

Q form 材料数据库的完善与应用

李晓光¹, 刘 君¹, 李治华¹, 闵慧娜¹, 李 凯¹, 曾卫东²

(1. 沈阳黎明航空发动机(集团)有限责任公司, 辽宁 沈阳 110043)

(2. 西北工业大学材料学院, 陕西 西安 710072)

摘 要: Q form 是基于有限元计算方法专门用于解决锻造问题的专业化的模拟软件之一, 模拟速度快、实用性强、用户效益高, 但是 Q form 自带的材料数据库存在合金种类稀少且常用合金数据缺乏等不足, 急需完善。在 Q form 原有材料数据库的基础上, 对国内外常用合金数据进行了搜集和处理, 建立了涵盖常用的 31 种钢、26 种高温合金和 13 种钛合金的材料数据库, 并成功地将材料数据库嵌入到 Q form 有限元模拟软件中。最终完善了 Q form 材料数据库, 并验证了所添加材料的可靠性, 从而为 Q form 有限元模拟提供更广泛和可靠的数据。

关键词: Q form 数据库; 有限元模拟; 搜集和处理数据; 材料数据库

1 前 言

随着计算机软硬件技术、金属塑性流动理论和计算机图形学等交叉学科的迅猛发展, 有限元数值模拟技术得到了快速发展, 以数值模拟等先进方法解决工业生产中的实际问题已成为金属成形技术的发展方向^[1-2]。与此同时越来越多成熟的金属塑性成形专业化有限元模拟软件应用到实际生产中, 如国外有俄罗斯的 Q form、美国的 Deform 2D/3D, Superform 和 Superforge 以及法国 Forge 2D/3D; 国内有 Mafap (Mass Forming Analysis Program) 等, 其中 Q form 是基于有限元计算方法开发专门用于解决锻造问题的模拟软件, 具有简单明了友好操作界面、全自动向导功能、模拟过程自动完成等优点^[3]。然而 Q form 自带的材料数据库不仅合金牌号形式不统一, 而且缺乏国内外生产中常用合金, 如 0Cr18Ni9 等钢、Ti-6Al-4V 等钛合金和 GH4169 等高温合金, 成为了 Q form 有限元模拟软件在工程实际中应用的瓶颈, 因此迫切需要完善 Q form 材料数据库。作者在 Q form 原有材料库的基础上, 对国内外常用合金数据进行了搜集和处理, 建立了涵盖常用钢、高温合金和钛合金等一共 70 种的合金牌号的材料数据库, 成功地将材料数据库嵌入到 Q form 有限元模拟软件中, 完善了 Q form 材料数据库, 并验证了所添加材料的可靠性。

2 Q form 软件材料数据库开发

2.1 数据的搜集

利用 Q form 模拟软件进行数值模拟时, 要用到材料的密度、弹性模量、比热容和热导率等物理性能数据, 特别是材料的流动应力应变数据, 因此所建立的材料数据库不仅要确保数据来源可靠而且也要保证数据内容完备。

材料数据库中新增合金的数据主要来源于国内外权威的材料手册, 如《中国航空材料手册》等^[4-6]。此外, 还有一些来自于权威书籍, 如《金属塑性变形的阻力》等^[7]和国内外重要的学术期刊、会议论文集、硕博学位论文、有限元模拟软件以及本课题组通过试验测试获得的数据^[8-10]。

2.2 数据的处理

材料的性能数据一般以表格数据和图片两种形式给出, 对于以表格数据的形式给出可以直接采集, 而对于以图片格式给出的物理性能参数以及流动应力应变数据, 我们通过数字化提取软件 Engauge Digitizer 对图片进行数据采集。该软件可以将扫描的曲线图片转化为数据与等式, 从而实现曲线的数字化采集。具体采集过程为: 应用 Engauge Digitizer 图形数字化软件将如图 1a 所示的 1Cr13 流动应力-应变曲线导入软件中, 选择 Digitize 菜单栏中的 Axis Point 完成图片坐标原点以及横纵坐标范围的设置,

然后选择相同菜单栏中的 Curve Point对图片中的曲线进行坐标点的采集, 采集结果如图 1b所示。

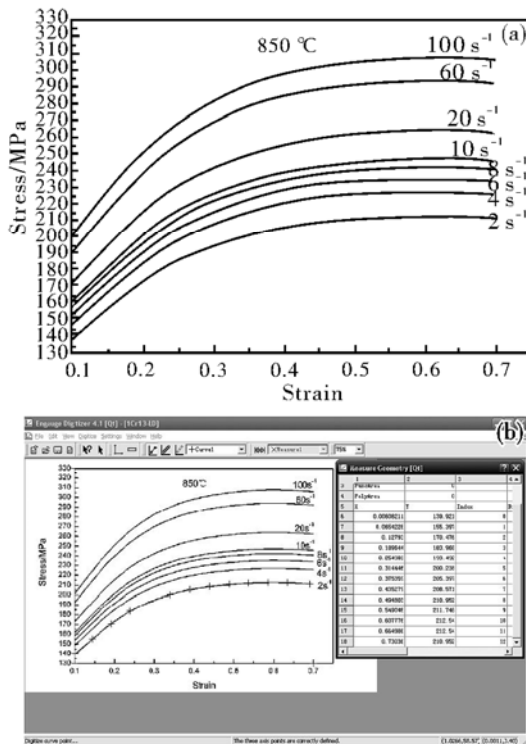


图 1 图片格式数据的采集过程: (a)数据图片; (b)采集界面

Fig. 1 Collection process of image format data (a) data image (b) collection interface

将采集好的数据统一保存为同一温度下, 不同应变速率和不同应变所对应的应力值的 txt文档形式, 如图 2所示。第一列和第一行分别表示不同的应变速率和应变值, 交点处表示温度。对于其他不同温度也做同样的处理, 从而得到不同温度下, 不同应变速率和不同应变所对应的应力值的 txt文档, 为后续数据库的建立奠定基础。

1Cr13-850.txt - 记事本							
	0.1	0.2	0.3	0.4	0.5	0.6	0.7
2	138.7	176	196.7	207.1	211.2	213.3	211.2
4	148.2	188	210.1	221.2	225.6	227.8	225.6
6	153.5	194.7	217.6	229.1	233.6	235.9	233.6
8	158.2	200.7	224.3	236.1	240.8	243.2	240.8
10	161.4	204.7	228.8	240.8	245.7	248.1	245.7
20	172.4	218.7	244.5	257.3	262.5	265	262.5
60	191.9	243.4	272.1	286.4	292.1	295	292.1
100	200.8	254.8	284.8	299.7	305.7	308.7	305.7

图 2 850 °C时 1Cr13不同应变速率和不同应变所对应的应力值

Fig. 2 The stress value of 1Cr13 under different strain rate and different strain at 850 °C

2.3 材料数据库的二次开发

本文以 TC4钛合金为例来具体介绍材料数据库的二次开发过程。利用 Q form 软件的材料添加功能, 将搜集和整理的 TC4钛合金数据分别添加到 Q form 软件中, 具体添加的过程如下。

第一步: 子材料数据库的新建。进入 Q form 软件的材料数据库界面, 在 Material下的 Deformed Material中新建立 Titanium alloy子材料数据库, 并新建一种材料, 如图 3所示。

第二步: 流动应力应变数据的添加。选择 Change type菜单, 在显示功能向导界面中以 Load parameters from file的形式导入 TC4钛合金在不同温度下的不同应变速率和不同应变所对应的应力值的 txt文档, 完成 TC4钛合金流动应力 - 应变数据的添加, 添加后的界面如图 4所示。

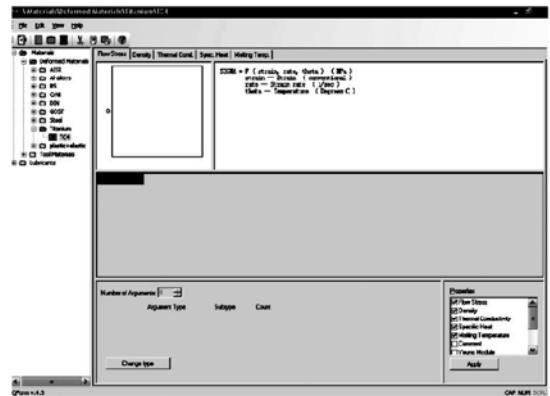


图 3 材料数据库界面

Fig. 3 Interface of material database

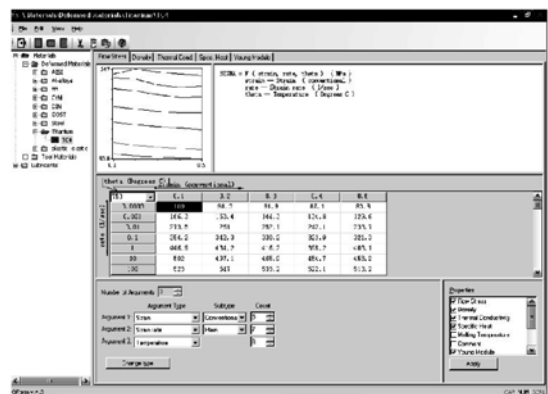


图 4 流动应力 - 应变数据添加界面

Fig. 4 Editing interface of flow stress and strain data

第三步: 材料物理性能的添加。在材料数据库界面的右下角有属性栏, 选择要输入的物理性能名

称，如密度、热导率、比热容、弹性模量等，点击应用，即可进行材料物理性能数据的输入。图 5 为 TC4 钛合金比热容的输入界面。

第四步：将已经添加好的数据进行保存，从而完成 TC4 钛合金数据添加，对于其他钛合金进行同样的添加，从而建立钛合金子材料数据库。同样也可以建立钢和高温合金子材料数据库。最终建立 Q form 软件的材料数据库。Q form 软件材料数据库中新增的 31 种钢、13 种钛合金和 26 种高温合金共 70 种合金材料如表 1 所示。

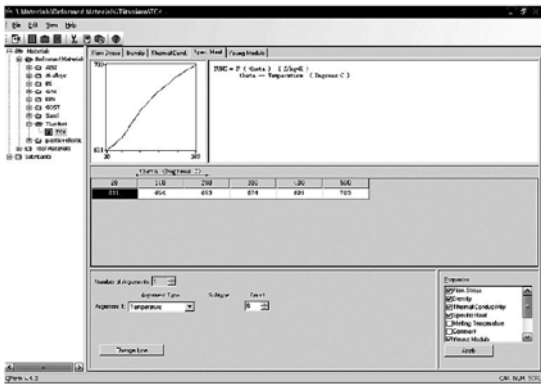


图 5 比热容添加界面
Fig. 5 Editing interface of specific heat capacity

表 1 Q form 软件材料数据库中新增合金
Table 1 The new added alloys in the materials database of Q form

合金种类		合金牌号						
超合金	GH 141	GH 159	GH 188	GH 2132	GH 2674	GH 2696	GH 3044	GH 3039
	GH 3625	GH 4169	GH 4586	GH 4698	GH 4751	GH 536	GH 600	GH 648
	GH 708	GH 720	GH 738	GH 742	GH 761	GH 825	GH 901	GH 907
	FGH 95	FGH 96						
钛合金	TA 3	TA 7	TA 11	TA 15	TA 19	TB 6	TC 4	TC 6
	TC 11	TC 17	Ti- 40	Ti- 60	T 53311S			
钢	1Cr13	2Cr13	3Cr13	4Cr13	15CrA	20Cr	40Cr	35CrMo
	10号钢	15号钢	20号钢	25号钢	30号钢	35号钢	45号钢	50号钢
	1Cr17Ni2	2Cr18Ni9		1Cr18Ni9		12Cr18Ni9A	0Cr18Ni9	
	20CrMoA	0Cr18Ni9Ti		1Cr18Ni9Ti		60Si2MnA	30CrMnSiA	
	18Cr2Ni4WA	38CrMoAlA		40CrNiMoA		Cr18Ni12Mo2Ti	0Cr11Ni2MoVNb	

3 Q form 材料数据库的可靠性验证

通过 TC4 圆环镦粗试验和有限元模拟相结合的方法来验证 Q form 材料数据库的可靠性。圆环镦粗试验在 9.8 MN 电动螺旋压力机上进行，滑块速度为 150 mm /s，模具材料选用 4Cr5W 2VSi。圆环试样的尺寸：外径 $D = 40\text{ mm}$ ，内径 $d = 20\text{ mm}$ ，高度 $h = 14\text{ mm}$ ，采用玻璃剂润滑，取 TC4 相变点以下 40 °C 即 940 °C 为圆环变形温度，模具预热温度 250 °C，变形量为 50%。

TC4 钛合金圆环镦粗试验有限元模拟之前先要对模具和试样进行三维造型。采用 UGNX4.0 完成对圆环试样以及模具的三维实体造型，转化为 stp 格式后导入到 Q form 软件的 Q draft 绘图系统，进入模拟

前处理，完成模型的网格划分和定位，将文件保存为 shl 格式。然后确定模拟的参数，选择设备为 9.8 MN 螺旋压力机，模拟问题为 3D 问题，导入保存好的 shl 格式，设定上下模具端面的最后距离等于试验后试样的高度即为 7 mm。在所建立的材料数据中选择所需材料 TC4 钛合金，设定圆环镦粗温度为 940 °C，模具预热温度为 250 °C，选用玻璃润滑剂，摩擦因数为 0.35，最后将文件保存为 qfm 格式，开始有限元模拟。

图 6 为镦粗后的 TC4 钛合金圆环试样和有限元模拟的圆环试样。将模拟的结果与试验结果进行比较，如表 2 所示。由于内径误差 2.3% 和外径误差 0.1% 均比较小，所以模拟的结果与试验结果基本一致，从而说明了所建立的材料数据库是可靠的。

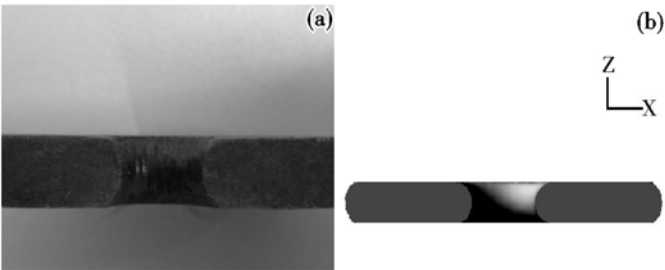


图 6 TC4 钛合金圆环墩粗试验结果 (a) 和模拟结果 (b)

Fig.6 The test result (a) and simulation result (b) after TC4 titanium alloy ring upsetting

表 2 墩粗试验和有限元模拟后的圆环尺寸

Table 2 The ring size after test and simulation

	墩粗圆环 /mm	模拟圆环 /mm	误差 %
外径	51.52	51.10	0.1
内径	10.17	10.40	2.3

4 结 论

(1) 在 Q form 原有材料库的基础上, 增加了常见的 31 种钢、13 种钛合金和 26 种高温合金共 70 种合金材料并成功地嵌入到 Q form 材料数据库中, 完善了 Q form 材料数据库。

(2) 在 Q form 原有材料库的基础上进行国内外常用钢、高温合金和钛合金材料的添加和完善是可行的、可用的。所添加的材料和相应参数在应用于生产模拟后, 处理结果可信。

参考文献

[1] 彭颖红. 金属塑性成形仿真技术 [M]. 上海: 上海交通大学出版社, 1999

[2] 刘建生, 陈慧琴, 郭晓霞. 金属塑性成形加工有限元模拟技术与应用 [M]. 北京: 冶金工业出版社, 2003

[3] 张颖. 斯太尔汽车转向节模锻工艺有限元模拟研究 [D]. 呼和浩特: 内蒙古工业大学, 2009 10- 12

[4] 中国航空材料手册编辑委员会. 中国航空材料手册: 结构钢, 不锈钢: 第 1 卷 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2002

[5] 中国航空材料手册编辑委员会. 中国航空材料手册: 变形高温合金, 铸造高温合金: 第 2 卷 [M]. 北京: 中国标准出版社, 2002

[6] 中国机械工程协会, 中国材料研究学会, 中国材料工程大典编委会. 中国材料工程大典: 有色金属材料工程 (上): 第 4 卷 [M]. 北京: 化学工业出版社, 2005

[7] 周纪华, 管克智. 金属塑性变形阻力 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1989

[8] Han Yuanfei, Zeng Weidong, Zhao Yongqing et al Modeling of constitutive relationship of Ti- 25V- 15Cr- 0.25Si alloy during hot deformation process by fuzzy neural network [J]. Materials and Design, 2010 31(9): 4308- 4385

[9] Sun Y, Zeng W D, Zhao Y Q, et al Development of constitutive relationship of Ti600 alloy using artificial neural network [J]. Computational Materials Science, 2010 (48): 686- 691

[10] Li L X, Lou Y, Yang L B, et al Flow stress behavior and deformation characteristics of Ti- 3Al- 5V- 5Mo compressed at elevated temperatures [J]. Materials and Design, 2002 23(5): 451- 457

Development of Materials Database of Finite Element Simulation Software Q form

Li Xiaoguang¹, Liu Jun¹, Li Zhihua¹, Min Huina¹, Li Kai¹, Zeng Weidong²
(1. AVC Shenyang Lin ing Aero- Engine (Group) Co, Ltd, Shenyang 110043 China)
(2. Northwestem Polytechnical University, Xi'an 710072, China)

Abstract: Q form is one of specialized simulation softwares in solving forging problem based on finite element calculation method with the advantages of fast simulation speed, strong practicability and high efficiency, but the original materials database of Q form urgently need to be replenished for lacking data of commonly used alloys. A new added materials database including 31 kinds of steel, 26 kinds of superalloy and 13 kinds of titanium alloy was established by collecting and processing commonly used alloys data based on the original materials database of Q form software, and was successfully embedded into Q form software. Ultimately materials database of Q form software was consummated and the reliability of additive material was verified, consequently the more extensive and reliable data was provided for Q form finite element simulation.

Key words Q form database; finite element simulation; collecting and processing data; materials database