mu\text{s}$ 减小到 $15\mu\text{s}$ (图 5(a)),在试样后端应力开始增加时,前端应力也从无预紧时的 13.2kN 减小至 0.8kN (图 5(b)),且在前端和后端载荷分别达到峰值后,试样两端载荷基本就达到了平衡。预紧力为 1.26kN 时的实验结果表明随着预紧力的施加,透射波延迟和加载前期试样两端载荷不平衡情况已经得到了改善。反射波和透射波仍然有一定程度的振荡,导致利用式(4)和式(7)得到的应力应变曲线在屈服点附近出现了振荡,但振荡的程度相比无预紧时要小。

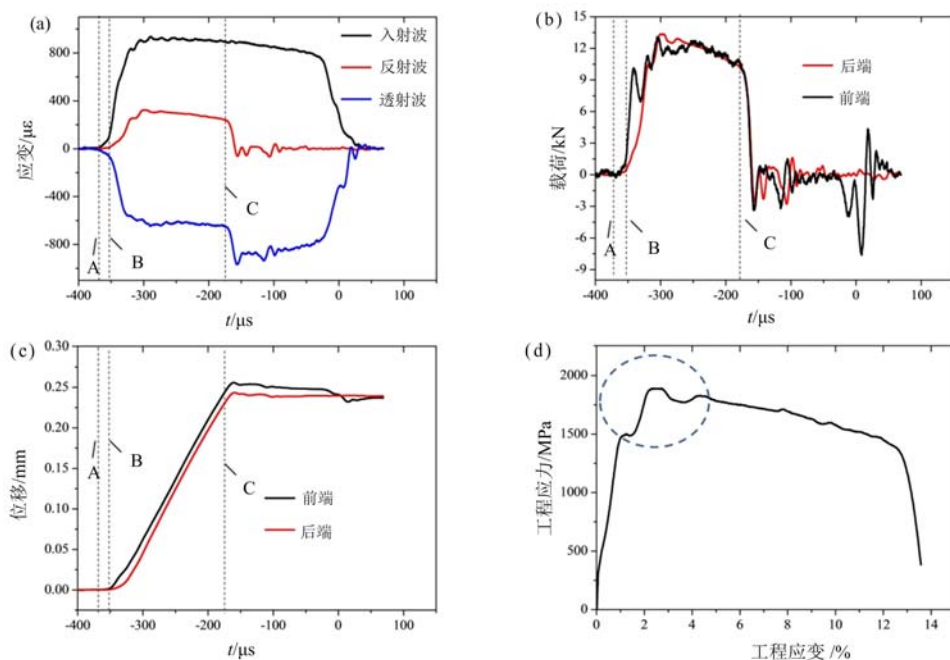


图 5 预紧力为 1.26kN 时的实验结果:(a) 原始波形;(b) 试样两端载荷;
(c) 试样两端位移;(d) 典型应力应变曲线

Fig. 5 Experimental results of the 1.26kN preload: (a) the original wave;

(b) load at the end of the specimen; (c) displacement at the end of the specimen; (d) the typical strain-stress curves

预紧力为 2.6kN 时,G50 合金动态拉伸实验的原始波形和典型的应力应变曲线如图 6 所示,此时对应的空心圆筒和试样中的预应力分别为 29.6MPa 和 368MPa,均远低于 2 种材料的弹性极限。从图 6(a)可以看出,入射波开始增加时透射波即开始增加,透射波相比于入射波基本上没有延迟。原始波形中透射波和反射波振荡也基本消失,应力应变曲线材料屈服点附近也没有出现明显振荡(图 6(b))。

图 7 给出的是预紧力为 2.92kN 时的实验结果,从图中可以看出,透射波相比于入射波没有出现延迟,原始波形和应力应变曲线中的振荡也基本消失,表明当预紧力达到一定程度后,预紧力进一步增加不会改变应力应变曲线测试结果。

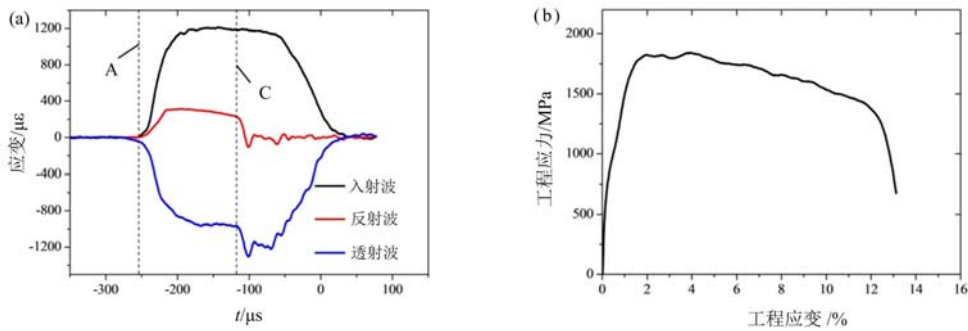


图 6 预紧力为 2.6kN 时的实验结果:(a) 原始波形;(b) 典型应力应变曲线

Fig. 6 Experimental results of the 2.6kN preload: (a) the original wave; (b) the typical strain-stress curves

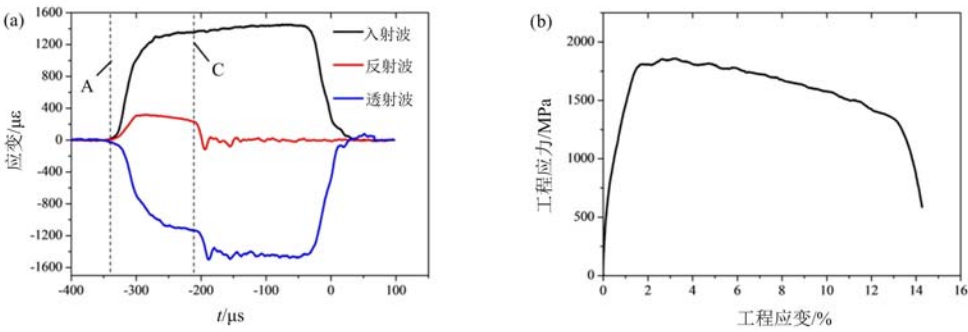


图 7 预紧力为 2.92kN 时的实验结果:(a) 原始波形;(b) 典型应力应变曲线

Fig. 7 Experimental results of the 2.92kN preload: (a) the original wave; (b) the typical strain-stress curves

图 8 给出的是预紧力为 2.6kN 和 2.92kN 情况下 G50 钢的动态拉伸应力应变曲线,从图中可以看出,加载开始后,应力随着应变的增加开始增加,且屈服后,应力应变曲线相对较为光滑,并没有出现剧烈的振荡,能容易地获取材料的屈服强度和屈服后材料的应变硬化特性,3 条应力应变曲线重复性较好。从图 8 中可获得 G50 钢的动态屈服强度约为 1.84GPa,平均断裂应变约为 12.8%。

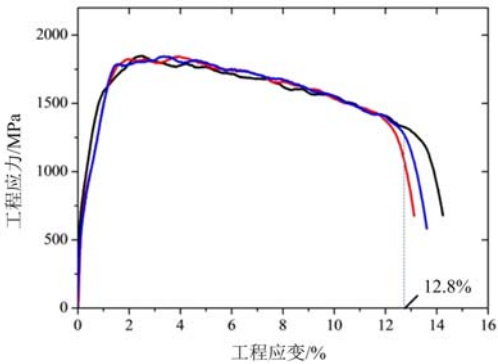


图 8 预紧情况下 G50 钢应力应变曲线

Fig. 8 Stress-strain curves of the G50 alloy with preload

2.3 实验结果分析与讨论

从无预紧和有预紧情况下 G50 钢动态拉伸实验结果可以看出,预紧力的施加对材料动态拉伸实验结果有较大影响,在未施加预紧力或施加预紧力较小时,得到的应力应变曲线在屈服点附近出现较大的振荡,随着预紧力的增加,这种振荡逐渐消失,得到的应力应变曲线也越来越光滑。霍普金森拉杆实验中常见的试样与加载杆的连接方式有胶黏连接和螺纹连接,卢芳云等人分析了这 2 种不同的连接方式对实验结果的影响^[6],结果发现胶黏连接方式实验得到的应力应变曲线较为平滑且重复性较好,而螺纹连接方式得到的应力应变曲线在屈服点附近不稳定,振荡较大,他们认为,材料动态拉伸应力应变曲线

在屈服点附近振荡较大主要是由试样与波导杆之间的连接状态等因素引起的,螺纹连接方式中试样两端螺纹与加载杆之间连接界面较为复杂,未施加预紧力时,在试样变形初期,螺纹连接时的初始空程差以及试样与波导杆之间的螺纹面接触不理想,入射波并未透过界面传播到试样中对试样进行有效加载,导致试样两端载荷出现严重不平衡以及初始屈服点信号的波动。

从本质上讲,透射波波形振荡是波的弥散效应引起的。所谓波的弥散效应,是指对于线弹性波来说,任意波形的波均是由不同频率谐波分量叠加组成的,而不同频率谐波分量均按照自己的相速度传播,由此造成波形不能保持原形而在传播过程中发生了弥散。弹性波的弥散主要分为几何弥散和非线性本构弥散。几何弥散一方面是由杆的几何形状引起的,随着杆径的增大,波形振荡等弥散现象将会更加明显,本文实验中波导杆直径为 16mm,波导杆横向惯性效应引起的波的弥散基本可以忽略^[7];几何弥散另一方面是由试样与波导杆之间螺纹连接特性引起的,由于存在空程差,试样螺牙与波导杆螺牙之间会产生碰撞,产生高频波与原始波形进行叠加,从而使得透射波存在较大振荡。非线性本构弥散是由应力应变关系的非线性关系引起的,由于存在空程差以及螺牙之间啮合过程复杂,螺纹连接结构中载荷(应力)和位移(应变)之间为非线性关系,这种非线性特性在加载初期表现得尤为明显,从而使得波的弥散效应较为显著,导致透射波出现较大振荡。综上所述,在没有预紧的情况下,透射波波形振荡的原因一方面为螺纹连接结构引起的几何弥散,另一方面为螺纹连接结构非线性特性引起的非线性本构弥散。施加一定的预紧力后,螺纹连接结构的空程差被消除,一方面,几何弥散效应被减弱;另一方面,螺牙与螺牙之间良好的啮合使得结构的非线性特性也得到极大改善,结构载荷(应力)和位移(应变)之间趋向线性关系,非线性本构弥散也被极大地减弱。这两方面最终导致透射波波形振荡基本被消除。

从实验结果还可以看出,当施加的预紧力较小时,加载初期试样两端的载荷平衡情况以及应力应变曲线屈服点波动情况与未施加预紧力时相比已经得到了很大改善,但并未完全消除,只有当施加的预紧力达到某一临界值时,才能得到较为理想的应力应变曲线。当入射波到达试样与波导杆连接的界面时,试样端部的位移 Δl 包括螺纹连接初始的空程差 Δl_k 以及由入射波加载引起的螺纹变形位移 Δl_R ,即

$$\Delta l = \Delta l_k + \Delta l_R \quad (8)$$

螺纹连接空程差与螺纹类型及加工状态相关,而入射波加载引起的螺纹变形位移 Δl_R 则可以通过式(1)计算,式(1)中位移的积分区间为图 4 中时刻 A 和时刻 B 之间的时间间隔,即透射波相比于入射波滞后的时间。从式(1)可以看出, Δl_R 与入射波幅值等因素相关,在本文 G50 动态拉伸实验中, Δl_R 约为 0.02mm。实验前,在试样中施加的预紧力若能消除加载时试样端部的位移 Δl ,则试样与波导杆之间就能达到良好的接触,此时对应的载荷即为试样中初始预紧力的临界值。

入射波加载引起的螺纹变形位移 Δl_R 同样可通过式(2)中透射波计算得到,对于不同材料,材料强度越低,透射波幅值越低,消除螺纹变形位移所需的载荷越小。因此,在入射波幅值和螺纹加工状态一致的情况下,材料强度越低,试样中所需的临界预紧力越小。但空程差与消除空程差所需的载荷之间并非简单的线性关系,而是非线性关系,两者之间很难通过理论来确定,因此对于不同材料的临界预紧力值需通过实验确定。

关于预紧力的施加对实验结果影响方面,预紧力对材料力学性能测量结果的影响主要体现在强度和变形上。变形方面,由于试样中存在着初始预紧力,由此会在试样中产生初始应变,动态拉伸的对象为有初始应变的试样,而试样的断裂应变应为实验测得的断裂应变与初始应变之和,因此,对于存在预紧力的实验,实验测得断裂应变相比试样真实断裂应变偏小。但初始预紧力在试样中产生的应变很小,以实验中最大的预紧力 2.92kN 为例,在该预紧力下试样中的应变仅为 0.2%,比实验测得的 12.8%小了 2 个量级,基本可忽略。断裂应变值的大小可以通过无预紧试样的实验结果来进行验证,从图 4(d)中可以看出,在无预紧情况下,试样真实的平均断裂应变为 13%,比有预紧情况偏大约 0.2%。对强度的影响方面,由于施加的预紧力在试样中产生的应力远低于材料的屈服强度,以本实验中施加的最大预紧力 2.92kN 为例,试样中的应力为 413MPa,远低于材料的屈服强度 1.84GPa,因此试样中施加初始预紧力不会影响材料屈服应力的测量。

3 结论

基于分离式霍普金森拉杆(SHTB),本文设计了试样预紧力施加装置,利用改进后的 SHTB 进行了预紧力对 G50 钢动态拉伸力学性能实验结果影响的研究,得到以下结论:

(1) 动态拉伸实验中,预紧力的施加对材料动态拉伸实验结果有较大影响,在未施加预紧力或施加预紧力较小时,波的弥散效应得到的应力应变曲线在屈服点附近出现较大的振荡,随着预紧力的增加,螺纹连接结构啮合情况的改善使得波的几何弥散和非线性本构弥散效应减弱,波形振荡逐渐消失,得到的应力应变曲线也越光滑。

(2) 当施加的预紧力较小时,加载初期试样两端的载荷平衡情况以及应力应变曲线屈服点波动现象并未完全消除,只有当施加的预紧力达到某一临界值时,才能得到较为理想的应力应变曲线。临界预紧力的大小与螺纹连接的初始空程差、入射波幅值以及材料屈服强度等因素相关。

(3) 在本文特定的人射波幅值情况下,施加 2.6kN 的初始预紧力能获取较为光滑的 G50 合金应力应变曲线,该种合金的动态屈服强度约为 1.84GPa,平均断裂应变约为 12.8%。

参考文献:

- [1] Zhang J, Wang Y, Zan X, et al. The constitutive responses of Ti-6.6Al-3.3Mo-1.8Zr-0.29Si alloy at high strain rates and elevated temperatures[J]. Journal of Alloys and Compounds, 2015, 647:97-104.
- [2] 谢灿军, 童明波, 刘富, 等. 7075-T6 铝合金动态力学试验及本构模型研究[J]. 振动与冲击, 2018, 33(18):110-114 (XIE Canjun, TONG Mingbo, LIU Fu, et al. Dynamic tests and constitutive model for 7075-T6 aluminum alloy[J]. Journal of Vibration and Shock, 2018, 33(18):110-114 (in Chinese))
- [3] 王雷, 李玉龙, 索涛, 等. 航空常用铝合金动态拉伸力学性能研究[J]. 航空材料学报, 2013, 33(4):71-77 (WANG Lei, LI Yulong, SUO Tao, et al. Mechanical behaviour of commonly used aeronautical aluminum alloys under dynamic tension[J]. Journal of Aeronautical Materials, 2013, 33(4):71-77 (in Chinese))
- [4] 田文扬, 刘奋, 韦春华, 等. DP980 高强钢动态拉伸力学行为[J]. 材料工程, 2017, 45(3):47-53 (TIAN Wenyang, LIU Fen, WEI Chunhua, et al. Mechanical behavior of DP980 high strength steel under dynamic tensile tests[J]. Journal of Materials Engineering, 2017, 45(3):47-53 (in Chinese))
- [5] Zhang J, Tan C W, Ren Y, et al. Quasi-static and dynamic behaviors in electron beam welded Ti-6Al-4V alloy [J]. Transaction of Nonferrous Metals Society of China, 2011, 21:39-44.
- [6] 卢芳云, 陈荣, 林玉亮, 等. 霍普金森杆实验技术[M]. 北京:科学出版社, 2013 (LU Fangyun, CHEN Rong, LIN Yuliang, et al. Hopkinson bar techniques[M]. Beijing: Academic Press, 2013 (in Chinese))
- [7] 王礼立. 应力波基础[M]. 北京:国防工业出版社, 2010 (WANG Lili. Foundation of stress waves[M]. Beijing: National Defense Industry Press, 2010 (in Chinese))
- [8] 陈滔, 李庆斌, 管俊峰, 等. 霍普金森拉杆装置螺纹过渡段变形测量修正[J]. 工程力学, 2013, 30(7):276-281 (CHEN Tao, LI Qingbin, GUAN Junfeng, et al. Deformation measurement correction for the threaded connection and transition part utilizing SHTB[J]. Engineering Mechanics, 2013, 30(7):276-281 (in Chinese))
- [9] 胡时胜, 邓德涛, 任小彬. 材料冲击拉伸实验的若干问题探讨[J]. 实验力学, 1998, 13(1):9-14 (HU Shisheng, DENG Detao, REN Xiaobin. A study on impact tensile test of materials[J]. Journal of Experimental Mechanics, 1998, 13(1):9-14 (in Chinese))
- [10] Song B, Antoun B R. Pseudo stress response in Kolsky tension bar experiments[J]. Experimental Mechanics, 2012, 52:525-528.
- [11] Ganzenmull G C, Blaum E, Mphrmann D, et al. A simplified design for split-Hopkinson tension bar with long pulse duration[J]. Procedia Engineering, 2017, 197:109-118.
- [12] 孙德林. 螺栓连接结构能耗机理与预示研究[D]. 北京:北京理工大学, 2016 (SUN Delin. Study on energy dissipation mechanism and prediction of bolted joints structure[D]. Beijing: Beijing Institute of Technology, 2016 (in Chinese))
- [13] 郭历伦. 含螺栓连接复杂结构的冲击响应与破坏研究[D]. 绵阳:中国工程物理研究院, 2015 (GUO Lilun. Research of responses and failure of the complex structure with bolted connection subjected to impact loading[D].

- Mianyang: China Academy of Engineering Physics, 2015 (in Chinese))
- [14] 田杰, 胡时胜. G50 钢动态力学性能的实验研究[J]. 工程力学, 2006, 23(6):107—109 (TIAN Jie, HU Shisheng. Research of dynamic mechanical behaviors of G50 steel[J]. Engineering Mechanics, 2006, 23(6):107—109 (in Chinese))
- [15] 王可慧, 张颖, 段建, 等. G50 钢的力学性能实验研究[J]. 兵工学报, 2009, 30(增 2):247—250 (WANG Kehui, ZHANG Ying, DUAN Jian, et al. Experimental research on the mechanical properties of G50 alloy steel[J]. Acta Armamentar, 2009, 30(S2):247—250 (in Chinese))

The effect of preload on the dynamic tensile test results of G50 alloy

CHEN Junhong, ZHANG Fangju, GUO Lingmei, XIE Ruoze, XU Weifang

(Institute of Systems Engineering, China Academy of Engineering Physics, Mianyang 621999, Sichuan, China)

Abstract: The bolted joints are widely used in dynamic tensile tests. The test results are significantly affected by the joint condition between the specimen and the bars. Based on the traditional split Hopkinson tensile bar, a tightening device was designed to study the effect of preload on the test results. The dynamic tensile tests were carried out on the G50 alloy using this device. It was found that without the preload, significant fluctuation appeared in the transmitted wave due to the dispersion of the elastic wave, which resulted in the difficult obtainment of the yield stress. Under preloading, the dispersion of the elastic wave changed better and the fluctuation in the transmitted became weak. Once the preload achieved a critical value, the fluctuation disappeared which resulted in a smooth strain-stress curve. From these curves, the dynamic tensile properties such as yield stress and strain-hardening behavior can be easily obtained.

Keywords: dynamic tension; bolted joint; preload; wave propagation; yield stress