第 29 卷第 10 期 中国有色金属学报 2019 年 10 月
Volume 29 Number 10 The Chinese Journal of Nonferrous Metals October 2019
DOI：10.19476/j.ysxb.1004.0609.2019.10.09

TC18 合金高温动态力学行为表征

贾宝华[1]，刘思勇[1,2]，李　革[1]，顾永强[1]，王丹丹[1]，刘　翔[1]

(1. 内蒙古科技大学 土木工程学院，包头 014010；
2. 上海市应用数学和力学研究所，上海 200072)

摘　要：采用电子万能试验机对 TC18 合金进行常温准静态压缩实验，得到合金在准静态下的实验数据，根据实验数据，选用分离式 Hopkinson 压杆对 TC18 合金在温度分别为 298 K、523 K、773 K 和 1023 K，应变率分别为 500 s^{-1}、1000 s^{-1} 和 1500 s^{-1} 下进行动态力学性能实验，得到合金在高温动态压缩条件下的应力−应变曲线。在 Johnson-Cook 模型的基础上，通过考虑应变、应变率和温度的耦合效应，建立修正的 Johnson-Cook 模型对 TC18 合金的高温动态力学性能进行表征，模型预测结果与实验结果吻合良好，表明修正的 Johnson-Cook 模型能够更精确地表征 TC18 合金在高温下的流动应力。

关键词：TC18 合金；Hopkinson 压杆；Johnson-Cook 模型；高温；动态
文章编号：1004-0609(2019)-10-2292-07　　**中图分类号**：TG146.2+3　　**文献标志码**：A

TC18 合金是 20 世纪 70 年代由前苏联研制出来的一种 $\alpha+\beta$ 型的高强度钛合金，名义成分为 Ti-5Al-5Mo-5V-1Fe-1Cr[1−2]，具有高强、高韧、优良的塑性、良好的淬透性以及优异的退火焊接性等特点[3−6]。以往的研究表明：TC18 合金在退火状态下，强度最高可达 1080 MPa，淬透深度可达 250 mm[7−9]。由于 TC18 合金在截面厚度方向上基本没有淬透性的限制，所以可以采用热模锻、等温模锻和普通低成本模锻等热加工工艺来进行锻件的生产，特别适合制造飞机上各种高承载力构件，包括起落架、左右支架、横梁以及一些紧固件和弹簧等[10−13]。

对于在航空领域中被广泛用作各种高承载力构件的 TC18 合金，在其工作时不可避免的要承受冲击载荷作用，因此，对其动态力学性能方面的研究十分必要。但由于 TC18 合金在准静态下的强度非常高，再加上材料的应变率效应，如果要进行动态冲击实验，必须选择有足够强度的霍普金森杆件，既要保证被测试的 TC18 合金发生塑性变形，又要保证霍普金森杆件自身处于弹性状态，因此，对 TC18 合金进行动态力学性能实验比较困难，国内外对其动态力学性能的研究很少，大部分研究均在准静态条件下进行。基于以上原因，对 TC18 合金在高应变率下的力学性能可优先考虑采用数值模拟方法进行研究，而数据模拟结果的精确性主要取决于合金本构方程的精确性。因此，为了研究更高应变率下 TC18 合金的力学性能，建立精确的表征合金动态力学性能的本构方程尤为重要。

在准静态条件下，由于加载速率非常缓慢，材料由于塑性变形产生的热量能够及时传递出去，材料的塑性变形为一个等温过程，但在冲击载荷下，由于冲击时间很短，材料的塑性变形所产生的热量来不及传递散发出去，因此，此种情况下的塑性变形为绝热过程。很明显，在冲击加载下，材料的应变率、温度、应变和绝热温升对材料的塑性变形是耦合在一起的，因此正确理解它们之间的耦合作用对预测材料的塑性变形行为是非常重要的[14]。几十年来，人们一直致力于以材料模型的形式确定材料的变形行为，即通过建立本构模型对其力学性能进行表征。材料的本构模型即本构关系是指材料的流变应力与变形温度、应变率以及变形程度之间的关系。本构关系也是有限元软件对材料的变形过程进行数值仿真的重要基础，它是对材料性能的最基本表征[15−16]。在不同的变形条件下，不同的材料有着不同的本构关系，它是结构或材料宏观力学性能的综合反映，能够反映物质宏观性质的数学模型。

基金项目：内蒙古自治区自然科学基金面上项目(2016MS0112)；内蒙古自治区高等学校科学研究项目(NJZY16156)；内蒙古科技大学创新基金项目(2016QDL-B11)
收稿日期：2018-11-06；**修订日期**：2019-03-11
通信作者：李　革，教授，硕士；电话：0472-5288638；E-mail：ligeab@imust.cn

材料的本构模型一般可以分为两类：一类为物理基础的本构模型；另一类为经验或半经验模型。相较于物理模型，经验或半经验模型可以通过有限的物理实验采用较少的材料参数来表征材料的力学性能。Johnson-Cook 模型即为典型的经验模型，由于其同时考虑了材料的应变率硬化和热软化效应被广泛用来表征材料在高温和高应变率下的变形行为。

本文在准静态实验的基础上，得到 TC18 合金在准静态下的塑性屈服强度，并以此为依据选择霍普金森压杆型号，进行了温度为 298 K、523 K、773 K 和 1023 K，应变率为 500 s^{-1}、1000 s^{-1} 和 1500 s^{-1} 的冲击加载实验，得到了 TC18 合金在不同工况下的动态力学性能，在 Johnson-Cook 模型的基础上，通过考虑应变、应变率和温度的耦合效应，建立了修正的 Johnson-Cook 模型对 TC18 合金的高温动态力学性能进行表征，并通过和实验结果的对比验证了该模型可以更准确地预测合金在高温和冲击载荷共同作用下的塑性流变应力。从而为 TC18 合金的有限元模拟奠定基础，同时，为合金的结构设计和优化提供依据。

1　实验

本试验中所用的 TC18 合金由陕西省宝钛钛业有限公司提供，名义成分为 Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe，根据国标 GB/T 4698.7—2011 实际检测出化学成分见表 1。

表 1　TC18 合金的化学成分

Table 1　Chemical composition of TC18 alloy (mass fraction, %)

Al	Mo	V	Cr	Fe	O	N	Ti
5.23	4.80	5.02	1.07	1.09	0.14	0.03	Bal.

根据试验设备的相关参数及应变率范围，确定试验试样尺寸为 d 6 mm×6 mm。常温准静态压缩试验在内蒙古科技大学土木工程学院的 WDW−200 电子万能实验机上进行，共测试 2 个试件，获得 TC18 合金在常温准静态压缩下的应力−应变曲线如图 1 所示。

由图 1 可以得到，此次实验 TC18 合金的塑性屈服强度约为 1060 MPa。据此，选择在清华大学机械工程学院的分离式霍普金森压杆(d 13 mm)上进行动态力学性能试验，考虑到高速冲击时需要较高的能量，而且要使分离式霍普金森压杆在工作时处于弹性阶段，因此进行高应变率试验比较困难，本次试验共测试了 TC18 合金在应变率为 500 s^{-1}、1000 s^{-1} 和 1500 s^{-1}，温度分别为 298 K、523 K、773 K 和 1023 K 的动态压缩行为。由于动态压缩试验结果不像准静态压缩试验那么稳定，为保证试验结果的可靠性，在每种工况下至少进行 2 次重复性试验，取比较相近的 2 次试验结果取平均值作为最终试验结果。

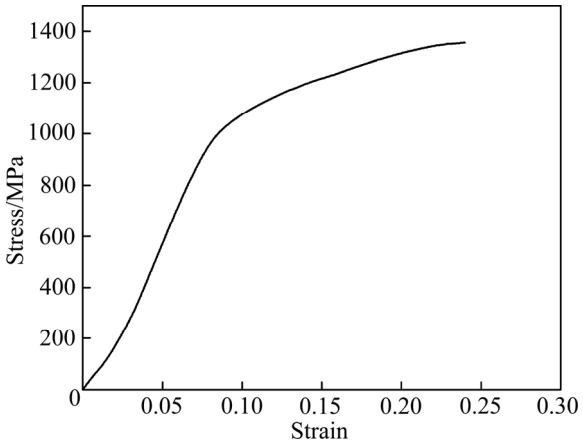

图 1　TC18 合金在常温准静态下的应力−应变曲线

Fig. 1　Stress−strain curve of TC18 alloy at room temperature under quasi-static compression

2　Johnson-Cook 模型构造

通过霍普金森压杆试验得到的 TC18 合金动态力学性能可采用 Johnson-Cook 模型进行表征，由于其考虑了温度、应变率和应变等因素，形式简单，具有清晰的物理解释，并较容易求解参数，被广泛用来表征材料在高应变率下的力学行为。其表达式为

$$\sigma=(A+B\varepsilon^{n})\left[1+C\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right]\left[1-\left(\frac{T-T_{\mathrm{r}}}{T_{\mathrm{m}}-T_{\mathrm{r}}}\right)^{m}\right] \tag{1}$$

由三项公式(分别为应变项、应变率项和温度项)相乘而得。式中：A 为准静态下的屈服强度；B 为应变强化系数；n 为应变硬化系数；C 为应变率敏感系数；m 为温度敏感系数；T_{r} 为参考热力学温度；T_{m} 为熔点热力学温度；ε 为塑性应变；$\dot{\varepsilon}$ 为应变率；$\dot{\varepsilon}_0$ 为参考应变率。

对 TC18 合金，在构造 Johnson-Cook 模型时，部分参数可通过常温准静态下的力学性能试验得到，如 TC18 合金在常温准静态下的强度 A=1060 MPa；参考热力学温度，取常温 T_{r}=298 K；参考应变率，取常温准静态试验时的应变率 $\dot{\varepsilon}_0$ =0.033 s^{-1}。熔点热力学温度可通过查询资料得到，取 T_{m}=1951 K。其它参数可结

合 TC18 合金动态力学性能的数据图像，利用最小二乘法进行推导得到。

2.1 确定 Johnson-Cook 模型中应变项

在常温准静态下，式(1)的后两项将化为常数 1，此时，式(1)简化为

$$\sigma = A + B\varepsilon^n \tag{2}$$

根据常温准静态试验数据，确定 A=1060 MPa，代入式(2)得

$$\sigma - 1060 = B\varepsilon^n \tag{3}$$

令 $Y = \sigma - 1060$； $X = \varepsilon$

在坐标系下应用最小二乘法拟合方程，可得

$$Y = 1883.7X^{0.8955} \tag{4}$$

即得 B=1883.7；n=0.8995，回代入式(2)得

$$\sigma = 1060 + 1883.7\varepsilon^{0.8955} \tag{5}$$

将通过式(5)计算的数据和常温准静态下试验数据进行对比如图 2 所示。

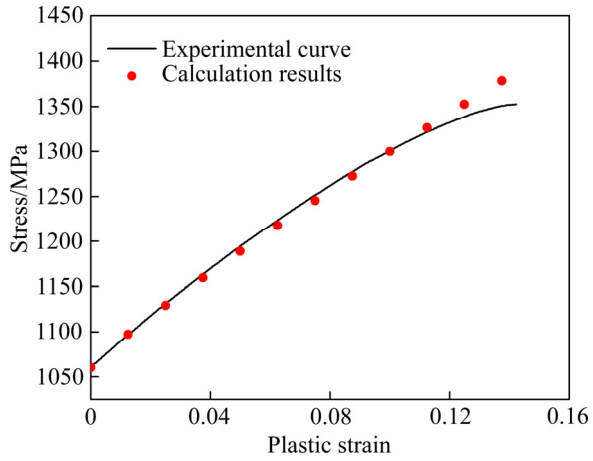

图 2 常温准静态下式(5)计算结果与试验曲线对比

Fig. 2 Comparison of results calculated by formula (5) with experimental curve at room temperature under quasi-static compression

从图 2 可以看出：式(5)不能很好地拟合曲线，经反复拟合，发现对于 TC18 合金，一元二次方程比幂函数更符合常温准静态下试验数据增长趋势，为了更好地拟合曲线，将式(3)改写为式(6)：

$$\sigma - 1060 = \lambda_1\varepsilon^2 + \lambda_2\varepsilon + \lambda_3 \tag{6}$$

令 $Y = \sigma - 1060$； $X = \varepsilon$

在坐标系下应用最小二乘法拟合方程，可得

$$Y = -6882.3X^2 + 3094.3X - 1.652$$

代入式(6)即得式(7)

$$\sigma = 1060 - 6882.3\varepsilon^2 + 3094.3\varepsilon - 1.652 \tag{7}$$

将通过式(7)计算的数据和常温准静态下试验数据进行对比如图 3 所示。

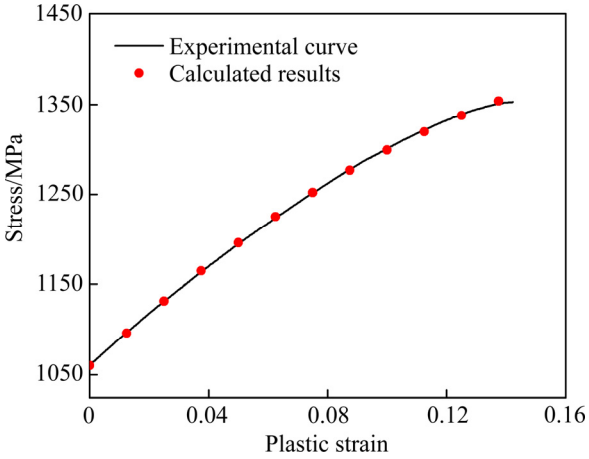

图 3 常温准静态下式(7)计算结果与试验曲线对比

Fig. 3 Comparison of results calculated by formula (7) with experimental curve at room temperature under quasi-static compression

通过图 2 与 3 比较可知，式(7)计算数据与常温准静态下试验数据更为相近，因此，将式(7)代替式(5)可以更好地表达 TC18 合金的应变硬化效果，更准确地表征 TC18 合金在常温准静态下的力学性能。

2.2 确定 Johnson-Cook 模型中应变率项

通过常温不同应变率下的动态应力应变数据，拟合应变率强化系数 C。在常温下，Johnson-Cook 本构方程可以简化为式(8)：

$$\sigma = (1060 - 6882.3\varepsilon^2 + 3094.3\varepsilon - 1.652)\left[1 + C\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{\dot{\varepsilon}_0}\right)\right] \tag{8}$$

由于 TC18 合金具有应变增强效应，根据试验数据，可求得应变率敏感系数 C 与相应应变 ε 的数值如表 2 所列。

为了更好地拟合曲线，使用最小二乘法对参数进行拟合可得应变率敏感系数 C 与应变 ε 的关系式(9)：

$$C = 0.0462\mathrm{e}^{-8.608\varepsilon} \tag{9}$$

将拟合的式(9)代入式(8)，可得常温下 TC18 合金的动态本构方程为

表 2 TC18 合金在不同应变下的应变率敏感系数

Table 2 Strain rate sensitivity coefficients of TC18 alloy under different strains

ε	0.02	0.04	0.06	0.08	0.10	0.12
C	0.039	0.033	0.028	0.023	0.020	0.017

$$\sigma=(1060-6882.3\varepsilon^2+3094.3\varepsilon-1.652)\cdot\left[1+0.0462\mathrm{e}^{-8.608\varepsilon}\ln\left(\frac{\dot{\varepsilon}}{0.033}\right)\right] \tag{10}$$

将通过式(10)计算的数据与常温动态下 TC18 合金的试验数据进行对比，如图 4 所示。

通过图 4 可知，由式(10)计算结果与常温动态下的试验结果吻合的非常好，因此可采用式(10)来表征 TC18 合金在常温动态下的力学性能。

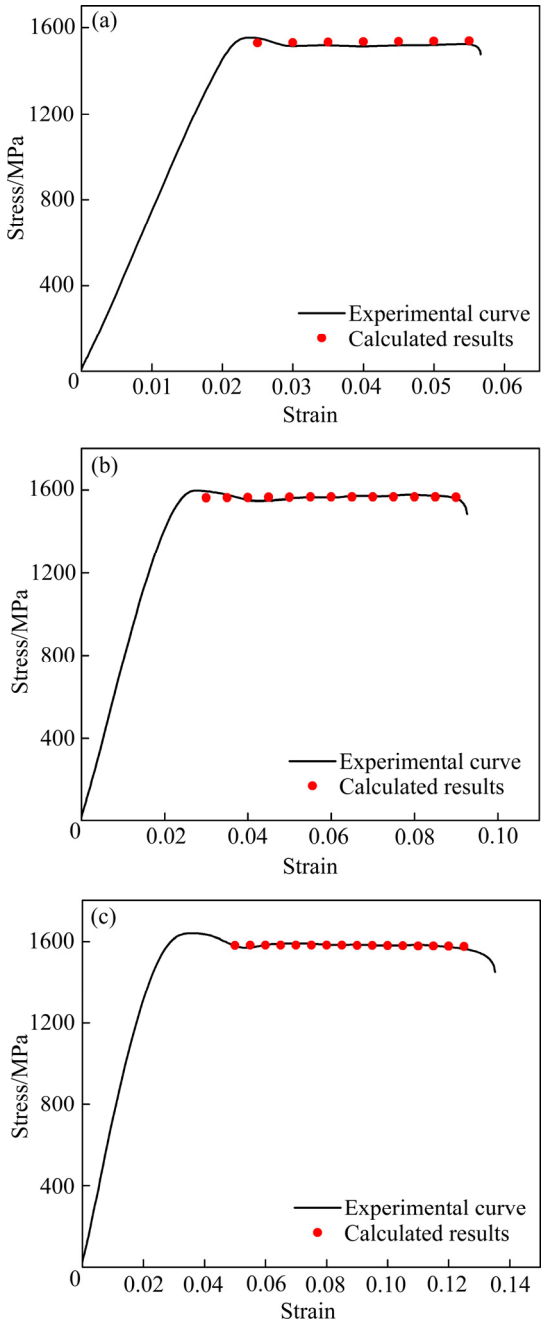

图 4　常温动态下式(10)计算结果与试验曲线对比

Fig. 4　Comparison of results calculated by formula (10) with experimental curves at room temperature under dynamic compression: (a) 500 s^{-1}; (b) 1000 s^{-1}; (c) 1500 s^{-1}

2.3　确定 Johnson-Cook 模型中温度项

通过温度为 523 K、773 K 和 1023 K，应变率为 500 s^{-1}、1000 s^{-1} 和 1500 s^{-1} 的动态应力应变关系(共 9 组数据)，来拟合温度敏感系数 m。

在高温下，Johnson-Cook 本构方程可以简化为

$$\sigma(T^*)=\sigma(T_\mathrm{r})\left[1-\left(\frac{T-T_\mathrm{r}}{T_\mathrm{m}-T_\mathrm{r}}\right)^m\right] \tag{11}$$

式中：$\sigma(T^*)$ 为高温下合金的屈服应力；$\sigma(T_\mathrm{r})$ 为参考温度下合金的屈服应力；T_m 为熔点热力学温度；T_r 为参考热力学温度。将式(11)整理并两边取对数可得

$$\ln\left(1-\frac{\sigma(T^*)}{\sigma(T_\mathrm{r})}\right)=m\ln\left(\frac{T-T_\mathrm{r}}{T_\mathrm{m}-T_\mathrm{r}}\right) \tag{12}$$

令 $Y=\ln\left(1-\dfrac{\sigma(T^*)}{\sigma(T_\mathrm{r})}\right)$，$X=\ln\left(\dfrac{T-298}{1653}\right)$

采用最小二乘法对参数进行拟合，可得在应变率为 500 s^{-1} 时，温度敏感系数 m 为 0.8，在应变率为 1000 s^{-1} 时，温度敏感系数 m 为 0.85，在应变率为 1500 s^{-1} 时，温度敏感系数 m 为 0.9，平均值为 0.85。因此取 m=0.85 代入式(1)得到 TC18 合金在高温动态下的本构方程：

$$\sigma=(1060-6882.3\varepsilon^2+3094.3\varepsilon-1.652)\cdot\left[1+0.0462e^{-8.608\varepsilon}\left(\ln\frac{\dot{\varepsilon}}{0.033}\right)\right]\left[1-\left(\frac{T-298}{1653}\right)^{0.85}\right] \tag{13}$$

将通过式(13)计算的数据与高温动态下 TC18 合金的试验数据进行对比，如图 5 所示。

从图 5 可以看出，采用式(13)拟合曲线存在一定误差，由于 TC18 合金具有应变率增强效应，所以温度敏感系数 m 值跟应变率有关，且呈线性关系，为了更好地拟合曲线，采用最小二乘法对参数进行拟合得到温度敏感系数 m 的表达式为

$$m=0.0001\dot{\varepsilon}+0.75 \tag{14}$$

将式(14)代入式(1)并结合式(7)和式(10)的计算结果，可得 TC18 合金在高温动态下的修正本构方程：

$$\sigma=(1060-6882.3\varepsilon^2+3094.3\varepsilon-1.652)\cdot\left[1+0.0462e^{-8.608\varepsilon}\left(\ln\frac{\dot{\varepsilon}}{0.033}\right)\right]\cdot\left[1-\left(\frac{T-298}{1653}\right)^{0.0001\dot{\varepsilon}+0.75}\right] \tag{15}$$

将通过式(15)计算的结果与 TC18 合金高温动态下的试验数据进行对比，如图 6 所示。

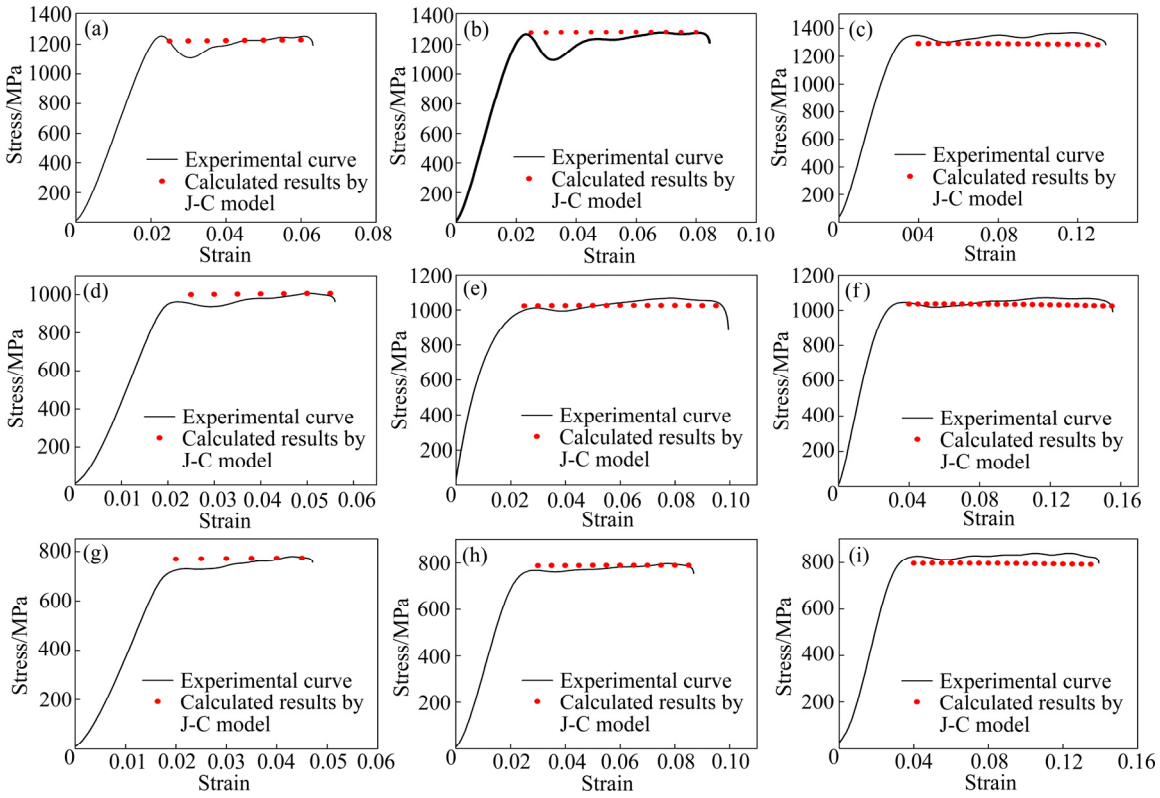

图 5 高温动态下式(13)计算结果与试验曲线对比

Fig. 5 Comparison of results calculated by formula (13) with experimental curves at high temperature under dynamic compressions: (a) 523 K, 500 s^{-1}; (b) 523 K, 1000 s^{-1}; (c) 523 K, 1500 s^{-1}; (d) 773 K, 500 s^{-1}; (e) 773 K, 1000 s^{-1}; (f) 773 K, 1500 s^{-1}; (g) 1023 K, 500 s^{-1}; (h) 1023 K, 1000 s^{-1}; (i) 1023 K, 1500 s^{-1}

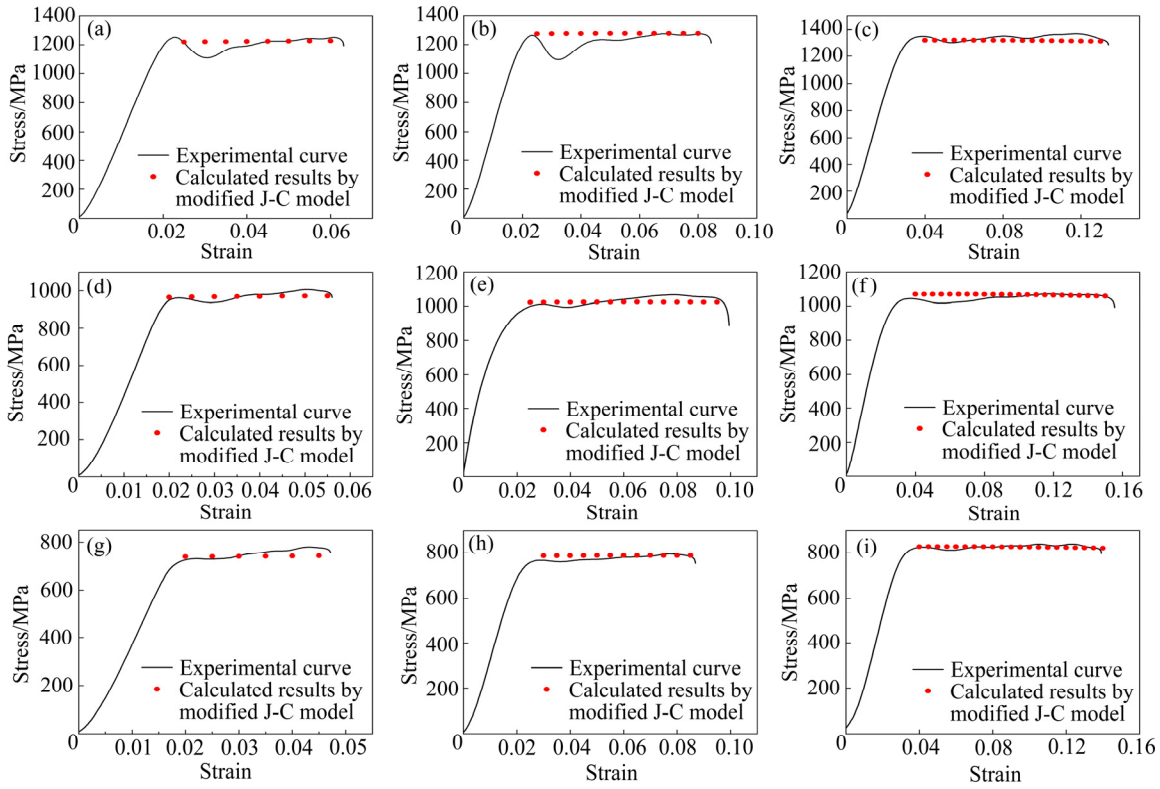

图 6 高温动态下式(15)计算结果与试验曲线对比

Fig. 6 Comparison of results calculated by formula (15) with experimental curves at high temperature under dynamic compressions: (a) 523 K, 500 s^{-1}; (b) 523 K, 1000 s^{-1}; (c) 523 K, 1500 s^{-1}; (d) 773 K, 500 s^{-1}; (e) 773 K, 1000 s^{-1}; (f) 773 K, 1500 s^{-1}; (g) 1023 K, 500 s^{-1}; (h) 1023 K, 1000 s^{-1}; (i) 1023 K, 1500 s^{-1}

通过对比图 5 和 6 可知，由式(15)计算的结果与 TC18 合金高温动态下的试验数据更为接近，因此，将式(15)代替式(13)可以更好地表征 TC18 合金在高温动态下的力学性能。

当式(15)中的温度 T 取常温即 298 K 时，公式退化为式(10)，此时，式(10)表征的为 TC18 合金在常温动态下的力学性能；当式(15)中的温度取常温且应变率取参考应变率 0.033 时，公式退化为式(7)，此时，式(7)表征的为 TC18 合金在常温准静态下的力学性能，因此，得到的式(15)可用来表征 TC18 合金在所有工况下的力学性能。

3　结论

在 Johnson-Cook 模型的基础上，通过考虑应变、应变率和温度的耦合效应，建立了修正的 Johnson-Cook 模型对 TC18 合金的高温动态力学性能进行表征，并采用最小二乘法对模型参数进行拟合，得到了 TC18 合金在高温动态下的修正本构方程，且该本构方程可用来表征 TC18 合金在常温准静态下和在常温动态下的力学性能，方程的预测结果均与实验数据吻合良好，表明所建的修正本构方程能更精确地表征 TC18 合金在各种工况下的流动应力。

REFERENCES

[1] CHANG Li-li, ZHENG Li-wei. Isothermal compression behavior and constitutive modeling of Ti-5Al-5Mo-5V-1Cr-1Fe alloy[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2018, 28(6): 1114−1122.

[2] LUO J, WANG L F, LIU S F, LI M Q. The correlation between the flow behavior and the microstructure evolution during hot working of TC18 alloy[J]. Materials Science & Engineering A, 2016, 654: 213−220.

[3] 张　乐, 刘莹莹, 薛希豪, 姚泽坤. 显微组织对 TC18 合金裂纹扩展速率的影响[J]. 稀有金属, 2018, 42(2): 594−600.
ZHANG Le, LIU Ying-ying, XUE Xi-hao, YAO Ze-kun. Crack growth rate of TC18 alloy with different microstructure[J]. Chinese Journal of Rare Metals, 2018, 42(6): 594−600.

[4] JIA Bao-hua, SONG Wei-dong, TANG Hui-ping, NING Jian-guo. Hot deformation behavior of TC18 titanium alloy[J]. Thermal Science, 2013, 17(5): 1523−1528.

[5] 张　乐, 刘莹莹, 孙宇幸, 薛希豪. 缺口和平均应力对 **TC18** 棒材疲劳强度的影响[J]. 中国有色金属学报, 2018, 28(12): 2450−2456.
ZHANG Le, LIU Ying-ying, SUN Yu-xing, XUE Xi-hao. Effect of notch and mean stress on fatigue strength of TC18 alloy bars[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2018, 28(12): 2450−2456.

[6] 刁仲驰, 姚泽坤, 申景园, 刘　瑞, 郭鸿镇. TC18 钛合金的超塑性行为与变形机制[J]. 材料工程, 2017, 45(5): 80−85.
DIAO Zhong-chi, YAO Ze-kun, SHEN Jing-yuan, LIU Rui, GUO Hong-zhen. Superplastic behavior and deformation mechanism of TC18 titanium alloy[J]. Journal of Materials Engineering, 2017, 45(5): 80−85.

[7] 贾百芳, 杨　义, 周　伟, 葛　鹏, 冯　亮, 杨冠军. TC18 钛合金室温拉伸性能与热处理制度的关系[J]. 中国有色金属学报, 2010, 20(S1): s587−s592.
JIA Bai-fang, YANG Yi, ZHOU Wei, GE Peng, FENG Liang, YANG Guan-jun. Relationship between heat treatment process and room-temperature tensile properties of TC18 titanium alloy[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2010, 20(S1): s587−s592.

[8] LI Chen-wei, XIE Hui, MAO Xiao-nan, ZHANG Peng-sheng, HOU Zhi-min. High temperature deformation of TC18 titanium alloy[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2017, 46(2): 326−332.

[9] 贾宝华, 刘思勇, 李　革. 国内 TC18 钛合金本构关系研究进展[J]. 钛工业进展, 2017, 34(4): 9−12.
JIA Bao-hua, LIU Si-yong, LI Ge. Research progress on constitutive relation of TC18 titanium alloy in China[J]. Tianium Industry Progress, 2017, 34(4): 9−12.

[10] 颜孟奇, 沙爱学, 李　凯, 张旺峰, 王玉会. 退火温度对 TC18 钛合金组织及织构演变规律的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2017, 46(S1): s156−s160.
YAN Meng-qi, SAH Ai-xue, LI Kai, ZHANG Wang-feng, WANG Yu-hui. Effect of annealing temperature on microstructure and texture evolution of TC18 titanium allo**y**[J]. Rare Metal Materials and Engineering, 2017, 46(S1): s156−s160.

[11] 冉　春, 陈鹏万, 李　玲, 张旺峰. 中高应变率条件下 TC18 钛合金动态力学行为的实验研究[J]. 兵工学报, 2017, 38(9): 1723−1728.
RAN Chun, CHEN Peng-wan, LI Ling, ZHANG Wang-feng. Experimental research on dynamic mechanical behavior of TC18 titanium alloy under medium and high strain rates[J]. Acta Armamentarii, 2017, 38(9): 1723−1728.

[12] 张 军, 汪 洋, 王 宇. TC11钛合金应变率相关力学行为的实验和本构模型[J]. 中国有色金属学报, 2017, 27(7): 1369−1375.
ZHANG Jun, WANG Yang, WANG Yu. Experiment and constitutive model of rate-dependent behavior of titanium alloy TC11[J]. The Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2017, 27(7): 1369−1375.

[13] 王 媛, 董 健, 王德琴. 热处理工艺对 TC18 合金锻件组织和性能的影响[J]. 金属热处理, 2013, 38(8): 93−95.
WANG Yuan, DONG Jian, WANG De-qin. Effects of heat treatment process on microstructure and mechanical properties of TC18 alloy forged piece[J]. Heat Treatment of Metals, 2013, 38(8): 93−95.

[14] SONG Wei-dong, NING Jian-guo, MAO Xiao-nan, TANG Hui-ping. A modified Johnson-Cook model for titanium matrix composites reinforced with titanium carbide particles at elevated temperatures[J]. Materials Science & Engineering A, 2013, 576: 280−289.

[15] 刘 芳, 单德彬, 吕 炎. 热变形参数对 LD7 铝合金流动应力的影响[J]. 材料科学与工艺, 2003, 11(1): 55−58.
LIU Fang, SHAN De-bin, LÜ Yan. Influence of thermo-deformation parameters on the flow stress of LD7 aluminum alloy[J]. Materials Science & Technology, 2003, 11(1): 55−58.

[16] JIA Bao-hua, SONG Wei-dong, TANG Hui-ping, WANG Zhi-hua, MAO Xiao-nan, NING Jian-guo. Hot deformation behavior and constitutive model of TC18 alloy during compression[J]. Rare Metals, 2014, 33(4): 383−389.

Characterization of high temperature dynamic mechanical behavior for TC18 alloy

JIA Bao-hua[1], LIU Si-yong[1, 2], LI Ge[1], GU Yong-qiang[1], WANG Dan-dan[1], LIU Xiang[1]

(1. School of Civil Engineering, Inner Mongolia University of Science and Technology, Baotou 014010, China;
2. Shanghai Institute of Applied Mathematics and Mechanics, Shanghai 200072, China)

Abstract: A quasi-static compression experiment at room temperature was performed on the TC18 alloy using an electronic universal testing machine to obtain the experimental data of the alloy under quasi-static conditions. According to the experimental data, the dynamic mechanical properties of TC18 alloy at 298 K, 523 K, 773 K and 1023 K with strain rates of 500 s^{-1}, 1000 s^{-1} and 1500 s^{-1} were tested using a split Hopkinson pressure bar. And the stress-strain curve of the alloy under dynamic compression at high temperatures was obtained. Based on Johnson-Cook model, considering the coupling effects of strain, strain rate and temperature, a modified Johnson-Cook model was established to characterize the high temperature dynamic mechanical properties of TC18 alloy. The predicted results are in good agreement with the experimental results, indicating that the modified Johnson-Cook model can more accurately characterize the flow stress of TC18 alloy at high temperature.

Key words: TC18 alloy; split Hopkinson pressure bar; Johnson-Cook model; high temperature; dynamic state

Foundation item: Project(2016MS0112) supported by the Natural Science Foundation of Inner Mongolia Autonomous Region of China; Project(NJZY16156) supported by the Research Program of Science and Technology at Universities of Inner Mongolia Autonomous Region, China; Project(2016QDL-B11) supported by Innovation Foundation of Inner Mongolia University of Science and Technology, China

Received date: 2018-11-06; **Accepted date:** 2019-03-11

Corresponding author: LI Ge; Tel: +86-472-5288638; E-mail: ligeab@imust.cn

(编辑 王 超)