• 试验研究 Experimental Research •
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.12.001

QTD 1050-6 材料的低温性能研究

郑言彪,张 军,齐 基,文 宏,金志平
(湖北省机电研究设计院股份公司,湖北 武汉 430000)

摘 要:以 QTD1050-7 材料为研究对象,研究了该材料的低温力学性能。结果表明,与常温下的力学性能对比,低温条件下,该材料的力学性能变化较大,但仍具有良好的综合力学性能。在 -20 ℃时,抗拉强度提高了 6.85%,伸长率为 7.40%,下降了 12.63%,冲击功为 74 J,下降了 20.43%;在 -60 ℃时,相对于常温条件抗拉强度提高 8.39%,伸长率下降 29.04%,冲击功下降了 66.67%;在 -60 ℃时,硬度变化幅度相对较小,硬度最高,比常温提高了 8.48%。

关键词:ADI;低温性能;抗拉强度;伸长率

中图分类号:TG143.5; TG113 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)12-1013-04

Study on Low Temperature Properties of QTD 1050-6 Material

ZHENG Yanbiao, ZHANG Jun, QI Ji, WEN Hong, JIN Zhiping
(Hubei Mechanical and Electrical Research and Design Institute Co., Ltd., Wuhan 430000, China)

Abstract: The low temperature mechanical properties of QTD1050-7 were studied. The results show that compared with the mechanical properties at room temperature, the mechanical properties of the material change greatly at low temperature, but it still has good comprehensive mechanical properties. At -20 ℃, the tensile strength increases by 6.85%, the elongation is 7.40%, and the impact energy decreases by 12.63% at 74 J. At -60 ℃, the tensile strength increases by 8.39%, the elongation decreases by 29.04%, and the impact energy decreases by 66.67%. At -60 ℃, the range of hardness is relatively small and the hardness is the highest, which is 8.48% higher than that at room temperature.

Key words: ADI; low temperature performance; tensile strength; elongation

具有优良的综合力学性能的等温淬火球墨铸铁(ADI)材料在汽车零部件、工程机械、耐磨件及轨道交通零部件等方面应用广泛,但国内对 ADI 的低温性能研究相对较少。研究 ADI 材料 QTD1050-7 的在低温下的力学性能,可以探索笔者公司汽车板簧支架、悬臂支架及部分轨道交通用零部件等 QTD1050 系列产品在低温下的力学性能,也可为后续开发 ADI 材质的耐低温产品做准备,进而拓展 ADI 材料的应用领域。

1 实验材料及实验方法

1.1 原材料选取

原材料选用 P、S、Mn 含量较低的优质 Q10 球铁生铁、回炉铁及优质废钢,按化学成分要求加入 Mo、Cu 等合金元素。球化剂选用 FeSiMg8RE3,选用 FeSi75 作包内孕育剂,随流孕育采用自制复合孕育剂[1]。

1.2 熔炼工艺

为保证铁液质量,采用 0.5 t 中频电炉熔炼,自制复合脱硫剂脱硫,炉前快速分析 C、Si 含量及 CE,根据结果及时调整 C、Si 含量。铁液出炉温度控制在(1 500±5) ℃,堤坝式处理包,冲入法球化孕育处理[2]。球化处理时快速扒渣 2~3 次,后转入浇包进行浇注 Y 形试块,浇注时采用多次孕育处理。熔炼铁液化学成分控制 w(%)为:3.4~3.8 C, 2.5~2.8 Si, 0.1~0.3 Mn, <0.02 S, <0.03 P, 0.3~1.0 Cu, 0.1~0.2 Mo。

1.3 热处理工艺

热处理工艺为:奥氏体化温度控制在 880~920 ℃,保温时间为 1~2 h。等淬温度控制在 330~370 ℃,等温时间为 1.5~3.0 h。

1.4 试样制备

实验采用单铸 Y 形试进行测试,尺寸按照 GB/T 1348-2009 球墨铸铁件中对 Y 形试块(类型Ⅱ)的尺寸要求浇注,尺寸如图 1 所示。将 Y 形块的下部切成 25 mm×30 mm×180 mm 的条形试块,再进

收稿日期:2021-10-14
基金项目:湖北省科技厅科技专项(2020-205-030-002)
作者简介:郑言彪(1988—),湖北公安人,硕士,工程师.主要从事金属材料及铸造工艺性能研究工作.
电话:15972972500,Email:zhengyb1209@163.com

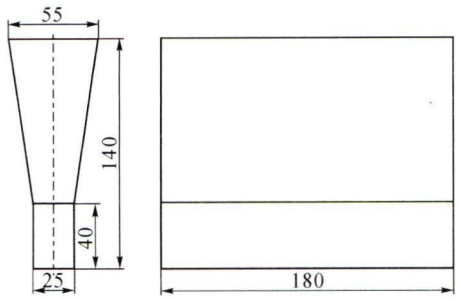


图 1 标准 Y 形试块
Fig.1 The standard Y test block

行热处理，将热处理之后的的试块加工成 10 mm×10 mm×55 mm 的无缺口冲击试样和 ϕ8 mm×40 mm 的拉伸试样，拉伸试样尺寸如图 2。

1.5 实验方法

冲击试样按照 GB/T 229-2020《金属材料夏比摆锤冲击试验方法》要求，先在 JB-300B 半自动冲击试验机的低温槽内用制冷剂冷却到所需温度，保温 5~10 min，保证试样心部冷透，温度分别设置为 -20、-40、-60 ℃，为保证实验精度，试样取出后应在 5 s 内完成冲击实验，后做 20 ℃的对比实验。在做低温冲击实验的同时将硬度测试试样放入低温槽保温，取出后及时检测各温度下的布氏硬度。拉伸试验先做 20 ℃的对比实验，后将低温拉伸试样在日本岛津 AG-IS(100 kN)型低温拉伸试验机的保温箱内用液氮降低到所需温度，温度分别设置为 -20、-40、-60 ℃，然后按照 GB/T 13239-2006《金属材料低温拉伸实验方法》的要求，保温 10~15 min，保证拉伸试样的心部冷透、整体温度分布均匀，然后进行低温拉伸实验。

采用 OLYMPUS-GX51 金相显微镜观察未腐蚀前石墨的形态、大小、分布，然后用 4%的硝酸酒精溶液腐蚀，观察腐蚀后的 ADI 显微组织；采用 JSM5610LV 扫描电镜观察试样断口显微形貌。

2 实验结果及分析

2.1 金相组织

图 3、图 4 为 QTD1050-7 的显微组织形貌，石墨大小 6 级，球化率 2 级，基体组织为奥铁体组织，组织致密。

2.2 力学性能结果及分析

QTD1050-7 材料的力学性能随温度变化趋势如图 5 所示可以得出：在常温 20 ℃时，该材料抗拉强度为 1 154.41 MPa、屈服强度为 820.72 MPa、伸长率为 8.47%，冲击功为 93 J，布氏硬度为 330 HB；在 -20 ℃时，抗拉强度提高了 6.85%，伸长率为 7.40%，下降了 12.63%，冲击功为 74 J，下降了 20.43%；而在 -60 ℃时，该材料的抗拉强度为 1 251.24 MPa、屈服强度为 800.51 MPa、伸长率为 6.01%，抗拉强度相对于常温提高了 8.39%，伸长率下降 29.04%，冲击功相对于常温下降了 66.67%仅为 31 J，硬度提高了 8.48%，这表明在低温条件下，该材料的力学性能变化较大，但仍具有良好的综合力学性能。

随着温度的降低，该材料抗拉强度和硬度逐渐上升，伸长率下降，冲击功下降幅度较大，主要原因有以下几个方面：①低温下，材料内部的原子活性降低，使得原子的扩散能力和位错迁移能力有所下降，同时，随着温度的下降，原子之间结合的更加紧密，

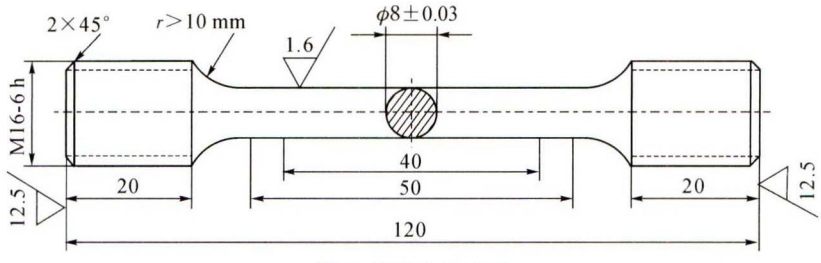


图 2 标准拉伸试样
Fig.2 The standard tensile specimens

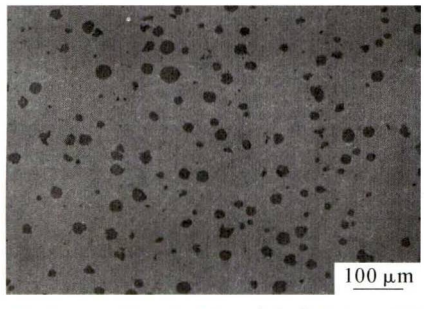


图 3 QTD 1050-6 的石墨组织，球化率 2 级，石墨大小级
Fig.3 Graphite structure of QTD1050-6, nodularity 2, nodule size 6

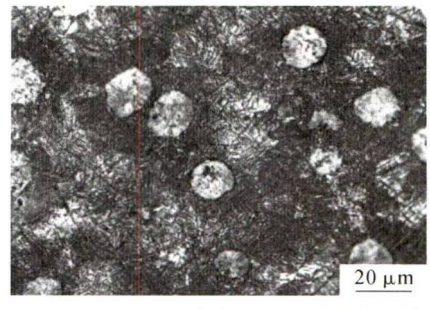


图 4 QTD 1050-6 的微观组织：石墨球和奥铁体
Fig.4 Metal matrix structure of QTD1050-6: graphite nodules+ausferrite

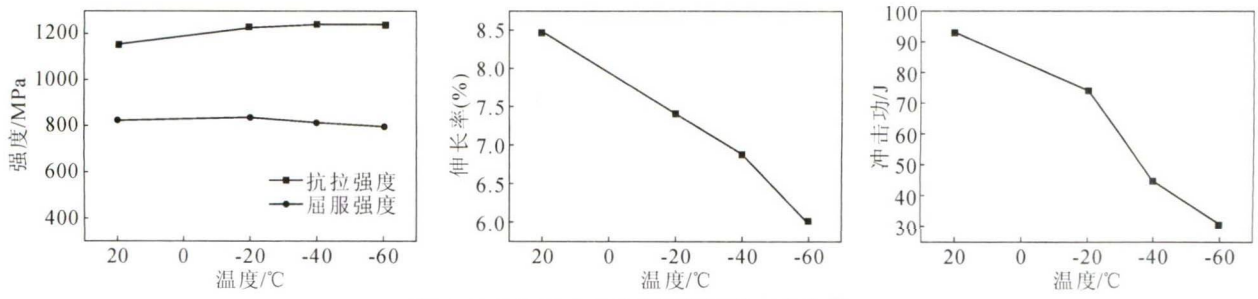


图 5 QTD1050-7 力学性能随温度变化趋势

Fig.5 Mechanical properties of the QTD1050-7 versus temperature

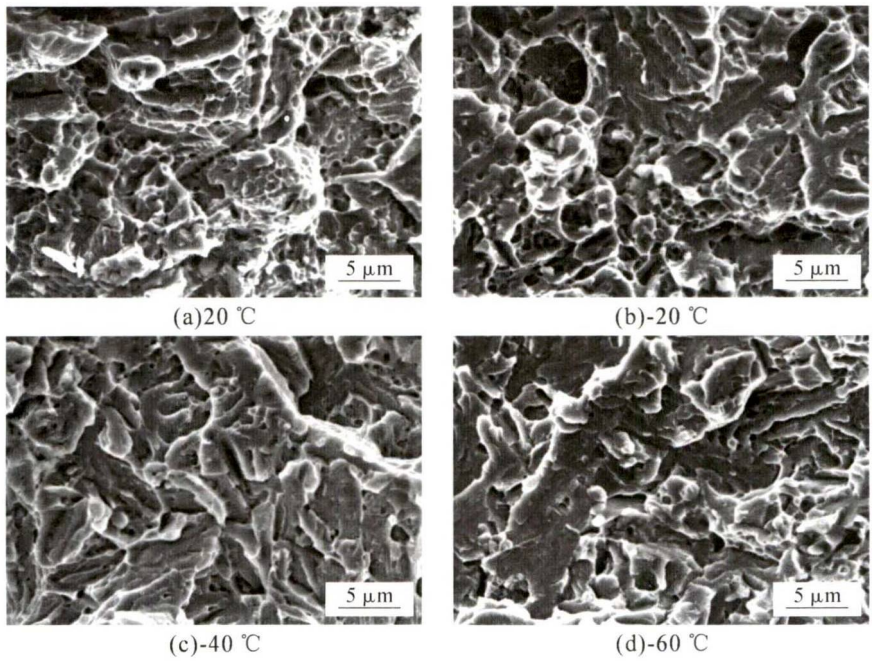
所以材料抵抗局部塑性变形的能力变强，造成材料强度和硬度增加；②在低温以及外力的作用下，材料内的大量高碳奥氏体将有部分会转变为马氏体，从而也在一定程度上增强了材料强度和硬度；③低温下，材料原子扩散比较困难，塑性变形机制不能发挥出应有的作用，且当基体中奥氏体含量下降后，塑性也随之下降，表现为伸长率降低；④随着温度降低，原子运动变缓，获得能量的概率变低，相邻晶粒位错运动激活的概率也随之降低，因此在位错塞积前弹性就不易松弛，对裂纹的敏感性增加，韧性随之下降，故冲击功随着温度的降低而下降幅度较大[3-6]；⑤而屈服强度没有随温度降低呈现完全上升趋势，可能由于试样数量较少（考虑实验成本每组仅 3 件试样），数据存在一定局限性所致。

2.3 冲击断口形貌

观察该材料在不同温度下无缺口冲击试样的 SEM 形貌照片可得（见图案 6）：随着试验温度的降低，材料冲击断口韧窝的数量有着十分明显的减少，同时断口表面解理形貌特征逐渐增加，随着温度的降低，QTD1050-7 材料发生了韧性断裂——脆性断裂变化的过程。到温度降为 -20 ℃时，韧窝数量便大大减少、深度变浅，并伴随出现了较多的鱼骨状撕裂棱；到温度在 -40 ℃时，断口表面已经基本不存在韧窝，同时出现较多的解理台阶和河流花样；到温度降为 -60 ℃时，材料断口已没有韧窝，并出现大量河流花样和解理台阶，冲击功明显下降，断口形貌特征变化也与冲击实验数据的变化趋势相符。

2.4 拉伸断口形貌

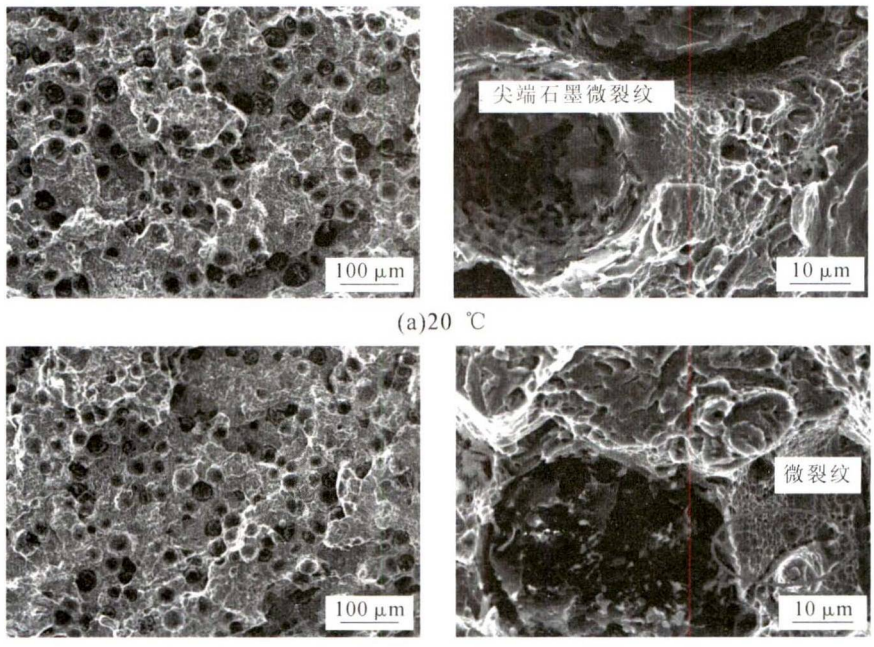
从上图 7 可以看出，在 20 ℃时，石墨球与孔洞壁间有较大的空隙，脱离基体的石墨球数量较少，部分石墨球或石墨球孔洞表面不圆整且整体变形较大，表明拉伸过程中材料有塑性变形将石墨包裹住，使其不易脱落，说明塑性较好。-60 ℃下，石墨球与孔洞壁间间隙较小，脱离基体的石墨球数量较多，表明裂纹萌生和扩展过程中阻力较小，很快发生断裂[7]。对拉伸断口进一步观察可以发现：部分石墨或石墨孔洞周围存在显微裂纹，表明在拉伸过程中，石墨球相当于孔洞的薄弱环节，破坏了基体的连续性，当在



(a)20 ℃　(b)-20 ℃　(c)-40 ℃　(d)-60 ℃

图 6 不同温度下 QTD1050-7 冲击试样断口形貌

Fig.6 The impact fracture morphology of QTD1050-7 with different temperature



(a)20 ℃

(b)-60 ℃

图 7 20 ℃和 -60 ℃拉伸断口 SEM 形貌对比

Fig.7 SEM images of the tensile fracture surface at 20 ℃ and -60 ℃

外力作用下,石墨球容易产生应力集中,石墨所在的孔洞被拉长,外力作用时首先在石墨处特别是一些存在尖端的石墨处,容易产生微裂纹,进而扩展至整个截面,致使材料断裂[8]。

3 结论

(1)在 -60 ℃时,QTD1050-7 材料抗拉强度为 1 251.24 MPa, 屈服强度为 800.51 MPa, 伸长率为 6.01%,冲击功为 31 J,硬度为 358 HB,说明该材料在低温下仍具有很好的综合力学性能。该数据为 QTD1050-7 材料在低温下的使用情况提供了一定的参考依据。

(2)在 -60 ℃时,相对于常温条件抗拉强度提高 8.39%,伸长率下降 29.04%,冲击功下降了 66.67%。在 -60 ℃时,硬度最高,比常温提高了 8.48%。

(3)随着温度的降低,QTD1050-7 材料发生了韧性断裂——脆性断裂变化的过程。

(4)低温下,拉伸断裂过程中首先在石墨特别是一些存在尖端的石墨处产生裂纹, 进而扩散至整个截面,致使材料断裂。

参考文献:

[1] 张军,郑言彪,文宏,等. 等温淬火球墨铸铁件的生产要点概述[J]. 现代铸铁,2018,38(6):3-5.

[2] 齐基,张军,郑言彪,等. 铸态 QT600-8 球铁的研制[J]. 铸造技术,2020,41(12):1145-1152.

[3] 邓宏运, 王春景, 章舟. 等温淬火球墨铸铁的生产及应用实例[M]. 北京:化学工业出版社,2009:58-66.

[4] 唐才宇,姜珂,曲迎东. 一种耐低温奥氏体球铁的低温性能和表面强化分析[J]. 铸造,2014,163(6):532-535.

[5] 时胜利,刘金城. 等温淬火球铁(ADI)的微观组织与力学性能[C]//2006 中国铸造活动周论文集. 西安, 2006:181-187.

[6] 陈江,黄兴民,高杰维,等. 低镍球墨铸铁低温冲击性能及断裂机理研究[J]. 材料工程,2012,12:33-38.

[7] 李强. 低温高韧性球墨铸铁微观组织与力学性能研究[D]. 西安:西安理工大学,2018:58-61.

[8] 张新宁,姜珂. 奥氏体球墨铸铁超低温冲击断裂行为研究[J]. 铸造,2017,66(12):1326-1332.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章:1 铸铁件均衡凝固与有限补缩;2 铸铁件冒口补缩设计及应用;3 压边浇冒口系统;4 浇注系统大孔出流理论与设计;5 铸件均衡凝固工艺;6 铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7 浇注系统当冒口补缩设计方法;8 铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页,特快专递邮购价 280 元。

邮购咨询:李巧凤 13991824906,技术咨询:13609155628