

文章编号: 1005-3026(2002)02-0170-04

金属材料振动拉伸的实验

韩清凯, 刘树英, 闻邦椿

(东北大学 机械工程与自动化学院, 辽宁 沈阳 110004)

摘 要: 研究了低碳钢在激振频率 0~100 Hz 范围内进行振动拉伸的应力应变行为。采用不同的激振力幅和激振频率进行实验,记录金属材料产生的变形与所受载荷等数据。结果表明激振频率增大,材料的屈服极限 σ_s 和强度极限 σ_b 会明显减小。改变激振频率, σ_s 和 σ_b 也随之改变。在激振频率 1 Hz 时,测得了材料瞬态应力应变曲线,表现出明显的滞回特性。以上研究对探讨振动加工机理及其工程应用具有重要意义。

关键词: 金属材料;振动拉伸;应力应变关系;激振力幅;激振频率;低频振动;滞回特性;振动减幅效应

中图分类号: TH 117; TG 404 **文献标识码:** A

随着我国现代化建设的发展,金属产品的质量和品种趋于高精度和多样化。为了提高对高强度难成形材料进行高精度加工的能力,很多场合下可以利用振动来实现特定的加工工艺要求,或者降低能耗。某些振动加工方式(如拉拔、冲剪、轧压等)已经在生产实践中作为新的工艺方法得到了应用^[1~8]。

但是,目前对振动加工所做的基础性实验和相应的理论研究仍不够深入,例如对于振动拉伸这一基本加工方式的研究就是如此。早在 1955 年 Blaha 等就对铝进行了超声波振动拉伸^[9],以后的实验也多以超声波振动拉伸为主,后来超声波拉丝和拉管在工业中得到了实际应用,而中低频率的常规振动拉伸实验则很少进行^[10,11]。由于很多情况下高功率的超声波较难获得,中低频激励则较容易实现,因而更具有工业应用价值。

本文重点完成了对低碳钢进行中低频振动拉伸的实验,激振频率范围在 100 Hz 以下。然后在 1 Hz 频率下进行了专门实验,详细记录了低碳钢的瞬时应力应变。通过本文的实验研究,可以得出金属材料在中低频振动拉伸作用下的变形规律,加深了解振动加工的机理,进而为振动加工的工业应用提供理论和实验依据。

1 实验材料与方法

100 Hz 以下的中频振动拉伸实验在 10 t 万能机上进行^[6]。激振器采用机械偏心式,调节偏心量可以获得不同激振力幅。实验时,试件一端固定在上夹头,另一端固定在试验机的滑体上,由偏心轴产生的周期性激振迫使滑体强迫振动,实现对试件的振动拉伸。试件材料为碳素钢 Q235,试件直径为 5 mm,标距为 60 mm,为标准试件。实验时首先保持激振频率不变,这里为 27.70 Hz,改变偏心轴的偏心距,获得不同激振力幅。通过测量滑体的加速度,经过计算得到相应的位移振幅。这里共采用 5 种不同的振幅,分别为:0,0.247,0.262,0.274,0.310 mm。振幅为 0 时即为不加振动的情况。然后,在偏心距不变,即振幅不变的情况下,改变偏心轴回转角速度,即改变激振频率。激振频率分别为 0,27.70,34.88,50.27,71.82 Hz。频率为 0 时对应不加振动的情况。采取以上两种不同方式分别进行实验,测得材料的载荷-变形曲线。对应除以试件截面积和标距可得到应力-应变曲线。由于记录仪器的限制,没能测出载荷和变形的瞬时数值。所得结果接近于平均值,即可以认为得到了振动拉伸时金属材料的平均载荷和平均变形。

更进一步,为了弄清振动拉伸时低碳钢较精

收稿日期: 2001-06-05

基金项目: 教育部博士学科点专项科研基金资助项目(2000014513);辽宁省科学技术基金资助项目(971037);国家自然科学基金资助项目(50075015)。

作者简介: 韩清凯(1969-),男,山东济宁人,东北大学副教授;闻邦椿(1930-),男,浙江温岭人,东北大学教授,博士生导师,中国科学院院士。

细的本构关系,特别设计了在 1 Hz 频率下的较为精确的振动拉伸实验,记录瞬时应力应变数值,实验在低频材料疲劳试验机上进行,实验时,试件一端固定,另一端通过卡具进行轴向振动拉伸,激振形式为简谐振动形式,拉伸过程由计算机全程编程控制,实验材料为碳素钢 Q235,试件直径为 5 mm,标距为 60 mm,为标准试件。

2 实验结果与分析

2.1 频率不变、振幅变化

频率 $f = 27.70$ Hz 不变,振幅从零依次增大,得到载荷-变形 $P-l$ 曲线,如图 1 所示,其中曲线 (a) ~ (e) 对应的振幅 A 分别为: 0, 0.247, 0.262, 0.274, 0.310 mm。

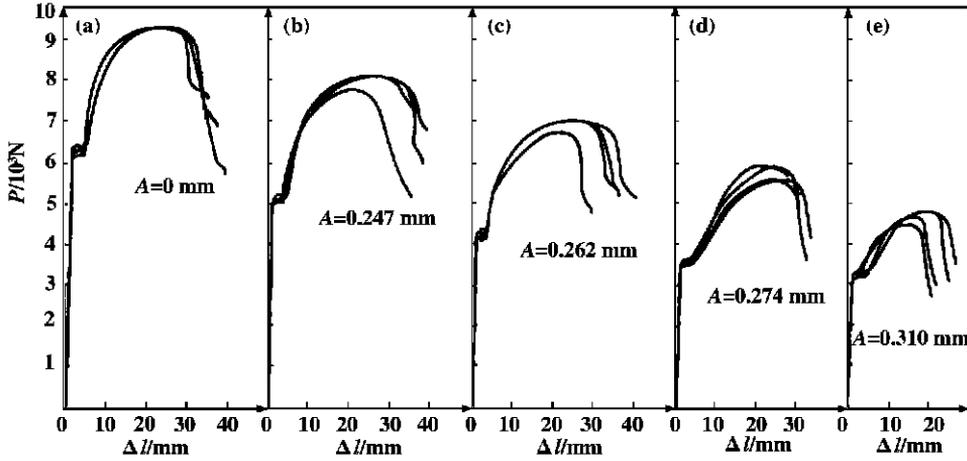


图 1 频率不变、振幅不同时的载荷-变形曲线

Fig. 1 Load-deformation curves with different vibration amplitudes when frequency is constant

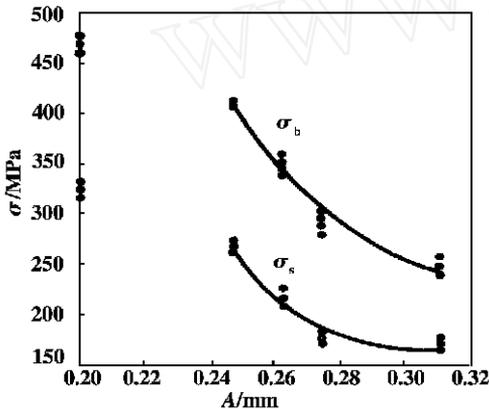


图 2 屈服极限、强度极限与振幅的关系

Fig. 2 Relationship between yielding stress, strength stress and vibration amplitudes

由载荷变形曲线可进一步得到相应的应力-应变曲线,由载荷-变形曲线或应力-应变曲线均能明显地看到,随着振幅的增加,屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 会逐渐下降,其变化趋势如图 2 所示。

2.2 振幅不变,频率变化

偏心距不变,对应振幅 $A = 0.247$ mm 保持不变,振动频率从零依次增大,得到载荷-变形曲线如图 3 所示,图 3 中 (a) ~ (e) 对应的激振频率分别为: $f = 0, 27.70, 34.88, 50.27, 71.82$ Hz。

由实验记录下的载荷和变形可以对应求出应力-应变曲线,随着激振频率的变化,屈服极限 σ_s 、强度极限 σ_b 也发生变化,如图 4 所示,在 0 ~ 70

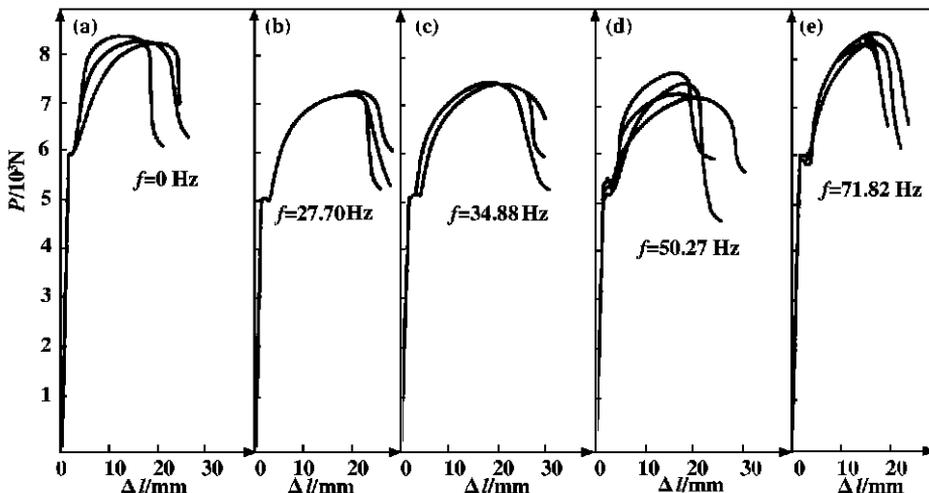


图 3 振幅不变、频率不同时的载荷-变形曲线

Fig. 3 Load-deformation curves with different frequencies when amplitude is constant

Hz 的频率范围内,屈服极限和强度极限都呈凹形,25~35 Hz 存在最小值,这意味着对低碳钢而言,可能存在一个较优的振动加工频率点或频率区段。

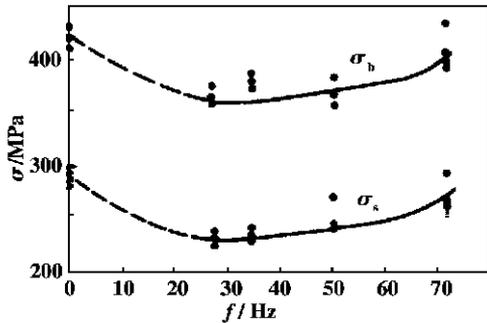


图 4 屈服极限、强度极限与激振频率的关系

Fig. 4 Relationship between yielding stress, strength stress and loading frequency

2.3 振动拉伸时瞬时应力应变

保持变形速率不变,激振频率为 1 Hz,记录振动拉伸时的瞬时载荷、变形以及应力和应变信号,在不同拉伸阶段施加振动,得到断续振动拉伸的实验结果如图 5 所示。从中可以看出,振动加入后会使得平均应力降低。

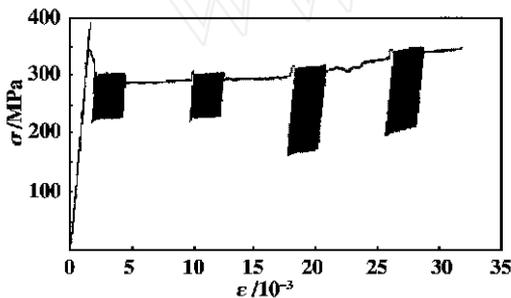


图 5 1 Hz 振动拉伸时的瞬时应力应变曲线

Fig. 5 Instantaneous stress strain curve with vibration drawing at 1 Hz

2.4 振动拉伸时应力应变的滞回特性

放大在 1 Hz 频率下振动拉伸曲线,可以直观地看到瞬时应力应变曲线是一个明显的滞回环,这说明低频振动下存在滞回效应,这一结果对进一步探讨振动加工机理有重要意义。

3 结 论

(1) 当激振频率不变时,在一定振幅范围内,低碳钢的屈服强度和拉伸强度会随着振幅的增加而下降,均比静载荷时小,且延伸率基本保持不变。在弹性区内振动的影响不明显,可以认为弹性模量不随振幅的变化而变化。

(2) 当振幅保持不变、激振频率在一定范围内变化时,屈服极限和强度极限随着频率的变化

而变化,弹性区内的影响也不明显。这揭示了振动拉伸存在减低材料极限应力的效应,即减幅效应。

(3) 低频断续拉伸与 Blaha 等人的超声振动拉伸的应力应变曲线形状相近,可见低频振动拉伸与超声波振动拉伸具有一定的相似性。但这里出现了应力峰值略高于不加振动的情况,尽管这一点与前面的结果不矛盾,但对此还没有更好的解释。

(4) 塑性变形区内,振动作用使得应力应变出现较明显的滞回现象,塑性变形越大,滞回现象越明显。

(5) 由于条件所限,本文的结果存在一定的误差,甚至会有不合理的地方,但仍然可以得出一些重要的启示:振动拉伸时,低碳钢会提前发生屈服,屈服极限对振幅变化更为敏感,激振频率也对材料加工有一定影响。另外,在塑性区内振动还会引起较大的滞回能量耗散。这些结论对进一步研究振动加工具有一定的理论和实际意义。

参考文献:

- [1] Dawson G R, Winsper C E, Sansome D H. Application of high and low-frequency oscillations to the plastic deformation of metal[J]. *Metal Forming*, 1970, 8:234 - 238/ 1970, 9: 254 - 261.
- [2] Siegert K, Mock A. Wire drawing with ultrasonically oscillation dies[J]. *Materials Processing Technology*, 1996, 60:657 - 660.
- [3] 李连诗. 超声波振动拔管拔丝的研究[J]. *钢铁*, 1995, 30(3): 39 - 44.
(Li L S. Research on draw tube and wire with ultrasonically oscillation[J]. *Iron and Steel*, 1995, 30(3):39 - 44.)
- [4] Kemp I P. Model of deformation heat transfer in hot rolling of bars and section[J]. *Iron and Steel Making*, 1990, 17(2):139.
- [5] Tiitto K. Use of bankhausen effect in testing for residual stress and material defect [J]. *Nondestructive Testing-Australia*, 1989, 26(2):36 - 41.
- [6] 白光润,赵林,宋岚,等. 异步交叉轧制变形区应力分布特征[J]. *东北大学学报(自然科学版)*, 1998, 19(6):567 - 570.
(Bai G R, Zhao L, Son L, et al. Characteristic of stress distribution in the deformation zone of asymmetric and cross rolling[J]. *Journal of Northeastern University (Natural Science)*, 1998, 19(6):567 - 570.)
- [7] Zhao H L, Wen J L. FEM analysis of physical field in the level rolling process of inversion casting by ANSYS program [J]. *Journal of Iron and Steel Research*, 2000, (1):14 - 16.
- [8] Leep R W, Parley R I. Method and system for investigation the stress condition of magnetic materials[J]. *U S Letters Patent*, 1969, (3):427 - 445.
- [9] Blaha F, Langenecker B. Elongation of zinc mono-crystals under ultrasonic action[J]. *Die Naturwissenschaften*, 1955, 42(20):556.
- [10] 郑金鑫. 超高频振动下材料本构关系探析[J]. *哈尔滨工业大学学报*, 1997, 29(1):6 - 9.
(Zheng J X. On constitutive law of materials under extra-higher vibration [J]. *Trans of Harbin Technology*

University, 1997, 29(1): 6-9.)
 [11] 艾厚庄. 碳钢在振动拉伸时的性能研究[D]. 鞍山: 鞍山
 钢铁学院, 1991.

(Ai H Z. Material properties of carbon steel drawn with
 vibration[D]. Anshan: Anshan Institute of Iron and Steel,
 1991.)

Experimental Research of Vibration Drawing of Metals

HAN Qing-kai, LIU Shu-ying, WEN Bang-chun

(School of Mechanical Engineering & Automation, Northeastern University, Shenyang 110004, China, Correspondent: WEN Bang-chun, professor, academician of Chinese Academy of Science. E-mail: bcwen@mail.neu.edu.cn)

Abstract: The changing ways of stress and strain of metals, such as low carbon steel, processed with vibration drawing were studied. The vibration frequencies were from 0 to 100 Hz. In the experiment, different vibration amplitudes and frequencies are applied on metals. The deformations of metal with its load were recorded. The yielding stresses and strength stresses decrease when loading force amplitudes increase. They are also influenced by the exciting frequencies. The typical instantaneous stress and strain values of metals were measured at exciting frequency 1 Hz. The dynamical curves show that there exists hysteresis. These results are useful for both understanding metal's mechanism under lower vibration and the industrial processing applications.

Key words: metal material; vibration drawing; relationship of stress and strain; vibration force amplitude; vibration frequency; lower frequency vibration; hysteresis; amplitude reducing efficiency

(Received June 5, 2001)

待发表文章
 摘要预报

用于磨损仿真的空间啮合曲面离散化方法

王淑仁, 丁津原

将计算几何中解决飞机、船体、汽车等造型问题的理论与方法应用于空间啮合曲面的离散化问题中, 给出了角点信息方阵的构造和求解方法, 讨论了用双三次样条函数逼近齿廓曲面的可行性, 并用算例验证了这种方法的计算精度足以满足磨损计算的要求, 从而为磨损齿面的描述和磨损过程的计算机仿真奠定了基础。

LJ 复合超细粉料对混凝土强度的影响

程云虹, 王元

对比了掺与不掺 LJ 复合超细粉料的混凝土的强度, 以及 LJ 复合超细粉料与其他几种外加剂的增强效果; 试验证明了 LJ 复合超细粉料能加深水泥的水化过程, 得出结论: LJ 复合超细粉料能将混凝土强度提高一个等级, 与试验所选的其他几种外加剂相比较增强效果显著。