

目 录

第一部分：MMS-200 热力模拟实验机操作规程.....	1
一、开机操作步骤.....	1
二、试验操作步骤.....	1
（一）压缩实验.....	1
（二）拉伸实验.....	2
（三）热处理实验.....	4
（四）CCT 实验.....	5
（五）焊接实验.....	5
（六）锤头自由控制.....	5
三、结束实验.....	6
四、注意事项.....	7
第二部分：MMS-200 热力模拟实验机界面操作规程.....	10
一、各试验操作界面介绍.....	10
（一）单道次压缩试验.....	10
（a）试验类型选择.....	11
（b）热电偶选择.....	12
（c）参数的输入.....	12
（二）多道次压缩试验.....	15
（三）热处理试验.....	17
（四）拉伸试验.....	19
（五）焊接试验.....	20
（a）界面中各参数简介.....	21
（b）各种绘制方法的界面及操作介绍.....	21
（六）锤头自由控制.....	25
二、数据处理.....	26
第三部分：MMS - 200 热力模拟实验机按钮操作说明.....	30
一、主控制柜操作按钮及开关说明.....	30
二、主体设备左侧面板界面说明.....	34
三、主体设备右侧面板界面说明.....	36
附录一：MMS-200 的试验原理及试验方法.....	38
1.1 压缩试验.....	38
1.1.1 单向压缩试验.....	39
（a）单道次压缩试验.....	39
（b）多道次压缩试验.....	41
1.1.2 平面应变压缩试验.....	41

1.2 热处理试验.....	42
1.3 CCT 试验.....	43
1.3.1 静态 CCT 试验.....	44
1.3.2 动态 CCT 试验.....	45
1.4 应力松弛试验 (PTT)	45
1.5 拉伸试验.....	47
1.6 焊接热循环试验.....	48
1.7 焊接热影响区连续冷却转变试验 (SH-CCT 试验)	58
1.8 零强温度 (NST) 和零塑性温度 (NDT) 的测定试验	58
1.8.1 零强温度 (NST) 的测定	59
1.8.2 零塑性温度 (NDT) 的测定.....	60
1.9 SICO 试验	62
1.10 铸造试验.....	63
附录二： MMS-200 的试样及卡具类型.....	66
2.1 MMS-200 热力模拟试验机的试样	66
2.2 MMS-200 热力模拟试验机的卡具	68
附录三： 真空机组操作说明书.....	69

第一部分：MMS-200 热力模拟实验机操作规程

一、开机操作步骤

1. 合上总电源控制柜中的总电源开关、加热系统开关、液压站开关、循环水开关、真空泵开关、PLC 控制柜开关。
2. 启动 UPS 电源。
3. 按下 PLC 控制柜上的“系统”按钮，指示灯亮。
4. 打开上位机即 Dell 台式计算机。
5. 启动 PLC 柜上的触摸屏。
6. 安装相应实验的试样。

二、试验操作步骤

(一) 压缩实验

压缩试验分为单道次压缩和多道次压缩两种，试验的操作方法一致。

1. 选择主操作界面上“单道次压缩/多道次压缩”按钮。
2. 输入实验参数后，单击“绘图”按钮，观察并分析设定曲线以确保无误。
3. 当试样被正确安装后，按下“油泵”按钮启动低压油泵，旋转二轴的手动旋钮，使一轴的左端离开挡板几毫米（最好小于第一道次变形量），再次按下“油泵”按钮停止油泵，并将一轴气锤开关打到“自动压”的位置。
4. 若试验需要淬火，则应调整喷水口和试样之间的位置；若需要抽真空，则需将操作箱盖关好。抽真空的步骤和相关事宜参见附录三。注意在试验结束后打开操作箱盖前，须按下“进气”按钮，使空气进入操作箱。当可以打开操作箱时，再次按下“进气”按钮，停止进气。
5. 若试验需要充保护气（一般为氮气或氩气），一般在抽真空后，按下“保护气”按钮开始充保护气，通过观察真空表的读数来确定保护气的容量。达到容量要求后，再次按下“保护气”按钮停止充保护气；或者用小流量继续充保护气，使操作箱内保持微正压。
6. 按下冷却水电源按钮，启动冷却水。

7. 单击参数设定界面下方的“确定”按钮，将实验数据传输到下位机。
8. 按下 PLC 控制柜上的“油泵”按钮，此时“油泵”和“油低压”按钮指示灯点亮，待油压稳定后，按下“油高压”按钮，等油压加到 22Mpa 时，按下“加热”按钮。
9. 按下控制柜上的“运行”按钮，此时一轴、二轴连同被夹持的试样同时向左移动，推出压缩量，此时要观察试样在移动的过程中是否掉了下来。如果试样掉了下来，按下控制柜上的“停止”按钮，重新设定实验参数、手动调整二轴的位置，重新设定控制参数，并按下参数设定界面下方的“确定”按钮，再次按下“运行”按钮。
10. 观察触摸屏上的温度变化值，看温度控制是否正常，如果温度曲线突然跳变到 1300°C 左右（低温热处理实验）/1700°C 左右（高温热处理实验），表明此刻热电偶已经断了，需要停止实验。
11. 待实验温度下降到足够低时（通常在 400°C 以下）后，如果想提前结束实验，则按下控制柜上的“停止”按钮，当“停止”按钮灯（红色）被点亮后，再按一下“停止”按钮，使“停止”按钮灯熄灭。
12. 按下加热按钮 2 秒，关掉加热接触器，“加热”灯熄灭。按下“油泵”按钮停止油泵，此时“油高压”灯熄灭，再次按下“油泵”按钮，“油低压”、“油泵”两个指示灯熄灭。
13. 按下冷却水电源按钮，停止冷却水。
14. 按下主界面上的“数据处理”键，进入数据处理界面。点击“数据传输”键，此时左侧的绿色指示灯会变亮，待数据传输完毕后，指示灯熄灭。
15. 在数据处理界面选择要观察的曲线类型，按下“绘图”键，曲线显示控件会显示相应曲线。可根据需要进行保存、退出等操作。
16. 数据处理结束后，按下数据处理界面的“停止”按钮，退出数据处理界面，回到主操作界面。重新输入设定参数可以进行下一次实验。

（二）拉伸实验

1. 选择主操作界面上“拉伸”按钮。
2. 输入实验参数后，单击“绘图”按钮，观察并分析设定曲线以确保无误。

3. 将二轴气动旋钮置于“拉”状态（拧到左边），点动相应的气动按钮，使二轴移动至最左端，然后安装试样。当试样被正确安装后，按下“油泵”按钮启动油泵，旋转一轴的手动旋钮，使锤头向锤砧方向移动，并缓慢靠近锤砧并直至基本接触为止。再次按下“油泵”按钮停止油泵。
4. 安装锤头和锤砧之间的连接器，安装完成后进一步确认二轴处于最左端死相位置，否则在拉伸过程中会出现二轴随动现象。
5. 若试验需要淬火，则应调整喷水口和试样之间的位置；若需要抽真空，则需将操作箱盖关好，抽真空的步骤和相关事宜参见附录三。注意在试验结束打开操作箱盖前，须按下“进气”按钮，使空气进入操作箱。当可以打开操作箱时，再次按下“进气”按钮，停止进气。
6. 若试验需要充保护气（一般为氮气或氩气），一般在抽真空后，按下“保护气”按钮开始充保护气，通过观察真空表的读数来确定保护气的容量。达到容量要求后，再次按下“保护气”按钮停止充保护气；或者用小流量继续充保护气，使操作箱内保持微正压。
7. 按下冷却水电源按钮，启动冷却水。
8. 单击参数设定界面下方的“确定”按钮，将实验数据传输到下位机。
9. 按下 PLC 控制柜上的“油泵”按钮，此时“油泵”和“油低压”按钮指示灯点亮，待油压稳定后，按下“油高压”按钮，等油压加到 22Mpa 时，按下“加热”接触器按钮。
10. 按下控制柜上的“运行”按钮。
11. 观察触摸屏上的温度变化值，看温度控制是否正常，如果温度曲线突然跳变到 1300℃左右（低温热处理实验）/1700℃左右（高温热处理实验），表明此刻热电偶已经断了，需要停止实验。
12. 试样温度下降到足够低（通常在 400℃以下）或断偶时，如果想提前结束实验，则按下控制柜上的“停止”按钮，当“停止”灯（红色）被点亮后，再按一下“停止”按钮，使“停止”灯熄灭。关掉加热接触器，“加热”灯熄灭。按下“油泵”按钮停止油泵，此时“油高压”、“油低压”、“油泵”三个指示灯熄灭。
13. 再次按下冷却水电源按钮，停止冷却水。

14. 按下主界面上的“数据处理”键，进入数据处理界面。点击“数据传输”键，此时左侧的绿色指示灯会变亮，待数据传输完毕后，指示灯熄灭。
15. 在数据处理界面选择要观察的曲线类型，按下“绘图”按钮，曲线显示控件会显示相应曲线。可根据需要进行保存，退出等操作。
16. 数据处理结束后，按下“停止”按钮，退出数据处理界面。重新输入设定参数可以进行下一次实验。

(三) 热处理实验

1. 单击主操作界面上“热处理”按钮。
2. 输入实验参数后，单击“绘图”按钮，观察并分析设定曲线以确保无误。
3. 正确安装试样，此时的试样通常为长试样。
4. 若试验需要淬火，则应调整喷水口和试样之间的位置；若需要抽真空，则需将操作箱盖关好，抽真空的步骤和相关事宜参见附录三。注意在试验结束打开操作箱盖前，须按下“进气”按钮，使空气进入操作箱。当可以打开操作箱时，再次按下“进气”按钮，停止进气。
5. 若试验需要充保护气（一般为氮气或氩气），一般在抽真空后，按下“保护气”按钮开始充保护气，通过观察真空表的读数来确定保护气的容量。达到容量要求后，再次按下“保护气”按钮停止充保护气；或者用小流量继续充保护气，使操作箱内保持微正压。
6. 按下冷却水电源按钮，启动冷却水。
7. 将气锤开关打到“自动压”的位置。
8. 单击参数设定界面下方的“确定”按钮，将实验数据传输到下位机。
9. 合上加热接触器。
10. 按下控制柜上的“运行”按钮。
11. 观察实时数据界面上的温度控制曲线，看温度控制是否正常，如果温度曲线突然跳变到 1300°C 左右（低温热处理实验）/ 1700°C 左右（高温热处理实验），表明此刻热电偶已经断了，需要停止实验。
12. 当试样温度下降到足够低（通常在 400°C 以下）或断偶时，如果想提前结束实验，则按下控制柜上的“停止”按钮，当“停止”灯（红色）被点亮

后，再按一下“停止”按钮，使“停止”灯熄灭。关掉加热接触器，“加热”灯熄灭。

13. 再次按下冷却水电源按钮，停止冷却水。
14. 按下主界面上的“数据处理”键，进入数据处理界面。点击“数据传输”键，此时左侧的绿色指示灯会变亮，待数据传输完毕后，指示灯熄灭。
15. 在数据处理界面选择要观察的曲线类型，曲线显示控件会显示相应曲线。可根据需要进行保存，退出等操作。
16. 数据处理结束后，按下“停止”按钮，退出数据处理界面。重新输入设定参数可以进行下一次实验。

(四) CCT 实验

CCT 试验分为静态 CCT 和动态 CCT 两种，静态 CCT 试验的操作步骤跟热处理试验的操作步骤一致，只是在步骤 4 时应将膨胀仪夹放在试样的正中间；动态 CCT 试验的操作步骤跟压缩试验的操作步骤一致，只是在步骤 4 前将膨胀仪夹放在试样的正中间，用于测量实试验过程中膨胀量的变化值。

(五) 焊接实验

焊接试验的操作过程跟热处理的操作步骤完全一致。

(六) 锤头自由控制

1. 选择主操作界面上“锤头自由控制”按钮。
2. 输入实验参数后，单击“绘图”按钮，观察并分析设定曲线以确保无误。
3. 当试样被正确安装后，将一轴气锤开关打到“自动压”的位置。若想实现变速率的拉伸功能，需要在此重复“拉伸试验”操作步骤中的第 3、4 步。
4. 若试验需要淬火，则应调整喷水口和试样之间的位置；若需要抽真空，则需将操作箱盖关好。抽真空的步骤和相关事宜参见附录三。注意在试验结束后打开操作箱盖前，须按下“进气”按钮，使空气进入操作箱。当可以打开操作箱时，再次按下“进气”按钮，停止进气。

5. 若试验需要充保护气(一般为氮气或氩气),一般在抽真空后,按下“保护气”按钮开始充保护气,通过观察真空表的读数来确定保护气的容量。达到容量要求后,再次按下“保护气”按钮停止充保护气;或者用小流量继续充保护气,使操作箱内保持微正压。
6. 按下冷却水电源按钮,启动冷却水。
7. 单击参数设定界面下方的“确定”按钮,将实验数据传输到下位机。
8. 按下 PLC 控制柜上的“油泵”按钮,此时“油泵”和“油低压”按钮指示灯点亮,待油压稳定后,按下“油高压”按钮,等油压加到 22Mpa 时,按下“加热”按钮。
9. 按下控制柜上的“运行”按钮。
10. 观察触摸屏上的温度变化值,看温度控制是否正常[如果温度曲线突然跳变到 1300°C 左右(低温热处理实验)/1700°C 左右(高温热处理实验),表明此刻热电偶已经断了,需要停止实验。
11. 待实验温度下降到足够低时(通常在 400°C 以下)后,如果想提前结束实验,则按下控制柜上的“停止”按钮,当“停止”按钮灯(红色)被点亮后,再按一下“停止”按钮,使“停止”灯熄灭。
17. 按下加热按钮 2 秒,关掉加热接触器,“加热”灯熄灭。按下“油泵”按钮停止油泵,此时“油高压”灯熄灭,再次按下“油泵”按钮,“油低压”、“油泵”两个指示灯熄灭。
18. 按下冷却水电源按钮,停止冷却水。
19. 按下主界面上的“数据处理”键,进入数据处理界面。点击“数据传输”键,此时左侧的绿色指示灯会变亮,待数据传输完毕后,指示灯熄灭。
20. 在数据处理界面选择要观察的曲线类型,按下“绘图”键,曲线显示控件会显示相应曲线。可根据需要进行保存,退出等操作。
21. 数据处理结束后,按下数据处理界面的“停止”按钮,退出数据处理界面,回到主操作界面。重新输入设定参数可以进行下一次实验。

三、结束实验

当一天的实验结束后,准备离开实验室前,应该关掉所有实验设备的工

作电源，其顺序如下：

1. 关闭 PLC 柜上的触摸屏
2. 关闭 Host_PC 计算机即 Dell 上位机。
3. 关掉 PLC 控制柜总开关。
4. 关闭操作箱中的加热系统开关、液压站开关、循环水开关、真空泵开关、PLC 柜开关、总电源开关。

MMS-200 热力模拟实验机所能完成的绝大多数试验都可以被归纳到上述六类试验中，实验者可以根据自己的试验目的，选择不同的试验类别，进行相应的试验设计。

四、注意事项

1. 根据试验要求选择相应的夹具和试样。将选择好的夹具安装在通用夹具之上。
 - A. 根据试样的长度和夹具的情况，来调整 I 轴和 II 轴的位置。I 轴、II 轴的位置靠空气锤选择开关和气锤点动按钮来实现,如果主液压缸锤头妨碍 I 轴的移动，可以用 I 轴旋钮调整锤头的位置。
 - B. 如果所安装的试样是压缩试样，应将空气锤选择开关置于“自动压”状态，给试样提供夹持力，避免试样掉下。
 - C. 使用热电偶焊接机，把热电偶焊接在试样上。两根热电偶的焊点距离为 1mm 左右比较合适，并在试样的同一截面上，热电偶根部与试样表面呈垂直状，将试样上的热电偶连接在接线柱上，当试验最高温度在 1250℃以下时，热电偶使用镍铬-镍硅材料；当试验最高温度在 1250~1700℃之间时，热电偶材料选用铂铑-铂合金。热电偶分正负极性，正极（没有磁性）接在红色的接线柱上，负极（有磁性）接在黑色的接线柱上，可用电磁铁判断热电偶是否有磁性。
 - D. 仔细检查热电偶接法的正确性（特别正负极性），并确保热电偶与其它部位（除试样和接线柱外）及两根热电偶之间都没有接触。发生热电偶正负极性接反、相互接触或接触其它部位，会导致试验自动执行时，试样不能被加热或者熔断，前者会发生冷状态下的打击，损坏设

备；后者会导致变压器等部件损坏。

2. 按试验要求设计试验类型、试验过程温度和位移等设定参数，仔细检查所输入的试验参数，确保没有错误。
3. 一般情况下，初次试验时液压站油温过低，达不到试验要求（试验时要求油温在 35~50°C 之间），需要启动液压系统进行空转来提高油的温度。步骤如下：
 - A. 首先确保控制柜全部通电，下位机 PLC 控制器处于运行状态。否则，液压站已提供动力，而控制系统不起作用，会导致设备安全事故发生，损坏设备。
 - B. 按下油泵按钮，此时，油泵和油低压两个按钮处于灯亮状态，液压系统在低压状态下启动运行。
 - C. 让液压系统在低压状态运行一会儿，其间仔细观察主液压缸的锤头和 II 轴是否有异常情况发生（正常情况下两者都不动），并检查液压管路，确保没有泄漏之处。
 - D. 若液压系统在低压状态运行时没有异常情况发生，再按下高压油按钮，使液压系统在高压状态下运行，提高液压油的升温速度。没有将液压系统从低压状态切换为高压状态，试验动作会发生在低压状态，导致试验结果严重失真，试验结果不可用，必须重新试验。
 - E. 当油温达到 50°C 时，需按下“油冷泵”按钮，启动油冷泵以降低油温。
4. 检查 I 轴在“压”状态或“自动压”状态下的移动情况，认为合适为止（必须在空压机的气源输出开关已经打开的前提下），在试验进行过程中，I 轴始终保持在“自动压”状态。对于像双相不锈钢这种高温时比较软的钢种，为保证试样不会掉下来，且不会在实验进行过程中被压变形，I 轴保持在“自动压”状态，只是调整气压旋钮将气压调到最低。
5. 打开主体设备的冷却水开关时，应检查水路的管接头，确保无漏水之处，同时观察冷却水的流出情况，确保冷却水过滤器没有被堵塞。在试验时，没有冷却水，会导致可控硅发热烧损、加热变压器性能下降或烧损、试验控制效果不佳等后果。当试样温度降到 100°C 以下时，关闭主体设备的冷却水开关。如果试验结束后，忘记关冷却水开关，一旦操作人员长时

间离开现场，再加上冷却水系统有漏点的话，会导致冷却水大量流出。

6. 若试验要求在真空或惰性气体氛围中进行，需要对操作箱抽真空或充惰性气体。步骤如下：
 - A. 打开电控柜里的真空泵电源开关，抽真空的步骤和相关事宜参见附录三。
 - B. 若需要充惰性气体，则在抽完真空后，按下“保护气”按钮，对操作箱充惰性气体。当操作箱内的惰性气体达到所设定的压力值时，再次按下“保护气”按钮，使其灯灭，停止充惰性气体。
 - C. 实验结束后，按下“进气”按钮，按钮灯亮，使外界空气进入操作箱，结束真空状态。当操作箱盖可以打开后，再按一下“进气”按钮，使按钮灯灭。
7. 实验结束后如果空气锤选择开关置于“自动压”状态，应该将其置于“压”状态或“拉”状态，点动操作按钮取下试样。
8. 确认控制柜面板上所有的按钮，除系统总开关按钮外，都处于灯灭状态。如果一些按钮长时间处于灯亮状态，会造成相应的电磁阀长时间处于工作状态，过度发热，容易引起电磁阀的使用寿命降低或损坏。
9. 打开操作箱盖，确认试样温度已经降到室温附近后，取下试样，做其它分析（如金相组织观察）。在试验结束后取下试样之前，一定要确保试样温度低于 60℃，否则易造成烫伤事故。
10. 在拉伸试验时，需要将拉伸连轴器（使用有 4mm 间隙的拉伸连轴器）把液压锤头和砧子固定为一体，以便液压系统通过 I 轴给试样施加拉伸力。
11. 在一些试验中，需要对变形或加热后的试样进行淬火，这就需要调整喷口和试样之间的位置。当淬火及操作箱结束真空状态后，打开操作箱后面下部的放水口，将操作箱里淬火后的水放入桶中，然后用清扫喷枪将操作箱内部的残留水吹扫干净。只有将操作箱中残留的水处理干净后，才能开展下一次实验。否则，抽真空时会导致真空泵进水，严重影响真空度和真空泵的使用寿命。

注意：在 MMS-200 热力模拟实验机上试验时，一定要严格按照上述试验过程的操作步骤来执行，否则，会造成控制系统出错，甚至安全事故。

第二部分：MMS-200 热力模拟实验机界面 操作规程

MMS-200 热力模拟实验机具有多功能模拟能力和实验功能，可以完成许多种试验。针对某种试验目的，如何进行试验设计，选择试验类型，并完成相应的试验参数的输入，是试验开始前必须完成的工作，也是整个试验过程中最重要的一环。试验设计的好坏，以及试验参数输入的正确与否，直接影响试验的最终结果，决定试验的成败。

试验的种类繁多，不可能针对每种试验都提供一种试验界面，即使做到这一点，也不利于开发新的试验功能。

目前，MMS-200 热力模拟实验机的试验设计为下列几大类：

- I 单道次压缩试验；
- I 多道次压缩试验；
- I 热处理（包括低温热处理和高温热处理）；
- I 拉伸（包括低温拉伸和高温拉伸）；
- I 焊接试验。
- I 锤头自由控制

每种试验对应一个试验界面，可以进一步细分试验类型和相应的试验参数。

MMS-200 热力模拟实验机所能完成的决大多数试验都可以被归纳到上述六类试验中，你可以根据自己的试验目的，选择不同的试验类别，进行相应的试验设计，选择所需要的试验输入参数。

下面对以上所述试验的试验设计、试验界面、试验参数输入、数据处理等相关信息分别进行说明。

一、各试验操作界面介绍

（一）单道次压缩试验

从试验设计角度来说，单道次压缩试验所能完成的试验功能为：在热处理的同时，对试样进行一定的压缩变形。

因此，下列试验经过不同的设计都可以通过单道次压缩试验来实现。

- | 平面应变压缩试验；
- | 扩散焊试验；
- | 电阻对焊试验；
- | 动态 CCT 试验；
- | 应力松弛试验；
- | 热裂纹敏感试验（SICO）；
- | 应变诱导试验；
- | 控轧控冷试验；
- | 动态再结晶试验。

单道次压缩试验的试验界面如图 2.1 所示。下面将对其中各部分做一一详述。

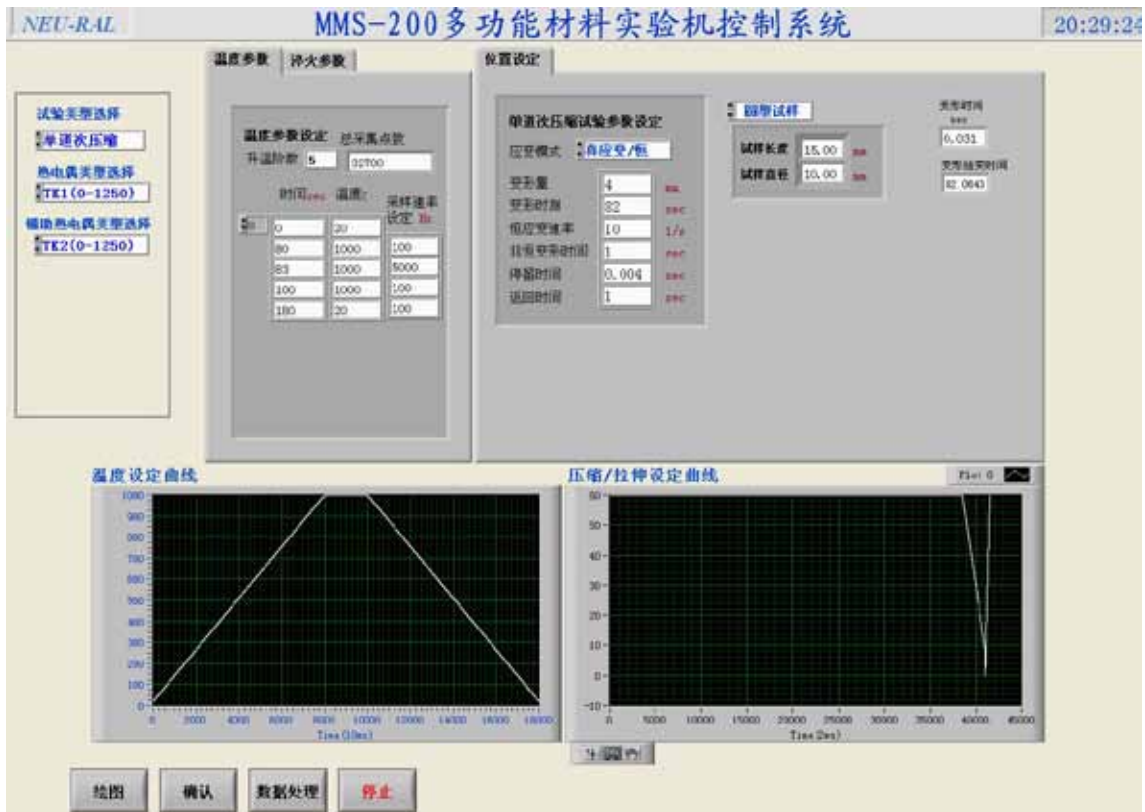


图 2.1 单道次压缩试验操作界面

(a) 试验类型选择

此操作系统提供单道次压缩、多道次压缩、热处理等五种试验类型，如图 2.2 所示。用户可根据实验需要进行选择，界面会根据用户选择的试验类型做相应改变。

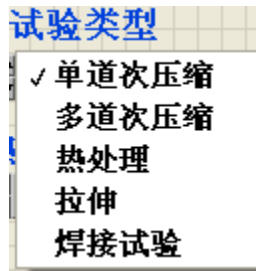


图 2.2 试验类型示意图

(b) 热电偶选择

此系统提供了两组热电偶采温形式，适用于多通道温度采集。如图 2.3 所示的热电偶类型选择，提供了四种热电偶选择通道，试验时任选其一。TK1、TK2、TK3 适用于低温试验（最高温度不超过 1250°C），热电偶材料为镍铬-镍硅；TS4 适用于高温试验（最高温度不超过 1700°C），热电偶材料为铂铑-铂合金。若试验需要同时采集两组温度曲线，可同时在“热电偶类型选择”和“辅助热电偶类型选择”（如图 2.4）两项中选择两组热电偶的采温通道。



图 2.3 热电偶类型示意图



图 2.4 辅助热电偶类型示意图

(c) 参数的输入

界面的上部分是温度输入参数和位置输入参数列表如图 2.1 所示。先看一下温度参数列表。“升温阶数”为设定温度曲线的拐点数，例如：“升温阶数”为 5，设定温度曲线的拐点数 5 个，即 20，1000，1000，1000，20。“升温阶数”也代表温度设定制度的输入参数（时间参数和温度参数）的横格数，“升温阶数”的数字必须与横格数相等，否则，容易出错。“升温阶数”参数的输入，可直接输入数据；建议在输入温度设定制度的参数（时间参数和温度参数）以后，根据其横格数的多少，来确定“升温阶数”的大小，这样可以保证输入参数的准确性，不容易出错。

“时间参数”的单位为秒 (s)，输入时间参数时，最小间隔为 10s。“温度参数”的单位为摄氏度(°C)，处于同一水平线的时间、温度值表示在某个时间，温度达到一定的值。如图 2.1 所示，刚开始温度为 20°C；在 80s 的时刻，温度从 20°C达到 1000°C；在 100s 时刻，温度仍保持在 1000°C不变；在 180s 时刻，温度从 1000°C冷却到 20°C；如时间从 100s 时刻到 180s 时刻这一区间内，温度从 1000°C均匀冷却到 20°C，这样就可以计算出该区间的冷却速度为 $(1000^{\circ}\text{C}-20^{\circ}\text{C}) / (180\text{s}-100\text{s})$ 。

“采样频率”的单位是赫兹(Hz)，即每一秒采集的点数。例如，0~80s 的采样频率为 100，那么这段时间采集的点数就为 $(80-0) * 100=8000$ ，这样将每一时间段内的点数相加就是采集的总点数，当然系统会根据用户的输入参数在界面显示计算后的总采集点数，程序设定要求总点数不能超过 64000。一旦超过控制器的采集范围，实际绘制出来的曲线将不完整。值得注意的是，即使在“确认”按钮已经按下以后，仍可以对采样频率进行修改。对于压缩试验，建议将变形时间段提取出来，其对应的采样频率适当提高。

界面下方的是温度设定曲线显示控件，可根据温度制度设定输入参数而绘制曲线。该曲线可以用来判断温度输入参数的正确性。横坐标代表时间，单位为 10ms，纵坐标代表温度，单位为摄氏度。

试样被加热或冷却到一定温度时，有时需要进行淬火处理，点击淬火参数这一 Tab 页，如图 2.5 所示。点击“淬火选择”前面的小方框，表示该试验需要淬火处理。

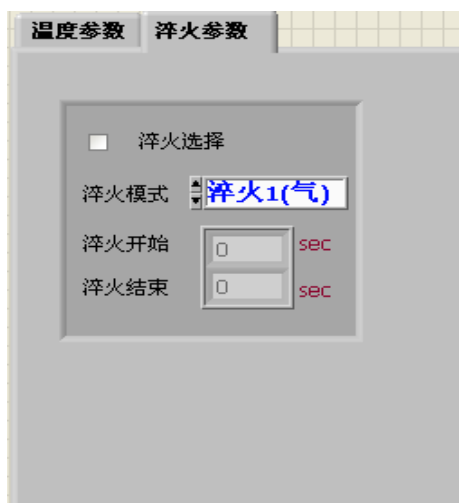


图 2.5 淬火参数输入页面

“淬火模式”有三种状态：分为气、水、气雾三种类型，用户可根据需要进行选择。选择完毕，还需要输入下面两个参数。

“淬火开始”和“淬火结束”，单位为秒，根据工艺要求，确定淬火开始和结束的时刻，然后分别填入两个参数之中，一般“淬火开始时刻”与温度参数列表中倒数第二横格的时间一致，为了给系统一段缓冲时间，一般“淬火开始时刻”比倒数第二横格的时间多 1s。

在位置参数页面中，“应变模式”分为真应变/恒、工程应变/恒、非恒应变三种模式，用户可根据需要进行选择。其中的“恒”即指压缩试验在恒应变速率下完成，“非恒应变”是指压缩试验在非恒应变速率下完成。当选择为前两种模式中的一种时，除“非恒变形时间”参数外，其它参数都需要实验者确定并输入。当选择为“非恒应变时”模式时，除“恒应变速率”参数外，其它参数都需要实验者确定并输入。此外，页面中还有一些需要输入的参数。

“变形量”是指试样的变形长度,单位为 mm。

“变形时刻”是锤头开始加速的时刻单位为 s。值得注意的是不要把“变形时刻”理解为试样开始变形的时间,因为其中还有锤头加速的一段时间,若操作者将“恒应变速率”设置的非常小，那么锤头加速的时间就不容忽视。

“变形结束时刻”是变形结束的时间，在设置温度参数时一定要注意这个时间是否在所要求的时间之内，若不在，应对温度界面中的时间参数做一调整。

“恒应变速率”是对恒应变速率单道次压缩试验才起作用的参数，单位为 1/s。

“非恒变形时间”是对非恒应变速率单道次压缩试验才起作用的参数，单位为 s。

“停留时间”是变形结束时，主液压缸锤头在变形结束位置保持不动的时间，单位为 s。一般要求“停留时间”不超过 10ms(0.01s)，设计这一参数的目的是为了 防止主液压缸在反向运动时太突然，造成冲击过大，从而降低主液压缸的使用寿命，因为，从主液压缸锤头在变形前后的运动轨迹来看，达到变形结束位置后，应返回初始位置。

“返回时间”是主液压缸锤头从变形结束位置返回结束位置的时间，单位为 s，用户可根据需要来确定。

用户还可选择试样的类型，有方型和圆型两种试样供选择。当选择方型试样

时需要输入的参数是：试样高度 mm，试样长度 mm，试样宽度 mm；当选择圆形试样时需要输入的参数是：试样长度 mm 和试样直径 mm。

此设备完成压缩试验时只做位置控制，压力控制暂时不予考虑，所以，压力设定页面这里不予介绍。

下边的压缩/拉伸设定曲线显示控件是试样变形过程中，主液压缸锤头移动轨迹的设定曲线，这是根据温度设定参数和变形制度的设定输入参数而绘制的曲线。这些曲线可以用来判断变形输入参数的正确性。主液压缸锤头移动轨迹的设定曲线横坐标代表时间，单位为 2ms，纵坐标代表位移，单位为 mm。

在温度参数和变形参数输入并检查无误后，用鼠标点动“绘图”按钮，这时，温度设定曲线和压缩设定曲线就会自动绘制出来。绘制出设定曲线的目的，在于利用设定曲线来检查输入参数的正确性。在查看曲线时，可以改变坐标系横坐标或纵坐标的区间大小，以便更好地检查曲线的形状，经过检查，确定输入参数无误后，用鼠标点动“确定”按钮，将试验参数（温度参数、变形参数、试验类型参数等）下载到下位机，准备试验。

（二）多道次压缩试验

多道次压缩试验用于模拟热连轧的力学性能参数，每道次都设计为恒应变速率变形过程。多道次压缩试验的界面及试验参数输入如图 2.6 所示。

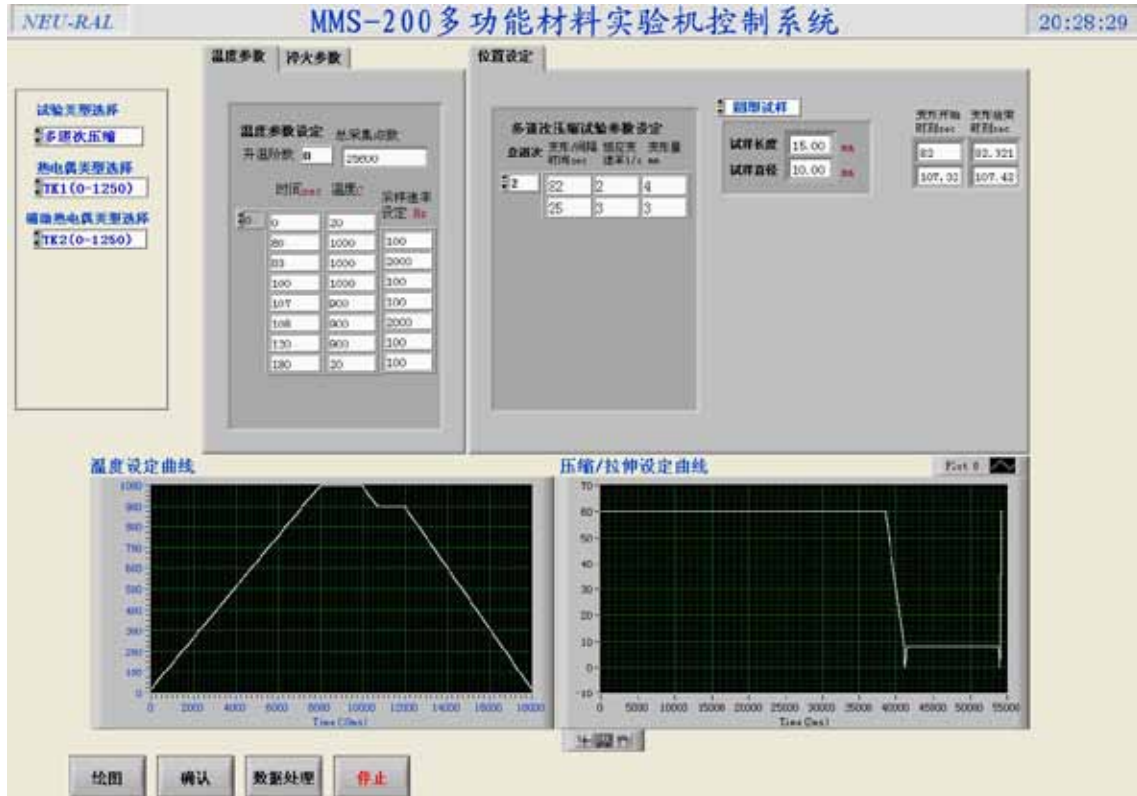


图 2.6 多道次压缩试验操作界面

与单道次压缩试验相比，除了变形参数的设定不一样外，其它都相同，不再介绍这些参数，只介绍变形参数的有关情况。

对变形参数的输入来说，首先应输入“总道次”参数，该参数是多道次压缩试验的变形道次数，如图 2.6 所示，输入数字“2”，代表这次试验要进行两道次变形；同时，要求输入前 2 道次的变形参数，而第 2 道次以后的变形参数就不起任何作用。最多能进行 10 道次变形，这对模拟连轧工艺来说，一般已经足够了。

在“总道次”的右边是各道次的变形参数，下面分别介绍。

变形/间隔时间：每一道次变形前的准备时间，单位为 ms。

“恒应变速率”、“变形量”是每一道次变形时的应变速率和变形量。单位分别为 1/s 和 mm。

“多道次压缩试验时，各道次变形时的温度一般不一样，后面道次的变形温度比前面道次的变形温度低。因此，在相应的温度区间进行相应道次的变形，是多道次压缩试验成功与否的关键。该问题的解决方案如下。

首先，根据试验要求在书面上确定试验方案，如变形道次数、温度制度和变形制度等参数；再将这些参数逐个输入到界面上。仔细检查各个参数，确保输

入无误后，用鼠标点动“绘图”按钮。这时，所输入温度制度和变形制度就会显示在界面上的两个坐标系中，形成温度制度的温度设定曲线和变形制度的变形设定曲线；同时，各道次的开始时刻和结束时刻也显示在界面的右侧位置，即各道次的“开始时刻”和“结束时刻”数列。“开始时刻”是指变形前开始加速的起点时刻。对于恒应变速率的压缩试验，当恒应变速率大于 1 时每道次锤头的加速距离为 5mm；当恒应变速率小于 1 时每道次锤头的加速距离为 1mm。“结束时刻”是指每道次变形结束时的时刻。因此，每道次的“结束时刻”减去“开始时刻”，就是每道次从加速开始到变形结束的时间；如第一道次从加速开始到变形结束的时间为 $82.321-82=0.321\text{s}$ 。对照各道次的变形时刻和温度的设定情况，要保证在相应的温度区间发生变形。如图 2.6 中，第一道次变形加速开始时刻为 82s，变形结束时刻为 82.321s。按照试验方案第一道次变形应该在 1000°C 的保温区间，而 1000°C 的保温开始时刻为 80s，保温结束的时刻为 100s；可推断第一道次变形发生在设定的温度区间，符合要求。其它道次的情况同理检查，可得第二道次的变形发生在 900°C 的温度区间。在温度制度设置时，将每道次的变形时间提取出来，增大采样率可使采集到的力和应力-应变的曲线更详尽、更真实。

也可以将变形设定曲线放大后，找到各道次的时间区间，再对照温度制度，然后进行判断是否正确，变形设定曲线放大后，就可以比较清楚地看到三道次的变形情况。经过检查，确定输入参数无误后，用鼠标点动“确定”按钮，将试验参数（温度参数、变形参数、试验类型参数等）下载到下位机，准备试验。

（三）热处理试验

从试验设计角度来说，热处理试验所能完成的试验功能为：在没有外力强制变形的情况下，实现各种热处理变化，如加热、冷却或淬火等，分析热处理过程中的温度、尺寸及组织性能的变化情况。界面的参数输入上只有热电偶选择上类型不同，参看前面单道次压缩试验（b）中所述。

下列试验经过不同的设计都可以通过热处理试验来实现。

- I 铸造试验；
- I 静态 CCT 试验；
- I 相变点测试试验；

- | 静态再结晶试验；
- | 各种淬火模拟试验。

热处理试验的设定参数输入界面如图 2.7 所示。该界面上的输入参数为与热处理相关的参数,在界面左侧的一项“热处理试样类型”共有六种试样(如图 2.8),用户可选择与试验试样相近的类型进行实验。其他参数的意义与单道次压缩试验中的参数相同,不再重复介绍。确定输入参数无误后,用鼠标点动“确定”按钮,将试验参数(温度参数、试验类型参数等)下载到下位机,准备试验。

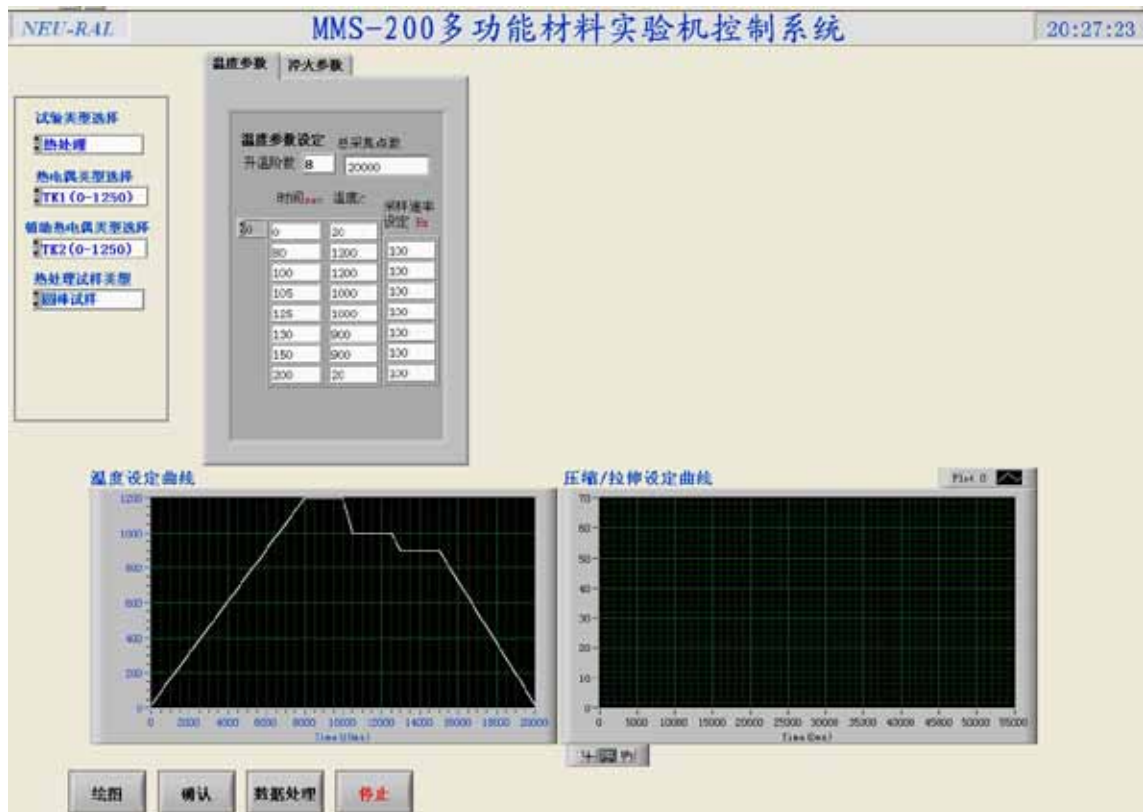


图 2.7 热处理试验操作界面

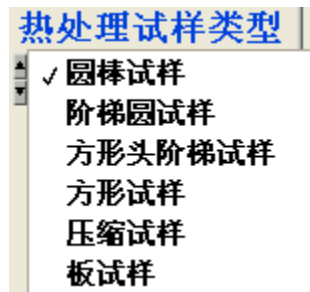


图 2.8 热处理试样类型示图

(四) 拉伸试验

从试验设计角度来说，拉伸试验所能完成的试验功能为：在热处理的同时，对试样进行一定的拉伸变形。界面的参数输入上只有热电偶类型选择上不同，参看单道次压缩试验（b）中所述。

下列试验经过不同的设计都可以通过拉伸试验来实现。

- l 热疲劳试验；
- l 零强温度（NST）的测定试验；
- l 零塑性温度（NDT）的测定试验。

拉伸试验的试验参数输入界面如图 2.9 所示。

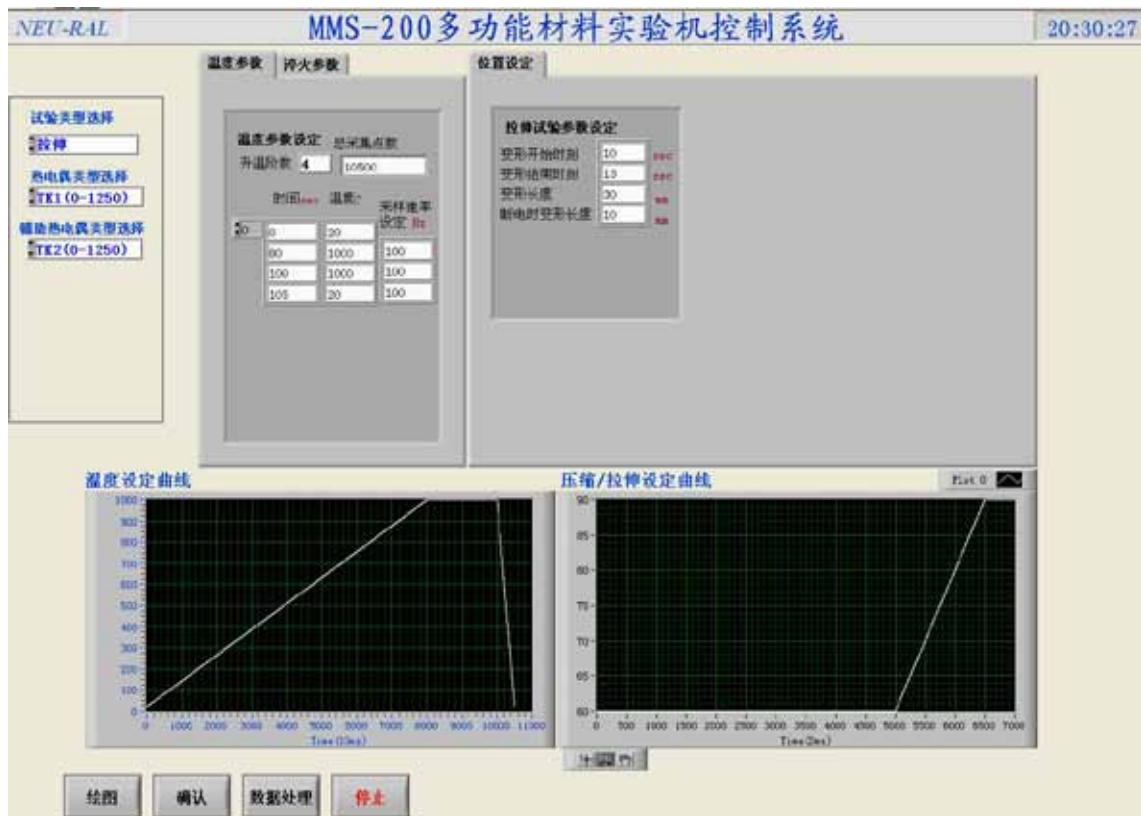


图 2.9 拉伸试验操作界面

只有变形参数部分与单道次压缩不同，其它参数说明都相同。

变形参数有：变形开始时刻、变形结束时刻、变形长度三个参数，下面对这些参数加以说明。

“变形开始时刻”是拉伸开始的时刻，单位为 s。在图 2.9 中，“变形开始时刻”为 10s，说明从 0 时刻到 10s 这段时间内，液压锤头保持不动，从 10s 开始拉伸。

“变形结束时刻”是拉伸结束时刻，单位为 s。在图 2.9 中，“变形结束时刻”

为 13s，说明液压锤头从 10s 开始拉伸，到 13s 拉伸动作结束。

“变形长度”是指在拉伸动作期间液压锤头所移动的距离，单位为 mm。在本例中“变形长度”为 30mm，从而可计算出拉伸速度为 $30\text{mm}/(13\text{s}-10\text{s})=10\text{ mm/s}$ 。

“断电时变形长度”是指切断电压时的试样的变形长度，这是为防止试样被拉断时断口被熔化以致破坏断口组织形貌而设定的。一般“断电时变形长度”小于“变形长度”。

输入参数确定无误后，用鼠标点动“确定”按钮，将试验参数（温度参数、变形参数、试验类型参数等）下载到下位机，准备试验。

（五）焊接试验

焊接软件包拥有 7 种不同的数学模型，可根据实测试样的要求来选择合适的数学模型，进而定量的反映与描述影响各热循环参数的主要因素及其相互关系，同时也是计算焊接应力、应变的基础，预测接头组织和性能的依据。先选择焊接热循环的道次数，再选择每个道次的焊接方法，依次填入每种方法所需的参数及每道次的最大运行时间和结束温度，按下绘图键便可绘制出所需曲线。本软件包最多支持 10 道次的焊接热模拟。根据试验时设定的最高温度来选择热电偶，参看前面单道次压缩试验（b）中所述。通过选择试验类型中的“焊接试验”，弹出焊接试验的界面如图 2.10 所示。

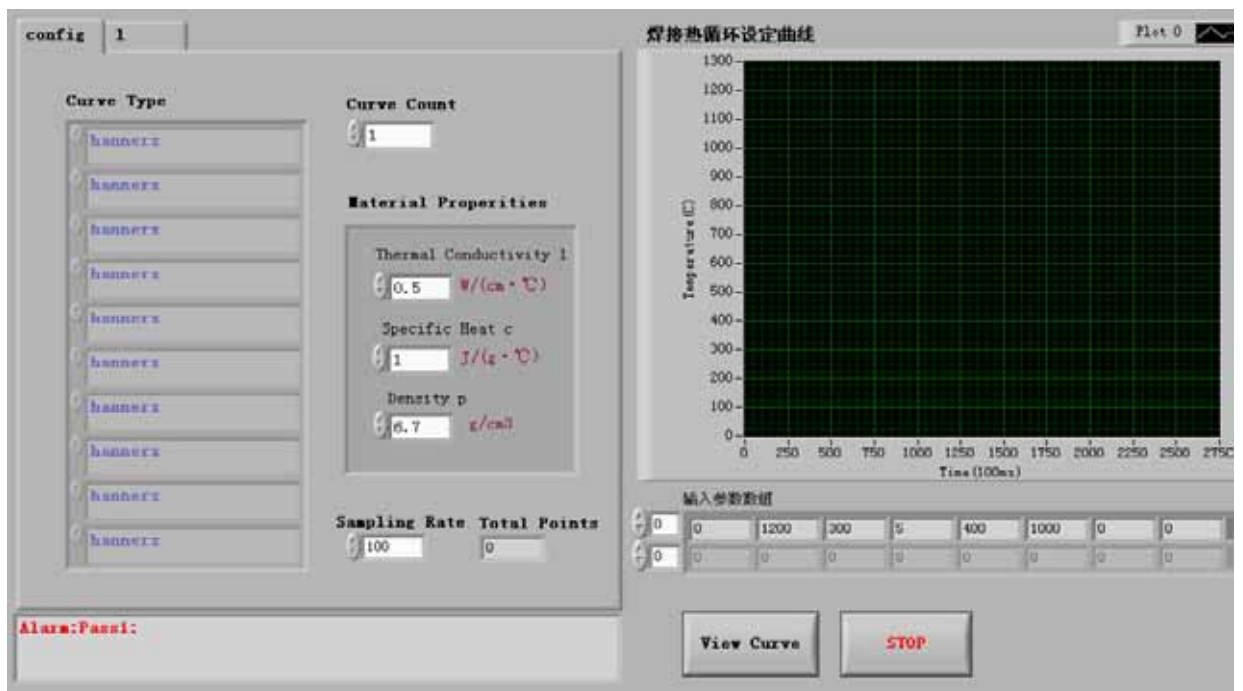


图 2.10 焊接软件包操作界面

(a) 界面中各参数详介

1. Curve Count (曲线的条数即焊接的道次数)

用户可根据需要自行设定,最多可达到十道次。当选择完道次数后,界面的左上方会自动生成相应道次数的分页,依次点击分页数字,在每个分页页面上填写该道次所需的各参数,即可实现多道次焊接。

2. Curve Type (绘制曲线的方法)

共有七种: Hannerz、Rykalin2-D (由 t_{85} 求 Q)、Rykalin2-D (由 Q 求 t_{85})、Rykalin3-D (由 t_{85} 求 Q)、Rykalin3-D (由 Q 求 t_{85})、Rosental、Exponential cooling equation,在绘图前应选定绘制每一道次焊接热循环曲线的方法。

3. Material Properties(材料特性)

分为: Thermal Conductivity (热传导率)、Specific Heat (比热容)、Density (密度)。根据实验的材料进行填写。

4. Sampleing Rate(采样率)

是指每秒采集的点数,此项依用户的需要而定。

5. Total Points(总采集点数)

指整个焊接过程采集的总点数。

6. 界面右侧有 View Cruve (绘图)、Stop 两键,在用户输入了所有需要数据后,按下相关按钮进行操作。

(b) 各种绘制方法的界面及操作介绍

1. Hannerz 方法

需输入的参数有: Maximum Temperature(峰值温度), Preheat Temperature(预热温度), Time800-500°C (800°C到500°C的冷却时间即 $t_{8/5}$), Cooling Temperature (冷却的结束温度), TimeMax (最大时间); 没有输出量。界面如图 2.11 所示。



图 2.11 hannerz 方法所需输入参数界面

2. Rykalin2-D (由 t_{85} 求 Q) 方法

需输入的参数有：Maximum Temperature(峰值温度)，Preheat Temperature(预热温度)，Time800-500°C (800°C到500°C的冷却时间即 $t_{8/5}$)，Toptime(峰值温度停留时间)，Heating rate(加热速率)，Plate Thick (板厚)，Cooling Temperature (冷却的结束温度)，TimeMax (最大时间)。输出量为： r (某点离电弧中心线距离)， Q (线能量)，Equivalent Thick (等效板厚)。界面如图 2.12 所示。

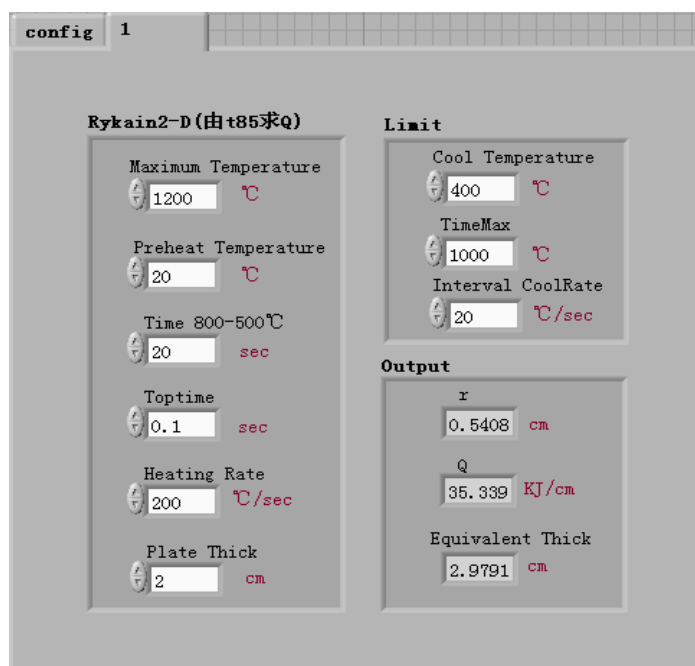


图 2.12 Rykalin2-D (由 t_{85} 求 Q) 方法所需输入参数界面

3. Rykalin2-D (由 Q 求 t85) 方法

需输入的参数与 Rykalin2-D (由 t85 求 Q) 方法中的参数基本一致, 只是将输入量中的 Time800-500°C (800°C到 500°C的冷却时间即 $t_{8/5}$) 换为 Q(线能量), 而输出量的 Q(线能量)换为 $t_{8/5}$ 。界面如图 2.13 所示。

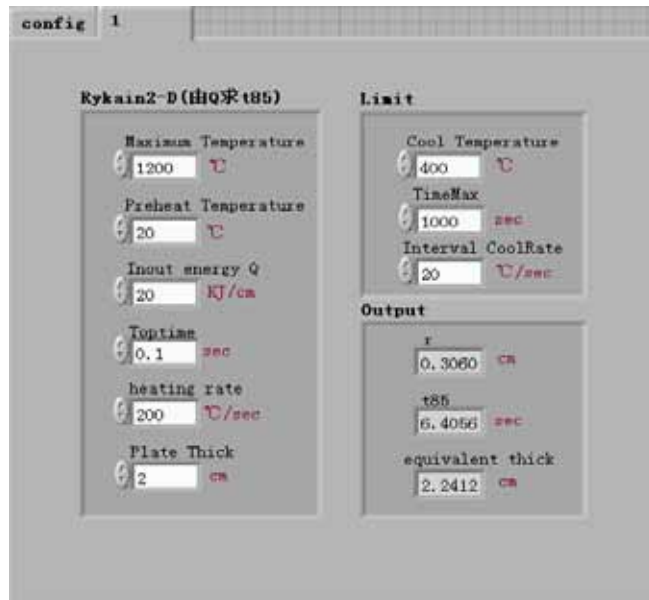


图 2.13 Rykalin2-D (由 Q 求 t85) 方法所需输入参数界面

4. Rykalin3-D (由 t85 求 Q) 方法

需输入的参数与 Rykalin2-D (由 t85 求 Q) 方法的参数基本一致, 只是输入量中没有 Plate Thick (板厚) 一项, 输出量中没有 Equivalent Thick (等效板厚) 一项。界面如图 2.14 所示。

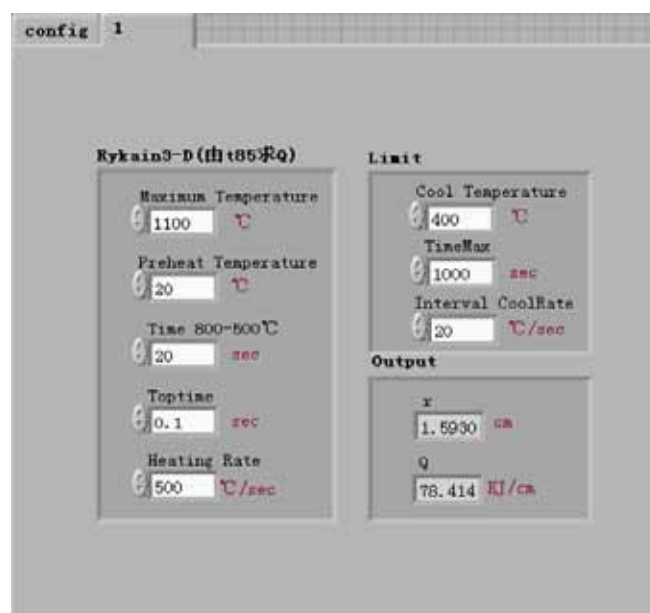


图 2.14 Rykalin3-D (由 t85 求 Q) 方法所需输入参数界面

5. Rykalin3-D (由 Q 求 t85) 方法

需输入的参数与 Rykalin2-D (由 Q 求 t85) 方法中的参数基本一致, 只是输入量中没有 Plate Thick(板厚)一项, 输出量中没有 Equivalent Thick(等效板厚)一项。界面如图 2.15 所示。

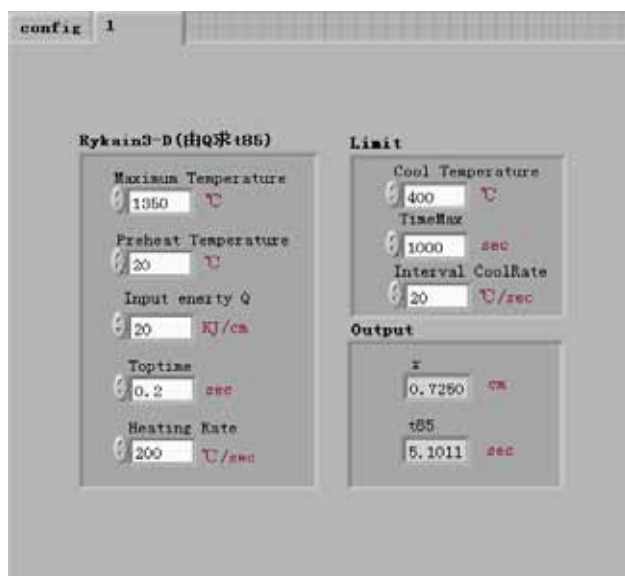


图 2.15 Rykalin3-D (由 Q 求 t85) 方法所需输入参数界面

6. Rosental 方法

需输入的参数为: Distance (某点离焊缝中心线的垂直距离), Preheat Temperature(预热温度), Input Energy Q(线能量), Weld Speed v(焊接速度), 电弧有效利用系数, Cooling Temperature (冷却的结束温度), TimeMax (最大时间)。输出量为 r(某点离电弧中心的距离)。界面如图 2.16 所示。

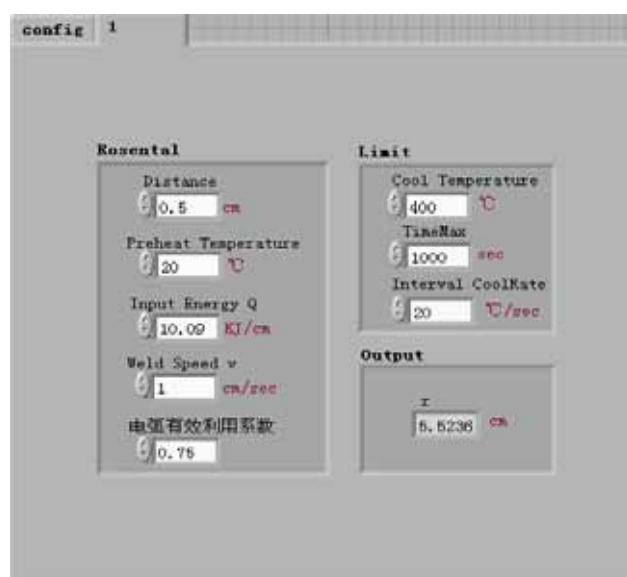


图 2.16 Rosental 方法所需输入参数界面

7. Exponential cooling equation 1 方法

需输入的参数为：Maximum Temperature(峰值温度)，Preheat Temperature(预热温度)，Time800-500°C (800°C到500°C的冷却时间即 $t_{8/5}$)，Toptime(峰值温度停留时间)，Heating rate(加热速率)，Cooling Temperature (冷却的结束温度)，TimeMax (最大时间)；没有输出量。界面如图 2.17 所示。

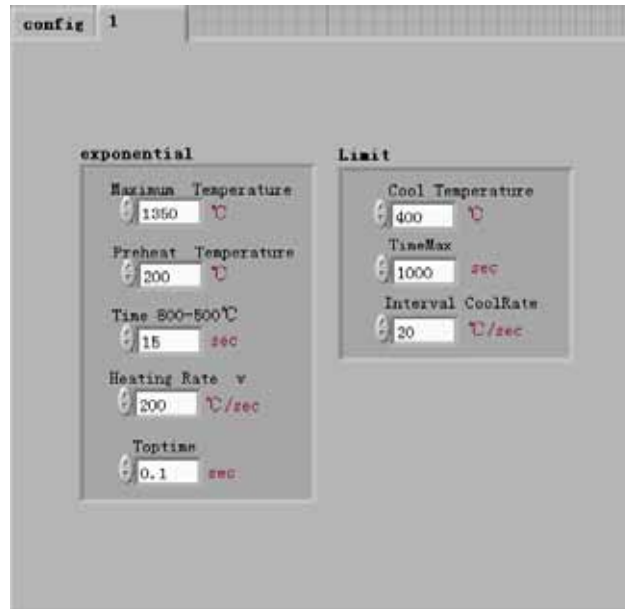


图 2.17 Exponential cooling equation 1 方法所需输入参数界面

对于多道次焊接试验，两个道次之间有 Interval CoolRate (道次间冷却速度) 的设置，用户可根据试验需要进行自主设置，这对于焊接初始温度的确定有重要意义。

(六) 锤头自由控制

该试验用于锤头的快速和慢速控制。试验界面如图 2.18 所示。在“位置设定”Tab 中“移动阶数”指“时间”和“锤头位置”的横格数。“时间”和“锤头位置”的对应关系即指在一定的时间内锤头移动相应的位移。值得注意的是锤头的最大移动速度为 2m/s。一旦设定数值超过这个值，界面下方会有报警提示。因该实验为非恒应变速率实验，所以不提供应力-应变曲线。

在“压力设定”Tab (如图 2.19) 中“压力阶数”是指“时间”和“压力”的横格数。“时间”和“压力”的对应关系是指在一一定的时间内压力改变相应的大小。这里的“时间”与“位置设定”Tab 中“时间”是同一参数，即在同一试验过程中实现位移控制与压力控制的切换。

“压力控制模式选择”前面的方框若被选中，表示压力设定的各项参数生效，即在锤头自由控制试验中，“位置设定”和“压力设定”同时生效；若此方框没有被选中，表示此次锤头自由控制试验只有“位置设定”生效。

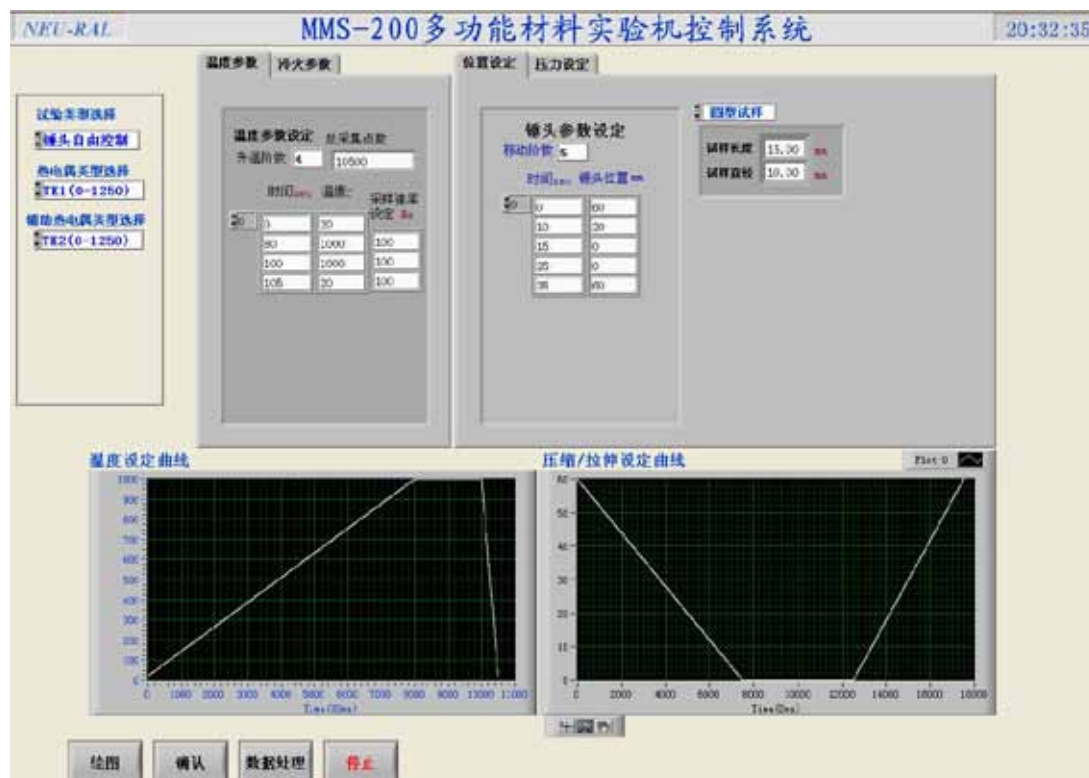


图 2.18 锤头自由控制试验界面



图 2.19 锤头自由控制试验的“压力设定”Tab

二、数据处理

界面下方有温度设定曲线、压缩/拉伸设定曲线的 Graph 显示图，相应试验的数据图会在其中显示。界面的最下方有绘图、确认、数据处理、停止四个按钮，

如图 2.20 所示，下面将对这四个键的功能做具体说明。



图 2.20 主界面的主要按键

1. 绘图

绘图键是将输入的相关数据绘制成曲线，便于用户通过曲线的走向、趋势更直观、快捷的察看数据的正误。

2. 确认

确认键是将所有输入数据由上位机传送到下位机。

3. 数据处理

“数据处理”键是将输入的数据进行归类、细化、分析，点击此键会自动弹出一个数据处理界面，如图 2.21 所示，以下将对此界面做进一步说明。

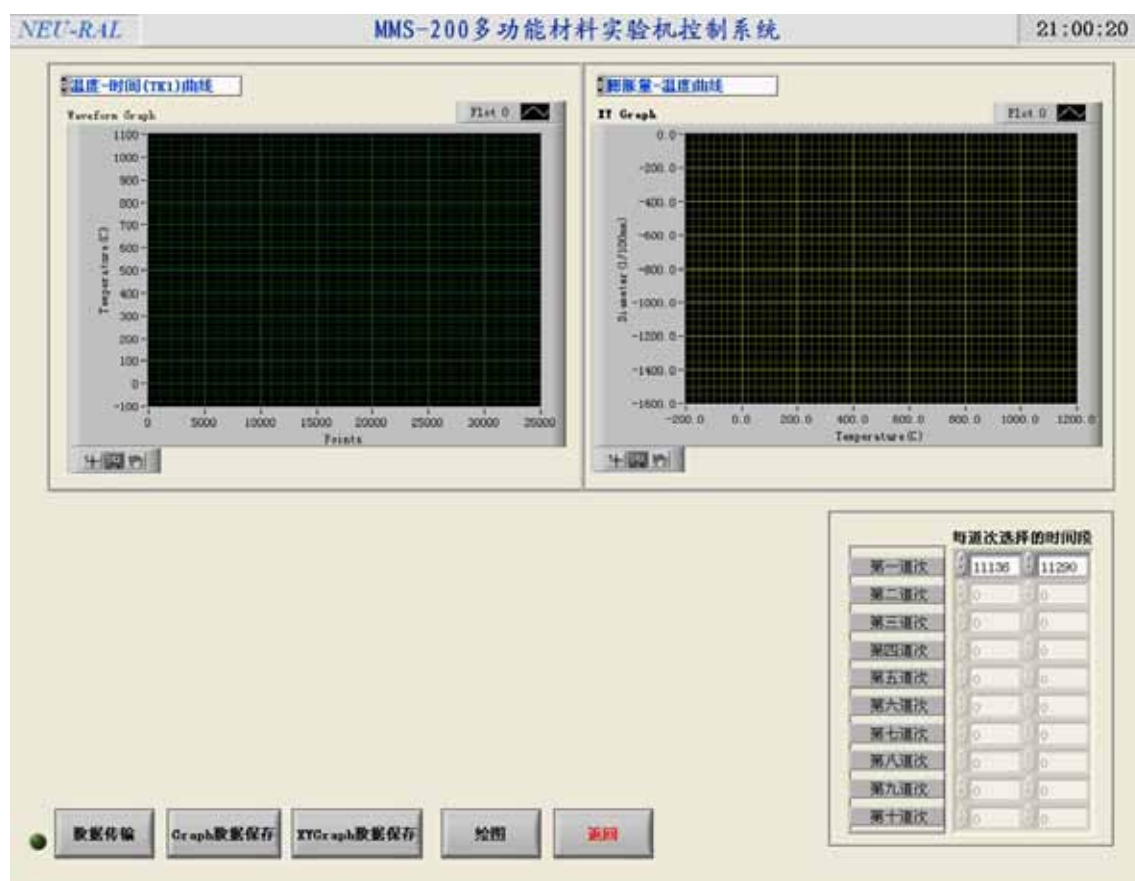


图 2.21 数据处理界面

(1) 显示控件

在界面上方有两个显示数据的控件分别是 Waveform Graph 和 XY Graph，如

图 2.21 所示。点击图 2.21 左侧控件上方的温度-时间曲线一栏，会列出温度-时间曲线、位移-时间曲线、力-时间曲线、直径-时间曲线、应力-时间曲线、应变-时间曲线六种曲线的类型选择，点击图 2.21 右侧控件上方的直径-温度曲线一栏，会列出直径-温度曲线、应力-应变曲线、拉力-变形量曲线三种选择类型，用户可根据需要选择所需的曲线类型，Waveform Graph 和 XY Graph 控件便会绘制出曲线。

(2) 时间段的确认

在做压缩试验时，为了显示的精确，需要根据力-时间曲线的时间段确定需要观察应力-应变曲线的时间段，依次在图 2.22 中的每一行输入每一道次具体要观察的时间段，即对于两个道次的压缩试验，第一行输入第一道次对应的时间段，第二行输入第二道次对应的时间段，其他依次类推。这样 Waveform Graph 和 XY Graph 显示控件就会将这一时间段的曲线绘制出来，便于观察。



图 2.22 时间段的选择控件

(3) 数据操作

在界面的下方有一排关于数据处理的按键，如图 2.23 所示。



图 2.23 数据处理按键

绿色按钮：实验结束后，需要将下位机采集到的数据传到上位机。在数据传输按

键被按下时,按钮会变成浅绿色,当数据传输完成后,会变回暗绿色。

数据传输:将下位机的数据传给上位机。

Graph 数据保存:将 Waveform Graph 控件显示曲线上的数据保存到用户选择的路径。

XYGraph 数据保存:将 XY Graph 控件显示曲线上的数据保存到用户选择的路径。

绘图:按下此键显示本次试验的曲线示意图。若还未进行下一项试验,按下此键绘制的是上一次试验的曲线。

返回:终止整个数据处理过程,回到主操作界面。

4. 停止

停止键是终止上位机的运行。

5. 每一次数据处理结束之后,建议操作者将 E:/LabVIEW Date/Results 文件夹中的 text.txt 文件复制到 E:/实验数据记录/压缩文件夹中对应操作这姓名的子文件夹中,对实验曲线的原始二进制数据进行备份,以备日后查询和修改。

第三部分 :MMS - 200 热力模拟实验机按钮操作说明

一、主控制柜操作按钮及开关说明

1. 一轴手动旋钮

在运行按钮未按下时，可启动油泵，旋转旋钮可手动调整 I 轴位置。在压缩试验时往往需要调整 I 轴离开挡板几毫米的位置，以便于进行压缩试验。

2. 二轴手动旋钮

在运行按钮未按下时，可启动油泵，然后旋转旋钮手动调整 II 轴位置。在拉伸试验时要求将 II 轴位置调整到死相，即位移量为零，防止拉伸过程中二轴随动。而在压缩试验时，往往通过调整二轴来推动一轴，而不单独移动一轴，防止在移动的过程中试样掉下来。

3. 淬火

淬火分为 1、2、3 三种方式，分别对应气淬、水淬、气雾淬三种模式。在试验中如果选择了哪种淬火方式，在设定的时间会启动相应的淬火方式，对应的淬火指示灯会亮，当淬火结束时，指示灯随即熄灭。也可手动控制淬火。

4. 真空泵

(1) 在实验需要抽真空的情况下，按下“真空泵”按钮，指示灯亮。观察真空表，当真空度达到要求时，再次按下该按钮，灯灭，停止抽真空。若试验对真空度要求很高，可保持“真空泵”按钮在灯亮状态，即始终打开真空泵。

(2) 当“保护气”、“进气”两个按钮中的任意一个处于灯亮时，“真空泵”按钮不起作用。

5. 运行

(1) 在上位机上输入试验参数，并将试验程序下装到实时 CPU 后，试验并未开始；只有按下“运行”按钮，灯亮，设备才按程序的规定开始运行。

(2) 处于运行状态时，按钮灯一直亮，再按下该按钮不起任何作用。

6. 油冷泵

当油温超过 45℃时，按下“油冷泵”按钮，指示灯亮，可降低油温；当油温降

到一定温度后，再次按下此键，灯灭，停止油冷泵。

7. 停止

- (1) 当“运行”按钮灯亮时，按下“停止”按钮，按钮灯亮，试验程序停止运行。
- (2) 当“停止”按钮灯亮时，除了以下按钮外：“加热”、“油泵”、“油高压”、“油低压”、“系统总开关”、“急停”和“回复”，其它按钮不起作用；同时程序不执行，只有再次按下该按钮灯灭后，才能开始下一次试验。

8. 加热

- (1) 按下“加热”按钮灯亮，变压器电源接通，接到加热信号（程序设定）后，变压器给设备供电，进行加热。
- (2) 按钮灯亮时，只有连续按下该按钮 2 秒钟后灯灭，变压器电源断开。
- (3) 若按下“加热”按钮灯不亮，原因为主控制柜后面的加热开关没有合上或加热总闸没有合上。

9. 保护气

- (1) 按下按钮，按钮灯处于灯亮时，开始充保护气；再次按下按钮，灯灭，结束充保护气。
- (2) 当“真空泵”、“进气”两个按钮有一个处于灯亮时，保护气按钮不起作用。

10. 进气

- (1) 按下“进气”按钮灯亮，进气阀打开，外界的空气进入操作箱。
- (2) 处于灯亮时，再按下按钮灯灭，真空电磁阀关闭，外界的空气停止进入操作箱。
- (3) 当“真空泵”、“保护气”两个按钮有一个处于灯亮时，“进气”按钮不起作用。

11. 油泵

- (1) 按下“油泵”按钮，灯亮，液压站油泵电机启动，液压系统处于低压状态，“油低压”按钮灯也亮。
- (2) 按钮灯亮时（即液压系统处于工作状态，或者是高压或者是低压），只有连续按下该按钮 2 秒钟后灯灭，液压站油泵电机才停止运行。
- (3) 按下“油泵”按钮，若该按钮灯不亮，原因为液压站控制柜内的电源开关没有合上。

12. 油低压

- (1) 当“油泵”按钮按下时，“油低压”自动启动，灯亮。
- (2) 灯亮时，再按该按钮，灯不灭，不起任何作用。只有按下“油泵”、“系统总开关”或“急停”按钮后，“油低压”键才起作用，再次按下此键，使该按钮灯灭，液压站停止工作。

13. 油高压

- (1) 按下“油高压”按钮灯亮，“油低压”按钮仍处于灯亮状态，液压站高低油压电磁阀不带电，液压系统处于高压状态。
- (2) 灯亮时，再按该按钮，灯不灭，不起任何作用。只有按下“油泵”、“系统总开关”或“急停按钮”时，才起作用，使该按钮灯灭，液压站停止工作。

14. 清零 1

当主液压缸锤头伺服阀零漂较大即试样的压缩量误差较大时，用于调整误差值。按下此按钮，指示灯亮，调整完毕后，指示等会自动熄灭。

15. 机械

用于抽真空时启动机械泵。按下按钮，指示灯亮，机械泵启动；再次按下，指示灯灭，机械泵停止。

16. 系统

- (1) 即“系统总开关”按下按钮灯亮，表示控制面板的总电源打开。
- (2) 只有“系统总开关”按钮处于灯亮的状态，其它的按钮才能起作用。
- (3) 处于灯亮状态时，只有连续按下按钮 2 秒钟，才能关闭控制面板的总电源，该按钮灯灭。

17. 急停

- (1) 按下“急停”按钮，整个设备所有执行元件停止动作，但总电源不关闭。
- (2) “急停”按钮被按下后，按钮不弹起，处于低位，再按下其它任何按钮都不起作用。只有用手拧动“急停”按钮，使之弹起，之后再按一下“回复”按钮，其它按钮才能起作用。

18. 复位

平时处于不亮状态，只有按下“复位”按钮时，才出现灯亮状态，松开后按钮灯灭。当“急停”按钮处于弹起状态时，按下“回复”按钮后，其它按钮才能起

作用，否则不能开展下一次试验。该按钮没有灯亮状态。

19. 温度手动

当试验的温度超过 1400°C时，在保温阶段可以通过“温度手动”旋钮，手动增加或减少设定温度和实际温度的值。

20. 循环水泵

每次试验前都要开启循环水泵，为设备提供冷却用水。按下“循环水泵”按钮，指示灯亮；再按一下，指示灯灭。

21. 主操作柜上还有“清零 2”按钮，尚未连接到设备上，所以暂不予介绍。

各按钮的位置示意图如图 3.1 所示



(a) PLC 柜上部分按钮示意图



(b) PLC 柜下部分按钮示意图

图 3.1 PLC 柜下部分按钮示意图

二、主体设备左侧面板界面说明

1. 加热合闸指示灯

当“加热”按钮按下时，指示灯亮。

2. 循环水泵指示灯

当“循环水泵”的开关按下时，指示灯亮。

3. 油压表

显示主液压缸系统控制锤头的油压。

4. 气压表

显示气压调节旋钮所调节的气压。所显示的气压为“压”状态和“自动压”状态的气压，不显示“拉”状态的气压。

5. 真空表

当抽真空时，用于显示操作箱内的真空度。

6. 气压调节旋钮

该旋钮用于手动调节“压”状态和“自动压”状态的气缸气压。气压由上面的气压表显示。

7. 空气锤选择开关

分三档：拉、压、自动压。处于拉、压两档时，只有按下气锤点动按钮，才能实现拉、压动作；处于自动压档位时，气缸一直处于压状态，不间断地给 I 轴施加向右的推力，用于夹持试样。当开关处于最左端时，为“拉”状态，按下气锤点动按钮后，给 I 轴施加向左的拉力；当开关处于中间状态时，为“压”状态，只有按下“气锤点动”按钮后，才给 I 轴施加向右的推力，否则 I 轴处于不受力状态；当开关处于最右端时，为“自动压”状态。

8. 气锤点动按钮

按下按钮，气缸带动 I 轴实现拉或压移动，移动距离与按下时间成比例。

9. 清扫阀

按下按钮，清扫阀打开，可以使用清扫枪；再按一下，清扫阀关闭，清扫枪的高压气来源被切断。

其他按钮和指示灯暂时不予使用，各按钮示意图如图 3.2 所示。



(a) 主体设备左侧面板左半部分示图



(b) 主体设备左侧面板右半部分示图

图 3.2 主体设备左侧面板示图

三、主体设备右侧面板界面说明

1. 气锤点动按钮

按下按钮，气缸带动Ⅱ轴实现拉或压移动，移动距离与按下时间成比例。

2. 空气锤选择开关

分三档：拉、压、自动压。处于拉、压两档时，只有按下气锤点动按钮，才能实现拉、压动作；处于自动压档位时，气缸一直处于压状态，不间断地给Ⅰ轴施加向右的推力。当开关处于最左端时，为“拉”状态，按下气锤点动按钮后，给Ⅱ轴施加向左的拉力；当开关处于中间状态时，为“压”状态，只有按下气锤点动按钮后，Ⅱ轴施加向右的推力，点动二轴向右走；当开关处于最右端时，为“自动压”状态，将二轴推回死相。

3. 气压调节旋钮

该旋钮用于手动调节“压”状态和“自动压”状态的气缸气压。气压由二轴气压表显示。

4. 气压表

显示二轴气压调节旋钮所调节的气压。所显示的气压为“压”状态和“自动压”状态的气压，不显示“拉”状态的气压。

5. 气压调节旋钮

该旋钮用于手动调节气雾的气压。

6. 气雾气压表

用于显示气雾淬火方式的气压值气雾。

7. 水增压指示灯

水淬和气雾淬火时指示灯亮。

8. 水压调节旋钮

通过调节此旋钮，改变淬火时的水压。

9. 水增压指示表

显示水压的大小。

10. 油压表

显示液压马达的油压。

各按钮开关示意图如图 3.3 所示。



(a) 主体设备右侧面板左半部分示图



(b) 主体设备右侧面板右半部分示图

图 3.3 主体设备右侧面板界面

附录一：MMS-200 的试验原理及试验方法

针对轧制技术及连轧自动化国家重点实验室（东北大学）研制的 MMS-200 热力模拟试验机，简单介绍了多种试验的试验原理并总结了该实验机的试验方法。

其试验方法包括：

1. 压缩试验

压缩试验包括单向压缩试验和平面应变压缩试验。按压缩的道次进行分类又可分为单道次压缩试验和多道次压缩试验。其中，单道次压缩试验又包括恒应变速率单道次压缩试验和非恒应变速率单道次压缩试验。

2. 热处理试验

热处理试验包括低温热处理和高温热处理两种。

3. CCT 试验

CCT 试验包括静态 CCT 和动态 CCT 两种。

4. 应力松弛试验（PTT）

5. 拉伸试验

拉伸试验包括低温拉伸和高温拉伸两种。

6. 焊接热循环试验

7. 焊接热影响区连续冷却转变试验（SH-CCT 试验）

8. 零强温度（NST）和零塑性温度（NDT）的测定试验

9. SICO 试验

10. 铸造试验

1.1 压缩试验

变形抗力是指在所设定的变形条件下，所研究的变形物体或其单元体能够实现塑性变形的应力强度。变形抗力是表征金属与合金塑性加工的一个最基本量。金属在塑性加工时的变形抗力大小，不但是衡量材料可锻性优劣的重要标志，也是设备选择的依据以及模具与有关装置设计的基本前提。同时，变形抗力的变化也在一定程度上反映了材料微观组织的变化。因此，对于材料在压力加工时变形抗力的研究，具有重要的学术意义和工程价值。

影响变形抗力的因素，除了材料本身的冶金因素外，还取决于变形温度、变形量及变形速度等。

目前，金属变形抗力的实验方法有拉伸法、圆柱体单向压缩法、平面应变压缩法、轧制法等等。其中前三种方法比较常用，而在热力模拟试验机上进行轧制变形抗力的测定，主要用压缩法（圆柱体单向压缩法）和平面应变压缩法。

压缩试验分为单道次压缩试验和多道次压缩试验两种。单道次压缩试验又分为恒应变速率单道次压缩试验和非恒应变单道次压缩试验。

1.1.1 单向压缩试验

试验采用压缩试样、压缩卡具。为了保证整个试件温度均匀一致，采用不锈钢耐热合金楔形底座及碳化钨圆柱形压头。不锈钢的导热系数只有铜的 1/9，而碳化钨不但有高的热强性和高温硬度，而且导热性也很低，从而有效的防止热量的散失。在试验过程中选择镍铬-镍铝热电偶。试样装配如图 1.1 所示。

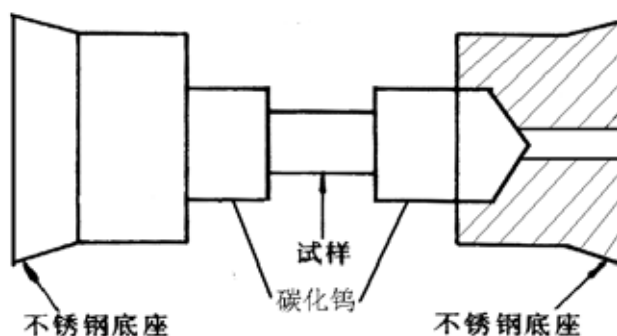


图 1.1 试样装配图

(a) 单道次压缩试验

单道次压缩试验分为恒应变速率单道次压缩试验和非恒应变速率单道次压缩试验两种。选择单道次压缩试验界面进行参数输入，热电偶类型选择 TK1。如图 1.2。

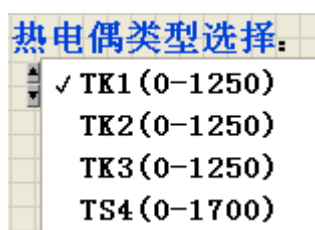


图 1.2 试验类型及热电偶类型选择图示

1. 恒应变速率单道次压缩试验

试验前首先选择试样类型（圆形），输入试样长度、直径。实验者根据实验方案，输入时间、温度参数及升温阶数。然后选择应变模式（有真应变/恒、工程应变/恒和非恒应变三种）为真应变/恒或工程应变/恒，输入变形量、变形时刻及恒应变速率（非恒应变时间不需输入）。停留时间及返回时间默认为 0.004s 和 1s。然后根据变形结束时间来适当调整时间、温度参数，应确保变形在保温的温度范围内进行。对于需要淬火的试样，实验者需要选择淬火参数，选中淬火选择框，选择淬火模式，如图 1.4 所示，其中淬火 1 为气淬，淬火 2 为水淬，淬火 3 为气雾淬。接下来输入淬火开始、结束时间，进行试验。界面输入情况如图 1.3 所示。



图 1.3 单道次压缩试验界面

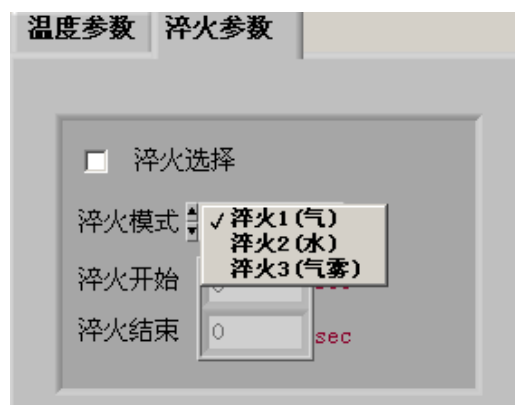


图 1.4 淬火类型选择框

2. 非恒应变速率单道次压缩试验

相对于恒应变速率的单道次压缩试验，非恒应变的单道次压缩试验只是在应变模式（选择非恒应变）和非恒应变时间上有所不同，实验者需要计算非恒应变

时间，然后输入。

(b) 多道次压缩试验

选择多道次压缩界面进行参数输入，热电偶类型选择 TK1。与单道次压缩类似，实验者应先输入试样的类型（圆形）、长度和直径，然后根据实验方案输入时间、温度参数及升温阶数。接着输入总道次数、各个道次的变形开始时间（第一道次）/道次间隔时间（第一道次以后）及各个道次的恒应变速率和变形量。实验者最后还应根据每一道次的变形结束时刻来调整时间、温度参数，确保变形在保温的温度范围内进行。若实验需要，可在变形结束后进行淬火。图 1.5 是多道次压缩的试验界面的输入情况。

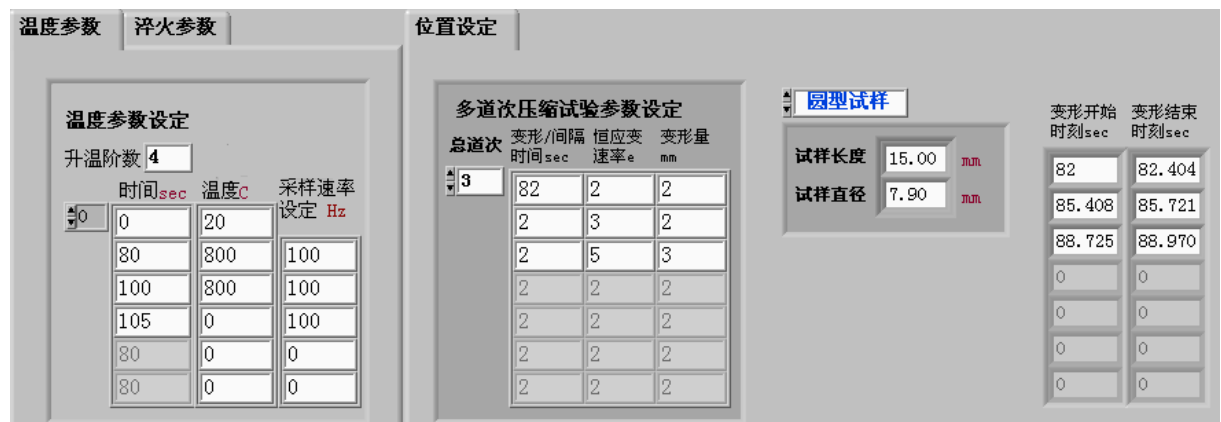


图 1.5 多道次压缩试验界面

1.1.2 平面应变压缩试验

试样装配如图 1.6 所示。

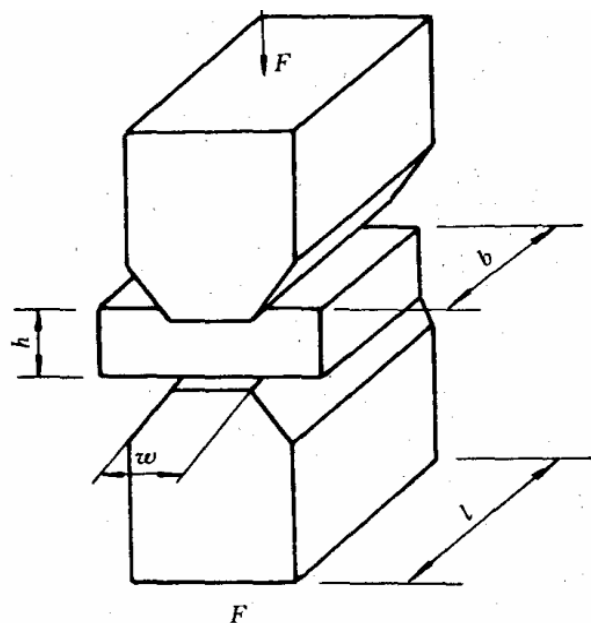


图 1.6 平面应变压缩压头及试样尺寸

对于平面应变压缩试验，试样宽度 b 与压头宽度 w 之比在 6~10 以上，以保证宽度方向的变形忽略不计，由于压头两端试样的弹性约束阻碍试样向宽度方向延伸，使试样变形控制在二维之内。为保证压头之间变形均匀，压头宽度 w 与试样厚度 h 之比应在 2~4 之间。应变速率可以随试样厚度的变薄而升高，从而更宜于进行薄带材的热轧模拟研究。

试验采用平面应变压缩试样，平面压缩卡具。选择镍铬-镍铝热电偶，实验者根据需要可选择单道次压缩或多道次压缩界面。热电偶类型选择 TK3。试样类型选择方形试样。其它具体参数输入情况参照单向压缩试验。

1.2 热处理试验

热处理是优化材料性能的一种方法。通过热处理，可以使材料获得优越的微观组织和优良的使用性能。热处理试验可以反映热处理工艺对材料组织变化的影响，为获得优越的微观组织和优良的使用性能提供基础理论和技术依据，并实现材料性能的定量分析和预报。

推荐采用阶梯圆试样或拉伸试样(小的圆柱形试样在高温时易受到气缸的压力而产生微小形变)，卡具为拉伸卡具。将热电偶安装在试件上，两个焊点必须位于试样长度方向垂直的同一直线上。低温热处理(温度低于 1250°C)，采用镍铬-镍铝热电偶，推荐采用热处理试验类型(在不启动油泵的情况下，拉伸、单道次压缩试验类型均可完成该试验)，热电偶类型选择 TK3。对于高温热处理(温度高于 1250°C)，采用铂铑-铂热电偶，推荐采用热处理试验类型(在不启动油泵的情况下，拉伸试验类型均可完成试验)，热电偶类型选择 TK4。

实验者根据实验方案，输入时间、温度参数及升温阶段。参数输入情况如图 1.7 所示。对于需要淬火的试样，实验者可自行设置淬火类型及淬火时间。进行试验。



图 1.7 热处理试验界面

1.3 CCT 试验

根据金属相变热力学和动力学理论，钢从高温奥氏体状态连续冷却下来时，得到的相变产物与过冷奥氏体的等温转变产物大不相同，而且冷却速度变化越大，其转变过程的经历和室温下得到的组织及其相对含量（各相的体积百分比）也大不一样。因此，为了研究钢材在不同冷却速度下奥氏体将发生哪些组织转变，它们的相对量是多少，转变的温度范围以及室温下转变产物，通常都要建立该钢种的奥氏体连续冷却转变图，即 CTT（Continuous Cooling Transformation）图。

通过物理模拟 CCT 试验可以描绘出材料的 CCT 曲线。CCT 试验包括静态 CCT 和动态 CCT 试验两种。

“静态”CCT 图，是指在奥氏体状态或奥氏体相变的过程中，材料在不同的冷速下进行转变时测得的 CCT 图。

在压力加工时，由于材料在高温下发生大的塑性变形，而形变可以诱导相变，所以此时所测得的连续冷却转变产物及其相组成百分比，以及转变温度范围等，不仅与冷却速度有关，还与变形量有关，因此，在一定的形变量下测得的 CCT 图称之为“动态”CCT 图。

“动态”CCT 图，是先在奥氏体状态或奥氏体相变过程中变形，材料获得大的相变驱动力以后，再在不同的冷速下进行转变。也就是说，冷却转变时大的变形过程已经停止，其“动态”的含义是相对于事先未发生形变的“静态”而言。这是因为，静态 CCT 转变与静态再结晶，其驱动力主要靠温度；而动态 CCT 转变与动

态再结晶一样，其驱动力主要来源于形变诱发、形变与温度的共同作用，使原子与空位高度激活，形核数量大大增加，这就是所谓“动态”与“静态”物理概念的本质差别与区分标志。

这种动态 CCT 图可以系统地显示出热变形参数及在线冷速对相变开始温度、相变进行速度和相变组织的影响情况，是优化钢种成分以及选择适合的热变形工艺的重要依据。

1.3.1 静态 CCT 试验

静态 CCT 推荐采用阶梯圆试样或拉伸试样（小的圆柱形试样在高温时易受到气缸的压力而产生微小形变），拉伸卡具。采用镍铬-镍铝热电偶。静态 CCT 试验推荐采用热处理试验类型来进行试验（在不启动油泵的情况下，拉伸、单道次压缩试验类型均可完成试验）。热电偶类型选择 TK1。试验取一组多个试样。试验前，先输入试样类型（圆形）、试样长度、直径。实验者根据实验方案，输入时间、温度参数。一般在一定温度保温一段时间，使试样奥氏体均匀，然后以一定的冷速降到某一温度。同时，利用高灵敏径向传感器（C-Strain 传感器）测量试样直径的变化。具体的参数输入情况请参照热处理试验。

绘制整个试验过程试样的直径变化量-温度曲线；用切线法找到相变开始点、中间和结束点，记下这些点的温度-时间坐标。

依次按照不同冷速对各个试样进行试验，直到一组试样做完。

最后根据此组试验结果的相变点温度-时间坐标绘制 CCT 图，即为静态 CCT 图。如图 1.8 所示。

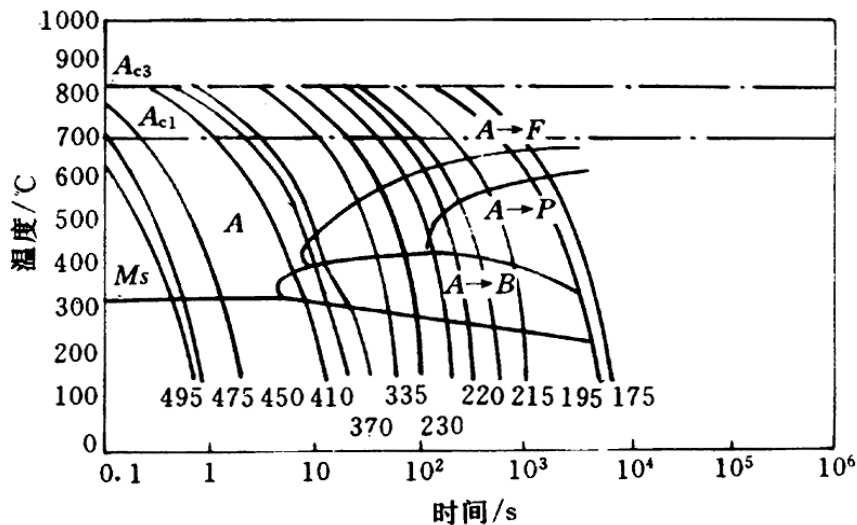


图 1.8 静态 CCT 图

1.3.2 动态 CCT 试验

动态 CCT 采用压缩试样，压缩卡具。选择镍铬-镍铝热电偶。动态 CCT 试验采用单道次压缩或多道次压缩试验界面完成试验。热电偶类型选择 TK3。试验取一组多个试样。试验前，先输入试样类型（圆形）、尺寸、变形前加热制度、变形过程所需参数。随后按照所输入的参数进行变形前加热（一般在一定温度保温一段时间，使试样奥氏体均匀，然后降到某一温度）。加热完毕后，按照之前所选择的变形类型进行变形。变形完成后，以一定的冷速进行冷却，同时，利用高灵敏径向传感器（C-Strain 传感器）测量试样直径的变化。具体参数输入情况请参照单向压缩试验。

绘制整个试验过程的试样直径变化量-温度曲线；用切线法找到相变开始点、中间和结束点，记下这些点的温度-时间坐标。

依次按照不同冷速对各个试样进行试验，直到一组试样做完。最后根据此组试验结果的相变点温度-时间坐标绘制 CCT 图，图 1.9 为动态 CCT 图。

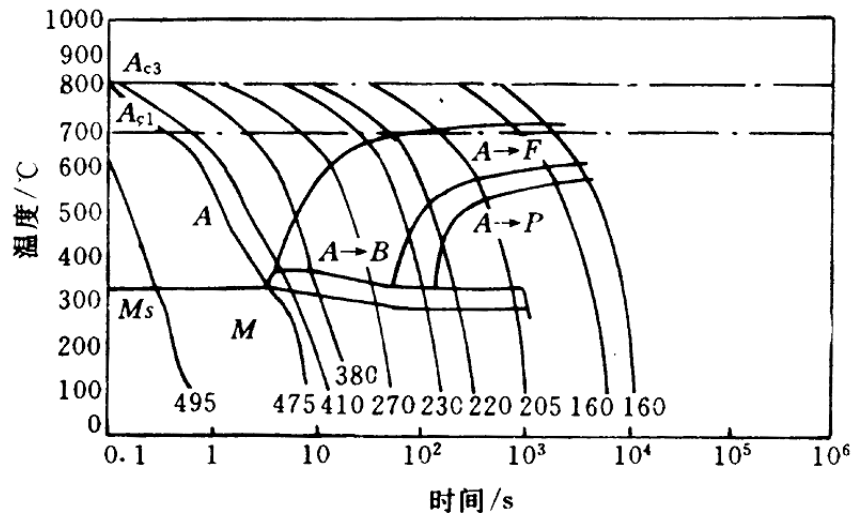


图 1.9 动态 CCT 图

1.4 应力松弛试验 (PTT)

试样在高温被压缩后，在保持压头位置不变，即应变量恒定的情况下，会产生随保温时间的延长而发生应力逐渐减小的所谓“应力松弛”现象。应力松弛过程，在微观上实质是弹性变形转变为塑性变形的过程。这种应力的降低也可称作“软化”，同样也是由于静态恢复和静态再结晶所引起的在时间坐标（横坐标）以对数形式表示时，应力松弛曲线有如下特征：在恢复阶段应力值以一个恒定的斜

率缓慢下降，然后当发生再结晶时，应力值又快速陡降。由于多道次热轧和热锻中静态再结晶是细化奥氏体晶粒的主要机制，因此可通过等温双道次模拟试验及应力松弛方法研究软化百分数和静态再结晶百分数，从而研究道次间发生的静态再结晶行为。

下面是 NbTi 微合金高强刚应力松弛试验流程示意图。

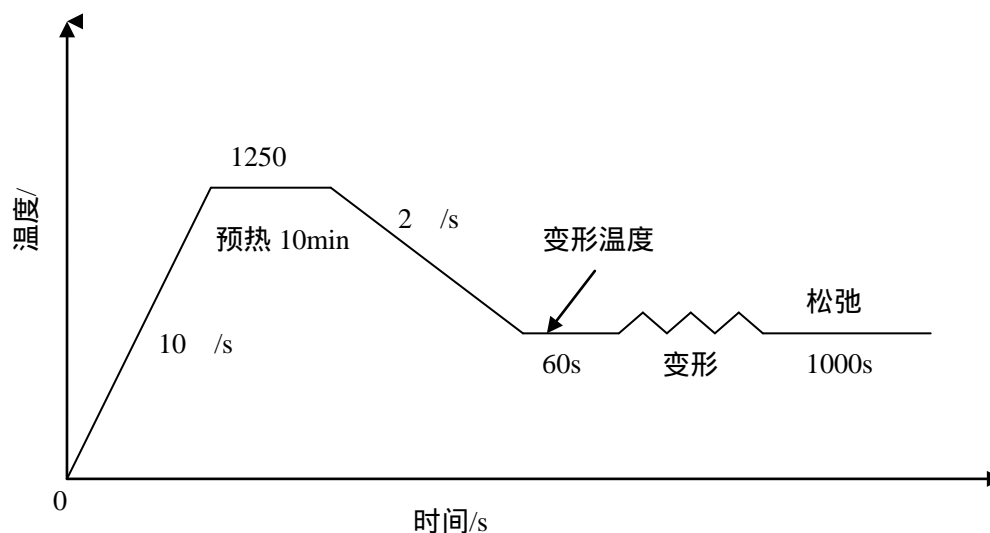


图 1.10 NbTi 微合金高强刚应力松弛试验流程示意图

试验采用压缩试样，压缩卡具，镍铬-镍铝热电偶。选择单道次压缩。热电偶类型选择 TK3。试验前首先选择试样类型（圆形），输入试样长度、直径。实验者根据实验方案，输入时间、温度参数及升温阶数。然后选择应变模式（有真应变/恒、工程应变/恒和非恒应变三种）为真应变/恒或工程应变/恒，输入变形量、变形时刻及恒应变速率和松弛时间（即停留时间）。非恒变形时间不需输入。返回时间默认为 1s。然后根据变形结束时间来适当调整时间、温度参数，应确保变形在保温的温度范围内进行。界面输入情况如图 1.11 所示。压缩完毕后，将左侧气缸打到中间档，不再施加夹持力。

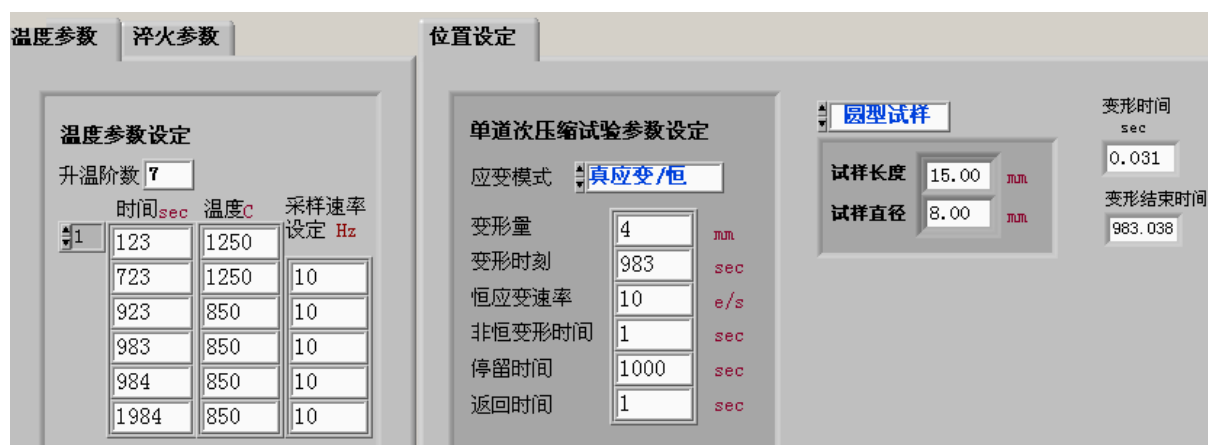


图 1.11 应力松弛界面的参数输入

在不同的变形温度下， P_s （开始析出时间）和 P_f （析出结束时间）会有所变化。分析试验得到的应力-应变曲线及力-时间曲线，找出 P_s 、 P_f 的温度和时间值，在同一坐标系里把 P_s 、 P_f 拟合（温度-时间坐标），即为合金在该变形条件下的 PTT 图。如图 1.12。

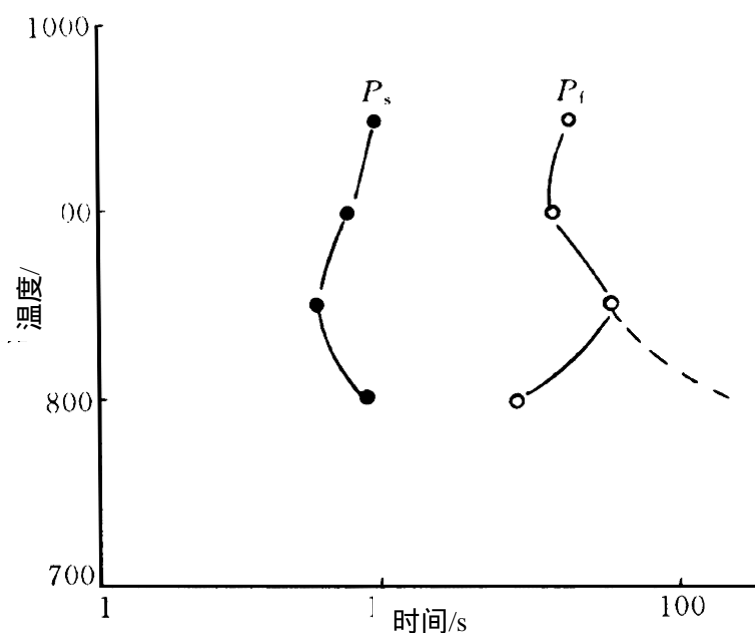


图 1.12 PTT（析出-温度-时间）曲线

1.5 拉伸试验

拉伸试验是研究金属变形抗力的试验方法之一。试验时，在拉伸变形体积内的应力状态为单向拉伸，并均匀分布。

由于在选择拉伸试样时，很难保证其内部组织均匀，其内部各晶粒，甚至一

个晶粒内部的各支点的变形和应力也不可能完全均匀。但从拉伸变形的总体来看,是能够保证得到比较均匀的拉伸变形的,其不均匀变形程度要比压缩试验小得多。用拉伸法不足之处在于其所得到的均匀变形程度一般不超过 20% ~ 30%。

试样采用阶梯圆试样或拉伸试样,拉伸卡具。根据峰值温度的不同选择合适的热电偶。峰值温度低于 1250°C时,使用镍铬-镍铝热电偶,热电偶类型选择 TK3;峰值温度高于 1250°C时,使用铂铑-铂热电偶,热电偶类型选择 TK4。在安装试样前,将右侧气缸挡位于左端,点动按钮,使 II 轴左移到最左端;用 I 轴气缸调整 I 轴位置,以便于安装试样;安装好试样后,启动油泵(油低压),用手动旋钮移动液压锤头,使之即将与 I 轴接触为止;然后安装好联轴器,使液压锤头与 I 轴连接成一体。如果应用的是无间隙的联轴器,安装好后,液压锤头与 I 轴之间就会紧密接触而无间隙;如果应用的是有间隙的联轴器,安装好后,应手动调节液压缸位移使试样处于微拉状态。然后输入参数。采用拉伸试验界面。选择试样类型,输入试样长度、直径。根据加热制度输入时间、温度参数。在界面右侧输入拉伸的参数,拉伸应在保温段内进行。其中变形长度指的是拉伸的距离。输入完毕后,进行试验。若试样被拉断,系统以断偶处理,采集到断偶时(即试样被拉断时)的温度。如果要保持拉断后断面的形貌,需要在拉断前的瞬间进行断电处理,根据预试验得到拉断时的变形长度,以略小于该值为断电时刻点,输入到界面中。界面参数输入如图 1.13。

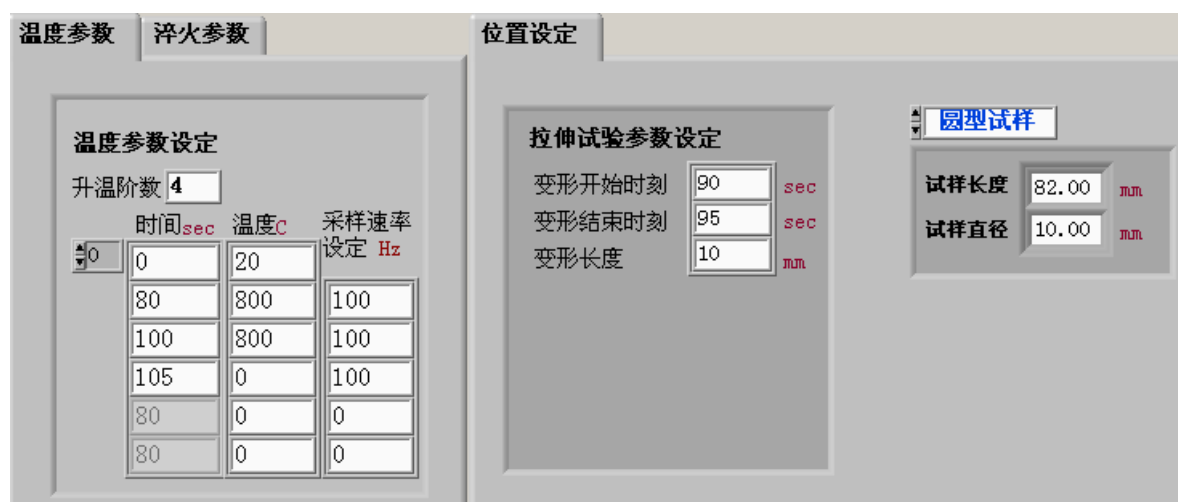


图 1.13 拉伸界面

1.6 焊接热循环试验

焊接结构发生提前破坏,经事故分析证明:焊接热影响区的缺陷(裂纹)及

脆化是造成事故的主要原因。因此，在金属材料焊接性能的研究中，焊接热影响区性能的研究占有特殊的地位。

焊接热影响区是母材在焊接的过程中，经受了特有的加热及冷却过程后，明显地发生组织和性能变化的区域。该区常用 HAZ (Heat-Affected Zone) 表示。焊接热影响区的宽度很窄，一般只有几毫米，并在这几毫米的范围内包括有几个组织和性能不同的特定温度区。若想在实际的焊接接头中，对这些特定温度区的金属分别进行力学性能试验或可靠地测定焊接特性（例如，抗裂特性等）是困难的。为了使焊接热影响区各特定部位的尺寸大到足可以进行正常的性能试验，只有采用焊接热模拟的方法才能达到。

焊接是通过焊件连接处的局部熔化或相互扩散，将简单零件拼接成大的复杂零件或构件的一种加工手段。焊接过程中，处于热源中心区的焊件部位将熔化而成为焊缝，而离电弧较远的部位仍处于固态，但都受到焊接热的作用。焊接接头由焊缝（焊条与母材熔化混合后经化学冶金反应而结晶凝固成的结合体）及热影响区（固相母材中受电弧加热而引起组织或性能发生变化的区域）所组成，焊缝与热影响区的交界线称之为熔合线。无论是熔化或固态焊接，通常接头中的母材将被加热到高温，而且，升温速度高，冷却速度快，形成一种与普通热处理大不相同的特殊的热循环。

在实际焊接过程中，焊接接头除了受热循环外，还同时经历应力、应变循环。这是由于焊接过程中被焊接头中各部位经受不均匀的加热和冷却，使焊件中产生不均匀的膨胀、收缩而引起局部弹、塑性应变，从而在接头中形成了内应力、应变场，并往往导致焊接后的残余应力和变形。

焊接热循环是指焊件上某一点，在焊接热源作用下经受的热过程，也就是该点的温度随时间的变化过程。焊接热循环曲线见图 1.14。焊接热循环的主要参数是：加热速度 ω_H 、峰值温度 T_{max} 、高温停留时间 t_H 及冷却速度 ω_c 。若要制定出一条焊接热模拟曲线，必须绘出三个基本参数：不同温度的加热速度 ω_H 、峰值温度 T_{max} 及某一温度区间的冷却时间 t_c 。一般情况下，具有这三个参数已可制定出一条模拟焊接热循环的热模拟曲线，只是因为当极热速度 ω_H 及冷却速度 ω_c 确定后，高温停留时间 t_H 也确定了。

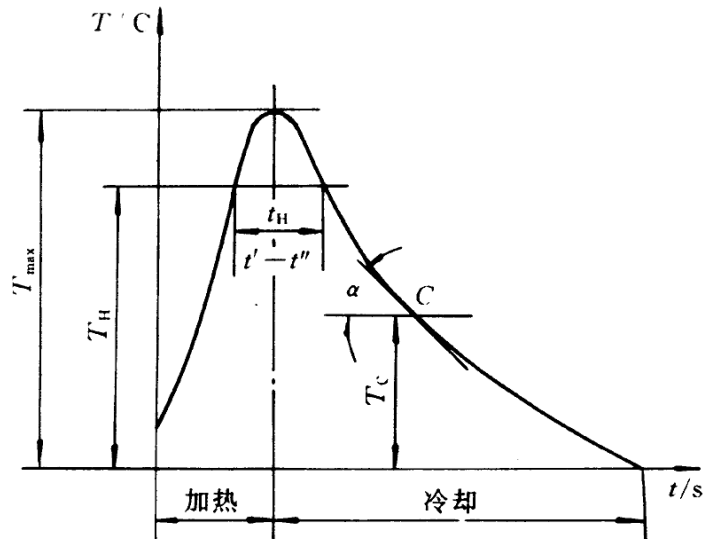


图 1.14 焊接热循环曲线及主要参数

为了模拟焊接热循环曲线，MMS-200 热力模拟试验机采用了五种数学模型（Hannerz 模型、Rykalin2D 模型、Rykalin3D 模型、Rosental 模型和 Exponential Cooling Equation 模型），七个参数输入界面，形成了功能强大的焊接软件包，可以模拟多达十道次的焊接过程。实验者可根据模拟条件自主选择数学模型进行试验。

在 Curve Count 栏输入焊接的道次，Curve Type 里选择不同的数学模型。试验材料的几个特征参数是试验前实验者要输入的，这包括材料的热导率、热容和密度。每个参数输入界面都有两个限制条件，用来控制试验进行的时间，它们是试验最大的运行时间和冷却段的冷却温度。二者有一个参数达到设定的数值，试验停止。

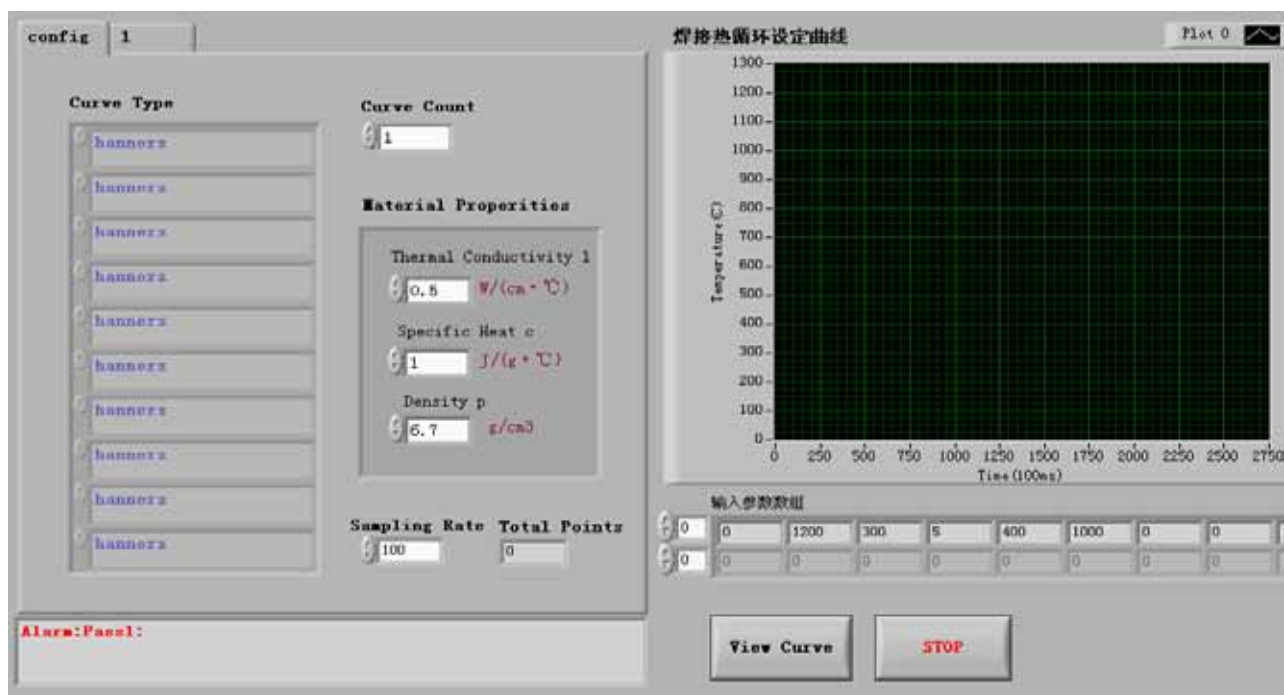


图 1.15 焊接热循环主界面

1. Hannerz 模型

需要输入量为峰值温度 T_{max} 、预热温度 T_0 和 800°C 到 500°C 的冷却时间 $t_{8/5}$ 。

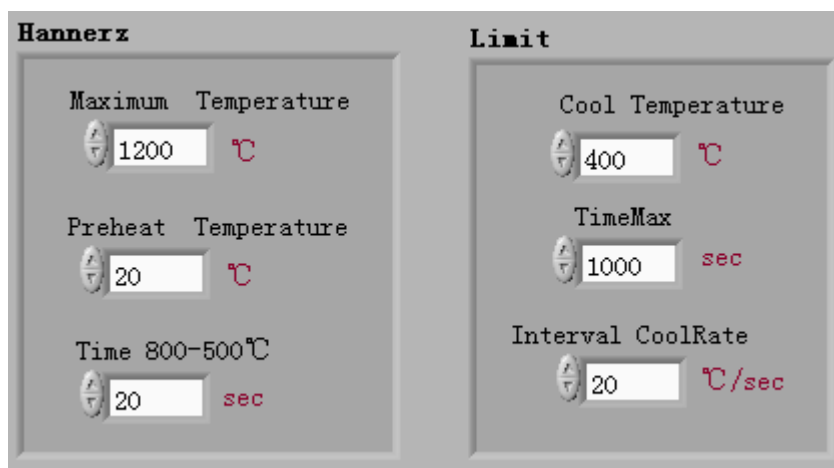


图 1.16 Hannerz 界面

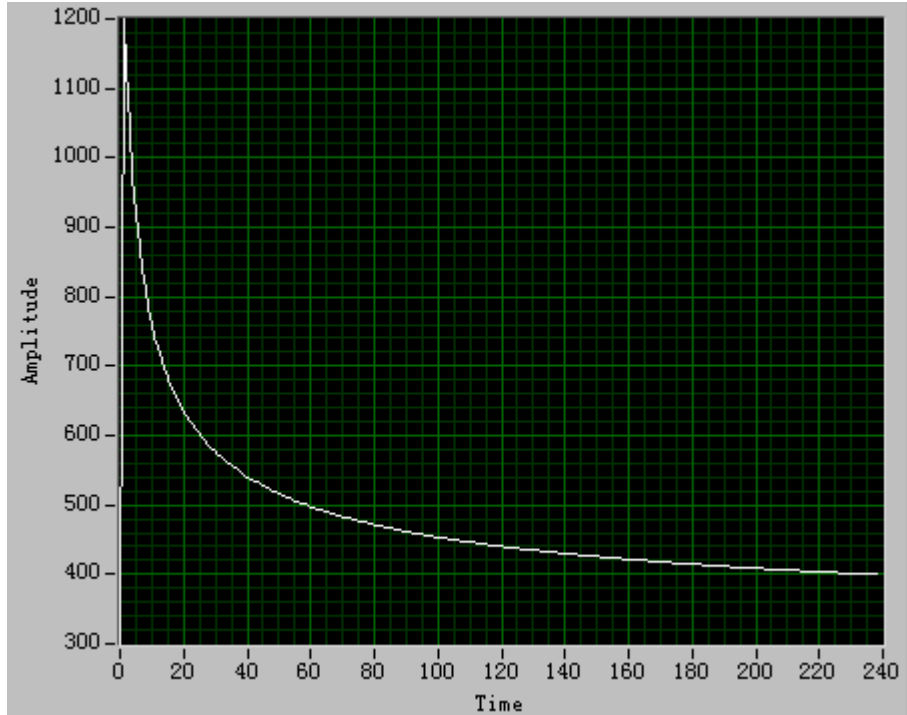


图 1.17 Hannerz 模型绘出的焊接热循环曲线

2. Rykalin2-D 模型 (雷卡林二维导热)

(1) $t_{8/5}$ 求 Q (输入线能量)

需要输入量为峰值温度 T_{max} 、预热温度 T_0 、 $t_{8/5}$ 、高温停留时间 t_H 、加热速度 ω_H 和板厚 d 。输出量为 r (某点距电弧中心线距离)、 Q 和 d_e (等效板厚)。

Rykalin2-D (由 $t_{8/5}$ 求 Q)	Limit
Maximum Temperature 1200 °C	Cool Temperature 400 °C
Preheat Temperature 20 °C	TimeMax 1000 °C
Time 800-500°C 20 sec	Interval CoolRate 20 °C/sec
Toptime 0.1 sec	Output
Heating Rate 200 °C/sec	r 0.5408 cm
Plate Thick 2 cm	Q 35.339 KJ/cm
	Equivalent Thick 2.9791 cm

图 1.18 Rykalin2-D ($t_{8/5}$ 求 Q) 界面

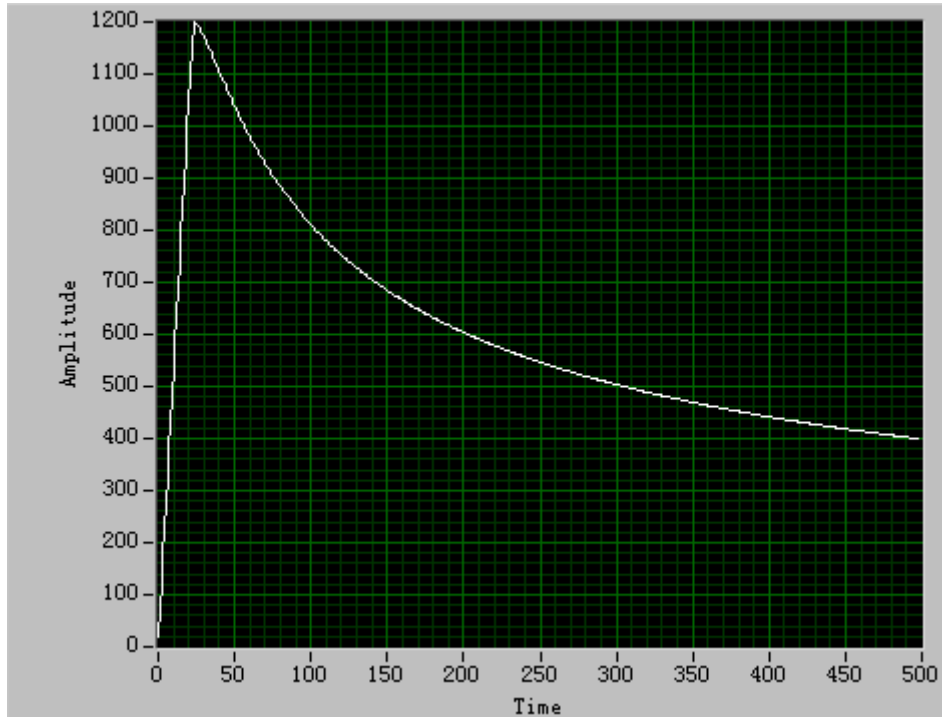


图 1.19 Rykalin2-D ($t_{8/5}$ 求 Q) 模型绘出的焊接热循环曲线

(2) Q 求 $t_{8/5}$

同(1)中的输入数据，只是将 $t_{8/5}$ 项换成 Q 项。输出量为 r (某点距电弧中心线距离)、 $t_{8/5}$ 和 d_e (等效板厚)。

Rykain2-D (由Q求t85)	Limit
Maximum Temperature 1200 °C	Cool Temperature 400 °C
Preheat Temperature 20 °C	TimeMax 1000 sec
Inout energy Q 20 KJ/cm	Interval CoolRate 20 °C/sec
Toptime 0.1 sec	Output
heating rate 200 °C/sec	r 0.3060 cm
Plate Thick 2 cm	t85 6.4056 sec
	equivalent thick 2.2412 cm

图 1.20 Rykalin2-D (Q 求 $t_{8/5}$) 界面

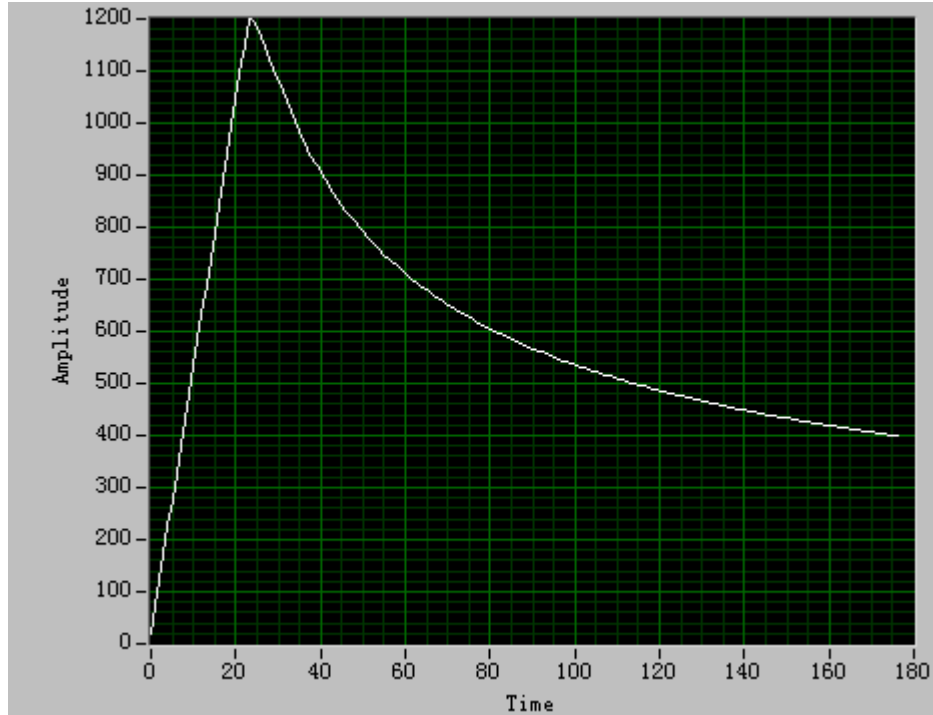


图 1.21 Rykalin2-D (Q 求 $t_{8/5}$) 模型绘出的焊接热循环曲线

3. Rykalin3-D 模型 (雷卡林二维导热)

(1) $t_{8/5}$ 求 Q

需要输入量为峰值温度 T_{max} 、预热温度 T_0 、 $t_{8/5}$ 、高温停留时间 t_H 和加热速度 ω_H 。输出量为 r (某点距电弧中心线距离) 和 Q 。

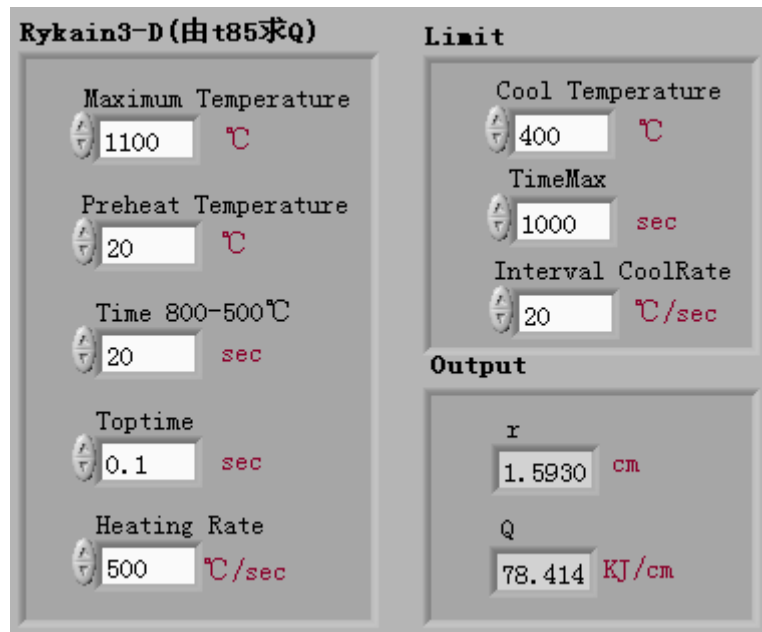


图 1.22 Rykalin3-D ($t_{8/5}$ 求 Q) 界面

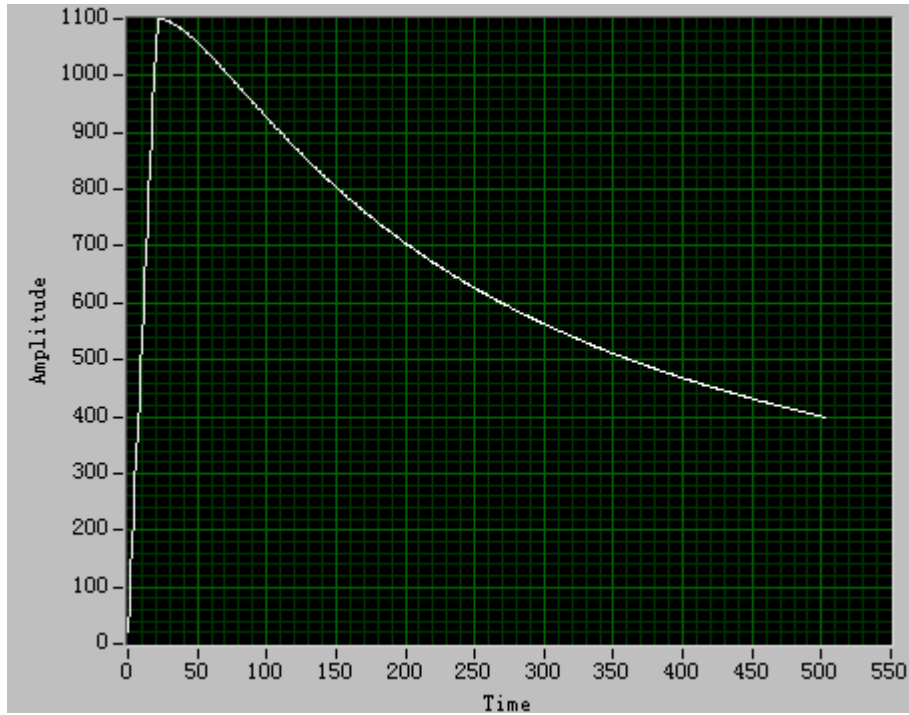


图 1.23 Rykalin3-D ($t_{8/5}$ 求 Q) 模型绘出的焊接热循环曲线

(2) Q 求 $t_{8/5}$

同(1)中的输入数据，只是将 $t_{8/5}$ 项换成 Q 项。输出量为 r (某点距电弧中心线距离) 和 $t_{8/5}$ 。

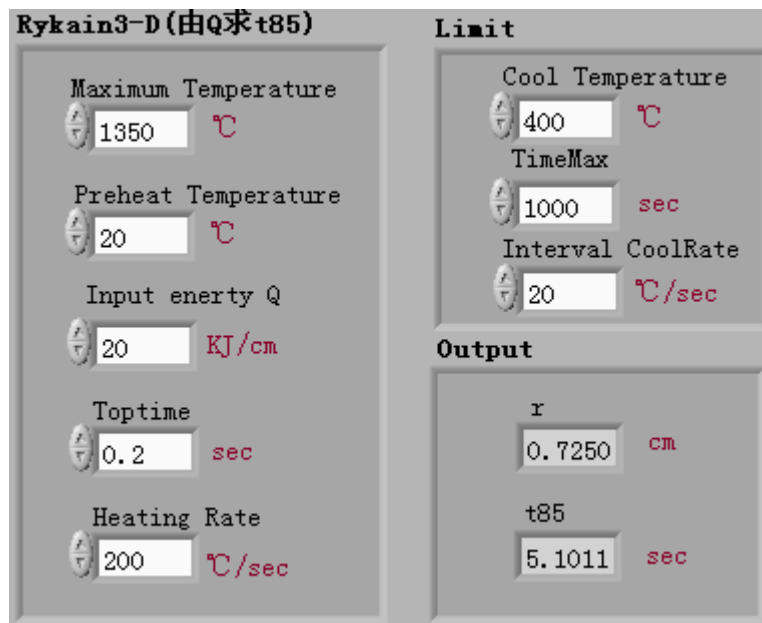


图 1.24 Rykalin3-D (Q 求 $t_{8/5}$) 界面

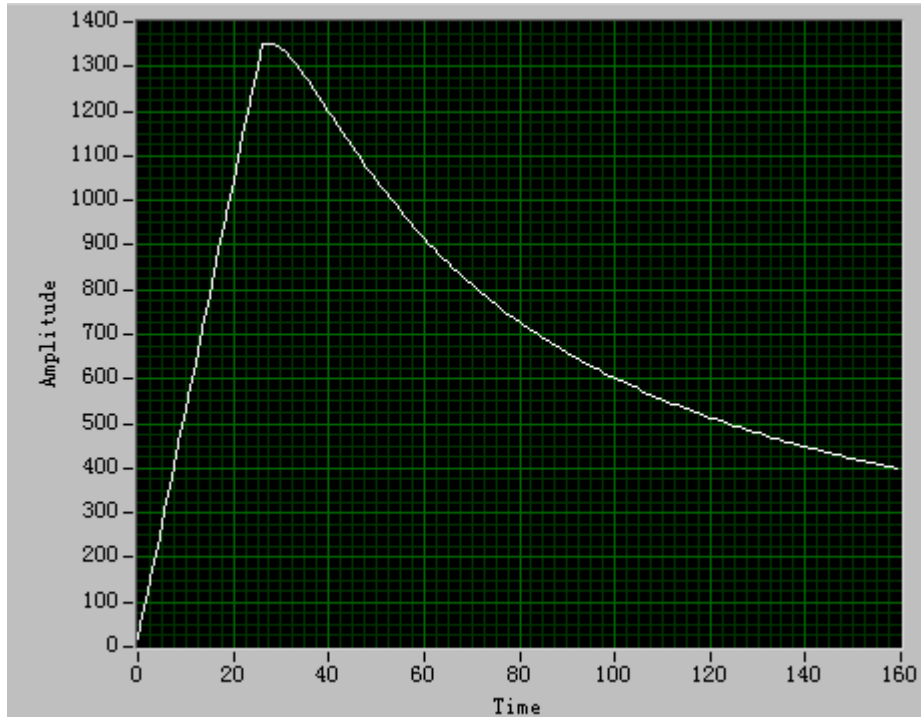


图 1.25 Rykalin3-D (Q 求 $t_{8/5}$) 模型绘出的焊接热循环曲线

4. Rosental 模型

需要输入的量 of 某点离焊缝中心线垂直距离 d 、预热温度 T_0 、输入线能量 Q 、焊接速度 v 和电弧热有效利用系数 A 。输出量为 r (某点离电弧中心的距离)。

Rykain3-D (由Q求t85)	Limit
Maximum Temperature 1350 °C	Cool Temperature 400 °C
Preheat Temperature 20 °C	TimeMax 1000 sec
Input energy Q 20 KJ/cm	Interval CoolRate 20 °C/sec
Toptime 0.2 sec	Output
Heating Rate 200 °C/sec	r 0.7250 cm
	t85 5.1011 sec

图 1.26 Rosental 界面

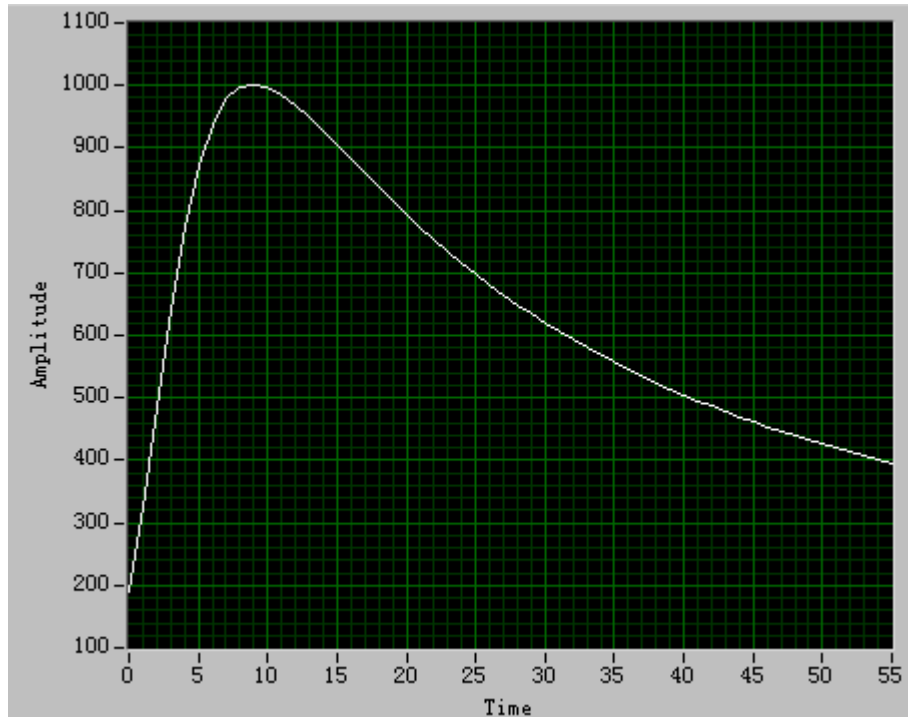


图 1.27 Rosental 模型绘出的焊接热循环曲线

5. Exponential Cooling Equation 模型

需要输入的量 of 峰值温度 T_{max} , 预热温度 T_0 、 $t_{8/5}$ 、高温停留时间 t_H 和加热速度 ω_H 。

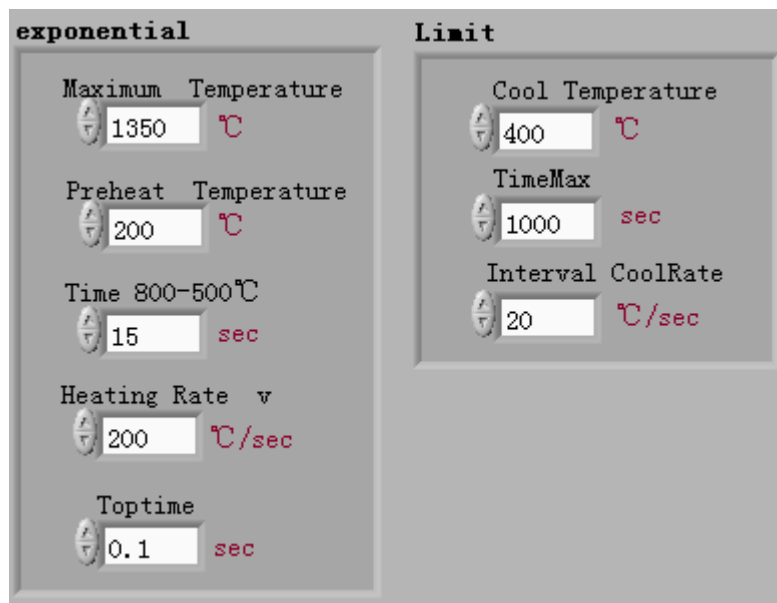


图 1.28 Exponential Cooling Equation 界面

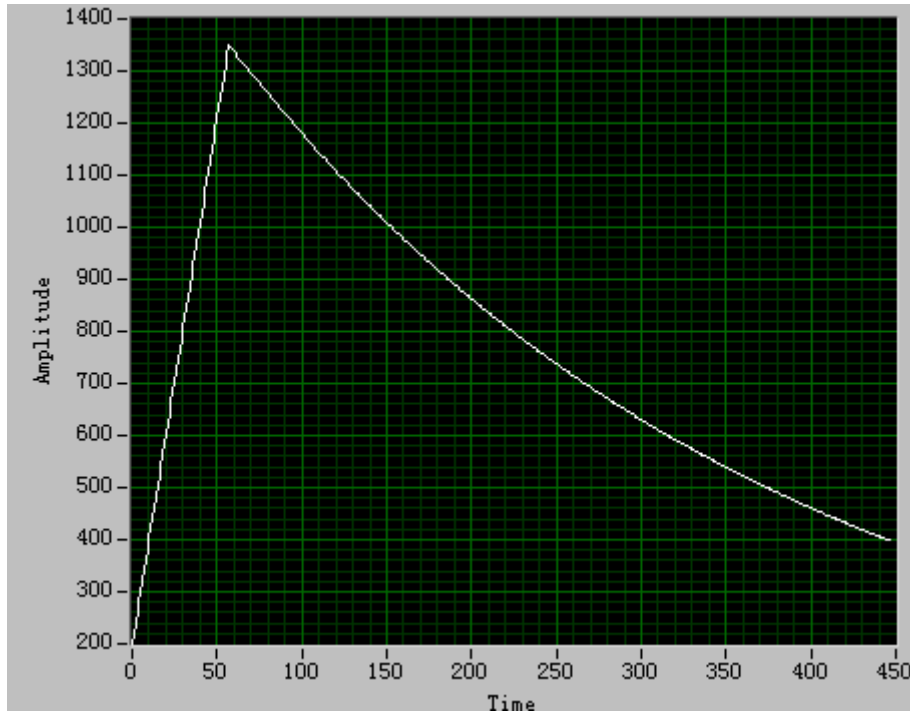


图 1.29 Exponential Cooling Equation 模型绘出的焊接热循环曲线

1.7 焊接热影响区连续冷却转变试验（SH-CCT 试验）

通常热处理的 CCT 图一般都是将试件加热到 $800 \sim 900^{\circ}\text{C}$ ，奥氏体化后即开始冷却。而对于焊接接头，人们最关心的是熔合线附近的热影响区的组织状态，所以焊接连续冷却转变图是将试件加热到接近熔点的温度，即 $1300 \sim 1350^{\circ}\text{C}$ ，然后再以不同的冷却速度进行冷却，这样制定的焊接热影响区连续冷却转变图称之为 SH-CCT 图。

冶金行业在新钢种大量投产之前，必须建立该钢种的 SH-CCT 图。一方面为评定该钢种的可焊性或预测焊接热影响的组织和性能，另一方面为制定合理的焊接工艺特别是焊接线能量提供技术依据。

SH-CCT 试验推荐采用阶梯圆试样或拉伸试样（小的圆柱形试样在高温时易受到气缸的压力而产生微小形变），拉伸卡具。采用铂铑-铂热电偶。SH-CCT 试验推荐采用热处理试验类型（在不启动油泵的情况下，拉伸试验类型均可完成试验），热电偶类型选择 TK4。试验取一组多个试样。具体参数输入情况请参照热处理试验界面。

1.8 零强温度（NST）和零塑性温度（NDT）的测定试验

焊接裂纹是焊接接头中最危险的焊接缺陷，它是引起焊接结构脆性破坏，带

来灾难性事故的主要根源。焊接裂纹的种类繁多，按产生的条件、机理和基本特征，大致可分为热裂纹、冷裂纹、层状撕裂和应力腐蚀开裂五大类型。焊接热裂纹通常是指在焊接过程中，焊缝和热影响区金属冷却到固相线附近的高温区时所产生的裂纹。这种裂纹在某些低合金钢、不锈钢、耐热合金和铝合金焊接时均可发现。热裂纹又分为结晶裂纹、液化裂纹和多边化裂纹三种裂纹。结晶裂纹是焊接中液态金属在冷却凝固过程中，由于凝固金属的收缩，残余液态金属不能及时补充，形成液态脆性薄膜，在应力作用下结晶开裂而形成，一般产生在焊缝中，故称之为结晶裂纹。液化裂纹一般产生在近缝区或多层焊的层间部位，由于母材中金属含有较多的低熔点共晶部分，在热循环峰值作用下局部液化，在拉应力作用下发生结晶开裂。液化裂纹的尺寸都很小，无损探伤很难发现，只有在金相磨片或断口微观分析时才能发现。更危险的是，液化裂纹常常成为冷裂纹、再热裂纹及其它脆性破坏和疲劳断裂的发源地。多边化裂纹主要产生在某些纯金属或单向合金（如奥氏体不锈钢、铁-镍合金、镍合金）的焊缝或近缝区中，产生温度在固相线稍下的高温区间。它是由于刚凝固的焊缝金属中（或近缝区在高温作用下）存在很多晶格缺陷（位错及空位）以及严重的物理和化学不均匀性，在温度与应力作用下，这些晶格缺陷的迁移和聚集，形成脆弱的二次边界（亚晶界，即多变化边界），在拉应力作用下引起晶界开裂。

热塑性拉伸试验方法是目前在模拟过程中进行的热裂纹模拟试验中最常用的试验方法，它能方便而精确地测得材料高温下的力学性能参数。

1.8.1 零强温度（NST）的测定

零强温度（Nil-Strength Temperature）的确定对于研究结晶裂纹以及铸造过程的开裂具有重要意义。在零强温度以上，材料的强度降为零，任何微小的载荷均会导致开裂。

试验采用阶梯圆试样或拉伸试样，拉伸卡具。金属材料在高温下强度很低，不必施加大的载荷即可将试样拉断，安装联轴器。选择铂铑-铂热电偶，并使用高温无机胶将热电偶固定在试样上，以防高温时脱落。选择拉伸试验界面，热电偶类型选择 TK4。

试验采用力控制。利用液压系统（低压状态）施加一个恒定的（在整个试验过程保持不变）的拉伸载荷，该力的大小主要取决于静摩擦力的大小。不在真空

环境中，只存在滑块与两导轨的摩擦力（此摩擦力很小），则所加的恒载大小为 80N 为宜；在真空环境中，考虑槽内外大气压差以及槽与移动轴之间的摩擦力影响，可施加 300N 的拉力。

试样以通常的加热速度（模拟手工焊，可用 $150\sim 200^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ；埋弧焊用 $100^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ；电渣焊用 $10\sim 20^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ），加热到材料的液相线以下大约 100°C 的温度，然后将加热速度改变为 $1\sim 2^{\circ}\text{C}/\text{s}$ ，继续加热、升温直到试样拉断为止，此时的拉断温度即为该材料的零强温度。确定材料的零强温度，通常至少须做两个试样，当试验结果相差 20°C 时，应做第三个试样，并取其平均值。

由于 MMS-200 热力模拟试验机的力传感器多为 10t 或 20t 的量程，很难施加小力，因此该试验很难在 MMS-200 上实现。

1.8.2 零塑性温度（NDT）的测定

零塑性温度（Nil-Ductility Temperature）对于研究热裂纹，特别是液化裂纹及多边化裂纹有重要意义。在零塑性温度以上，材料完全变脆，失去塑性。测量零塑性温度时，在加热过程和冷却过程中进行会得到不同的数值，通常加热方式测得的 NDT 值会高于冷却方式测得的 NDT 值，这是由于金属材料在加热过程的开始熔化与冷却过程的开始结晶，所需的热力学条件及自由能是不同的。以加热过程中进行试验所测得的零塑性温度为上限，冷却过程中进行试验所测得的零塑性温度为下限，这样所获得的区间称为零塑性区间。它是衡量液化裂纹与多边化裂纹敏感性的重要参数。

零塑性温度（NDT）的测定试验通常分为冷却过程 NDT 和加热过程 NDT。

试验采用阶梯圆试样或拉伸试样，拉伸卡具。安装联轴器。选择铂铑-铂热电偶，并使用高温无机胶将热电偶固定在试样上，以防高温时脱落。选择拉伸试验界面，热电偶类型选择 TK4。

1. 加热过程的 NDT

将试样的均温区以 $100\sim 150^{\circ}\text{C}/\text{s}$ 加热速度加热到不同的试验温度，在峰值保温 0.5s 后，快速（ $10\sim 20\text{mm}/\text{s}$ ）拉伸，试样被拉断后，测量均温区断面收缩率，通过一组不同峰值的试样，即可描绘出温度-塑性（断面收缩率）曲线。图 1.30 示出了热拉伸试验加热冷却流程图及热塑性曲线示意图。图 1.30（b）中的 E 点为在加热过程测得的塑性（断面收缩率）为零的温度，即为加热过程的零塑性温

度。

2. 冷却过程的 NDT

冷却过程的拉伸试验对于研究焊接裂纹更具有实际意义,因为焊接热裂纹一般是在冷却过程中形成的。在进行“冷却过程拉伸特性”试验时,根据不同的试验目的,首先将试样加热到液相线温度(研究结晶裂纹),或零强温度(研究热影响区中裂纹),或零强温度以下 $20\sim 30^{\circ}\text{C}$ (研究材料的热塑性),在峰值保温 $0.5\sim 3\text{s}$ 后,在以 $30\sim 70^{\circ}\text{C/s}$ 的冷速冷却到不同的试验温度,在试验温度停留 0.5s ,然后进行快速拉伸(50mm/s),测得断面收缩率,从而可绘制出冷却过程中的温度-热塑性曲线(见图 1.30),并同样可以测得冷却过程中的零塑性温度(D点)。为了深入研究在冷却过程的热裂纹敏感性,同时由于 D 点的精确值难以测得,通常又采用塑性恢复温度(Ductility Recovery Temperature, 简略为 DRT)这一物理概念。即冷却时,断面收缩率恢复达到 5%的对应温度,如点 D'所示。当测定脆性温度区间 BTR 时, D'点是把 NST 作为峰值温度而获得的。

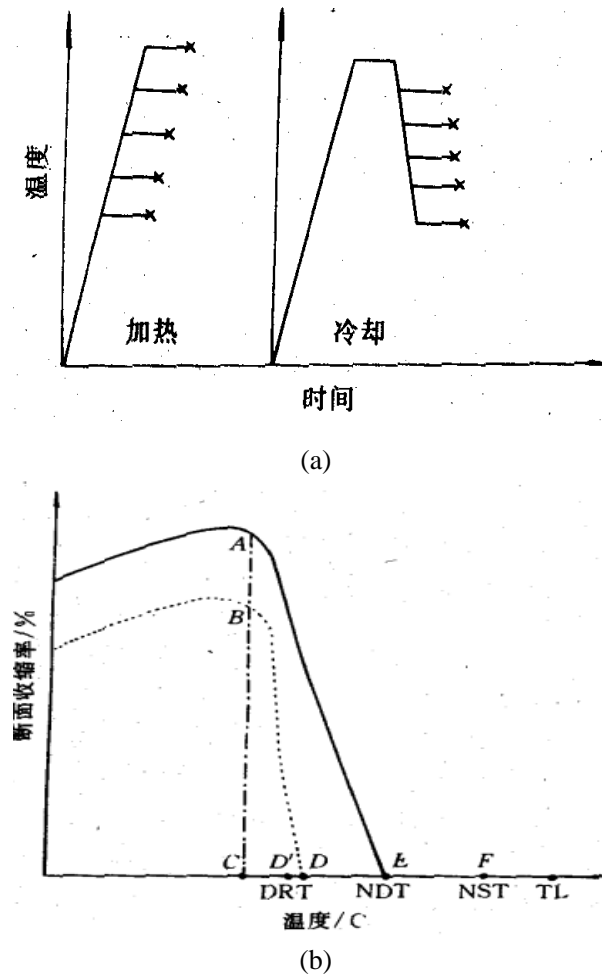


图 1.30 加热及冷却过程热拉伸试验及热塑性示意图

(a) 热拉伸试验过程；(b) 热塑性曲线

具体操作及界面参数输入情况参照拉伸试验。

1.9 SICO 试验

当实施奥氏体不锈钢及镍合金的多层焊时，常在焊缝的层间发现裂纹，此裂纹一般发生在焊道的上部，尺寸很小，称之为微裂（Microfissures）。金相观察显示，实质上是下一焊道对上一焊道的热影响区引发的一种液化裂纹。由于多道焊时复杂的应力状态，热拉伸法不能精确地实现此种液化裂纹的模拟。

SICO 试验方法可以应用于材料的热变形、连铸模拟以及焊接模拟，研究材料在高温加工时的热塑性，得到材料在热轧、铸造及连铸时的裂纹敏感温度范围。从而为材料热加工工艺提供参数，避开材料的热裂纹敏感温度范围。

使用应变诱导裂纹张开的方法（Strain Induced Crack Opening，简称为 SICO）能准确的评判金属的热塑性以及裂纹倾向。

试验采用直径 10mm、长 80mm 左右的圆试样。卡具使用拉伸卡具，卡头的两端紧贴厚钢板放置以便对试样施加压力，如图 1.31。根据峰值温度的不同选择合适的热电偶，峰值温度低于 1250℃时，使用镍铬-镍铝热电偶，热电偶类型选择 TK3；峰值温度高于 1250℃时，使用铂铑-铂热电偶，热电偶类型选择 TK4。选择单道次压缩界面进行试验。

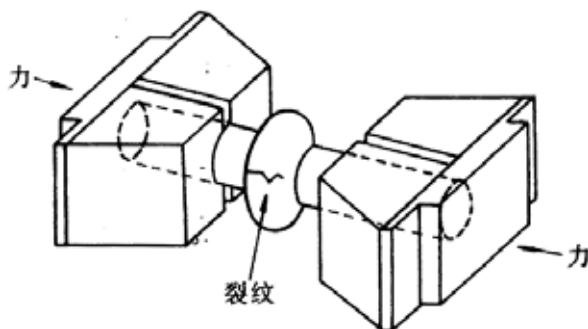


图 1.31 SICO 试验方法示意图

试验前首先选择试样类型（圆形），输入试样长度、直径。注意试样长度应该输入自由跨度，即试样的总长度减去卡具内试样的长度。SICO 试验要求实验者按实测的热循环加热速度将试件加热到试验温度（1000~1300℃），均温区达到峰值温度后，立即以给定的加载速度压缩试样。具体界面参数输入参照单道次压

缩试验。

在试验过程中，先根据经验确定一个变形程度，然后用一个试样进行试验。由于试样中部（工作区）温度高，将被墩凸成环状，在环状部分的外表面将产生拉应力，引起表面开裂。结束后，取下试样，用 30 倍的放大镜观察试样被墩粗的部分表面是否出现裂纹。如有裂纹（或无裂纹）则将变形量减小（或增大）二分之一，取另一个试样进行试验，直到确定导致裂纹产生的临界变形程度。从而可以得到在某温度下，裂纹启裂的临界。应变变量 ε_c ，即

$$\varepsilon_c = \ln(D_r/D_0)$$

式中 D_0 ——试样的原始直径；

D_r ——裂纹启裂时墩粗部分的直径。

显然，临界应变变量越低，说明材料的热塑性越差。

1.10 铸造试验

铸造是将熔融的金属浇注、压射或吸入铸型型腔，待其冷却凝固后，获得一定形状的零件或毛坯的成型方法。其中浇注是最常见的铸造方式，也是物理模拟的主要研究对象。

铸件的质量是金属零件质量的基础，并对后续的压力加工及其它冷、热加工工艺产生重要影响。铸造时，会产生缩松、气孔、裂纹、偏析、形状尺寸不合格等多种缺陷，影响铸件的质量。而铸件形成过程的热/力学行为对其质量有重要影响。因此，铸造加工工艺的物理模拟，必须尽可能充分地再现铸造过程的热/力学条件，以研究热/力学参数对铸件质量的影响规律，并确定最佳的铸件化学成分及铸造工艺参数。

影响铸件质量的主要因素是合金的化学成分、铸型的材料与结构、浇注条件以及冷却方式等。因此铸造物理模拟的主要任务是尽可能妥善地控制融化与结晶，再现凝固结晶条件，研究金属的铸造特性和高温性能，优化合金成分，确定合理的铸造工艺。铸造模拟的主要参数是冷却速度、温度梯度以及冷却时的应力与应变。

铸造物理模拟控制参数的变换并不复杂，但是参数控制精度的保证却有一定的难度，主要是高温液态金属的保持，温度的精确测量与控制，以及在小的载荷下加载精度的实现。

试样为圆试样。标准的圆棒状钢试样尺寸一般为 $\Phi 10\text{mm} \times 120\text{mm}$ ，采用拉伸夹具。为了支撑高温液态金属，在试样中部套一个向上开缝的石英管。石英管长度 30mm，内径 10.2mm。试验时可在试样中部产生一段长约 12~14mm 的液态区。石英管直径比试样直径大 2% 的主要原因是处于对试样熔化时物理状态变化的考虑：试样熔化是体积膨胀，若间隙太小，可能将石英管胀裂（金属膨胀系数远远大于石英）；若间隙太大，则液态金属将沉陷，导致试样失形或热电偶掉脱。石英管向上开缝的目的是为了便于熔化时气体的逸出，及便于热电偶的安装。

选择铂铑-铂热电偶。为了防止高温时热电偶脱落，可将无机胶合剂涂在热电偶热端的焊点结合处，固化后可防止热电偶的高温脱落。试验界面为单道次压缩界面，热电偶类型选择 TK4。

为了防止高温时金属的氧化，铸造物理模拟必须在真空或惰性气氛中进行。在真空中不但可以防止氧化，还可以减轻试样的径向散热。但从保护效果来说，采用先抽真空后充入惰性气体的方案为最佳，尤其是进行连铸喷水冷却模拟试验时。抽、充应反复几次，最终充入的惰性气体的量以略高于一个大气压为止。

铸造物理模拟的力学系统采用位移控制模式。由于金属在高温下变形抗力很低，因此试验所测出的载荷比较小。

在进行试验时，为了获得 12~14mm 长的熔化区域，试验前可在距热电偶热端 6~7mm 处焊一条金属丝，用无机胶合剂固定，然后金属丝的另一端连在真空箱内热电偶的接线柱上，连接时应将金属丝拉紧，产生一定的拉应力，然后以 $20 \sim 50^\circ\text{C/s}$ 的加热速度将试样加热到熔点以下 50°C 左右，再以手动控制模式按 2°C/s 的速度慢慢升温，直至试样由跨度中心部位熔化到金属丝的焊点处，由于金属熔化加上原先的拉应力作用，迫使金属丝在焊点处脱离试样，此时加热即可停止。

当液态金属凝固时，体积发生收缩，如果收缩时受阻，内应力产生，则由于金属在高温凝固期间塑性很低而发生开裂。因此，如果想得到致密的铸造组织，在凝固收缩的同时应施加压力进行补偿。收缩量随合金不同而不同，应通过几次试验获得合适的压缩量与压缩时间。经验的方法是凝固时应保持试样在石英管中的横截面形状不变，而且热电偶不脱离试样。

图 1.32 示出了某钢种圆柱试样（ $\Phi 10\text{mm} \times 120\text{mm}$ ）的熔化程序图解范例，

其中 (a) (b) 两图分别表明了凝固 (温度) 与压缩量 (冲程) 随时间的对应关系。由图看出, 用 15s 时间将试样加热到 1430°C 使之熔化, 然后改用缓慢的加热, 保持此熔化温度 75s, 在试样上获得所希望的融化区长度, 与此同时在前 25s 时压缩 0.05cm 以使液态金属充满石英管。随后以 2°C/s 的冷速用 25s 将试样工作区冷到固相线温度 (约 1380°C), 同时试样再被压缩 0.04cm, 以防止撕裂。试样全部凝固后, 以 20°C/s 的冷速冷到室温。之后, 这些具有铸造状态组织的模拟试样可被用来继续进行其它力学性能测试。另外, 在冷却过程中, 可以用喷水急冷、喷气急冷或气雾混合急冷的方法冻结凝固后某温度下的高温组织。

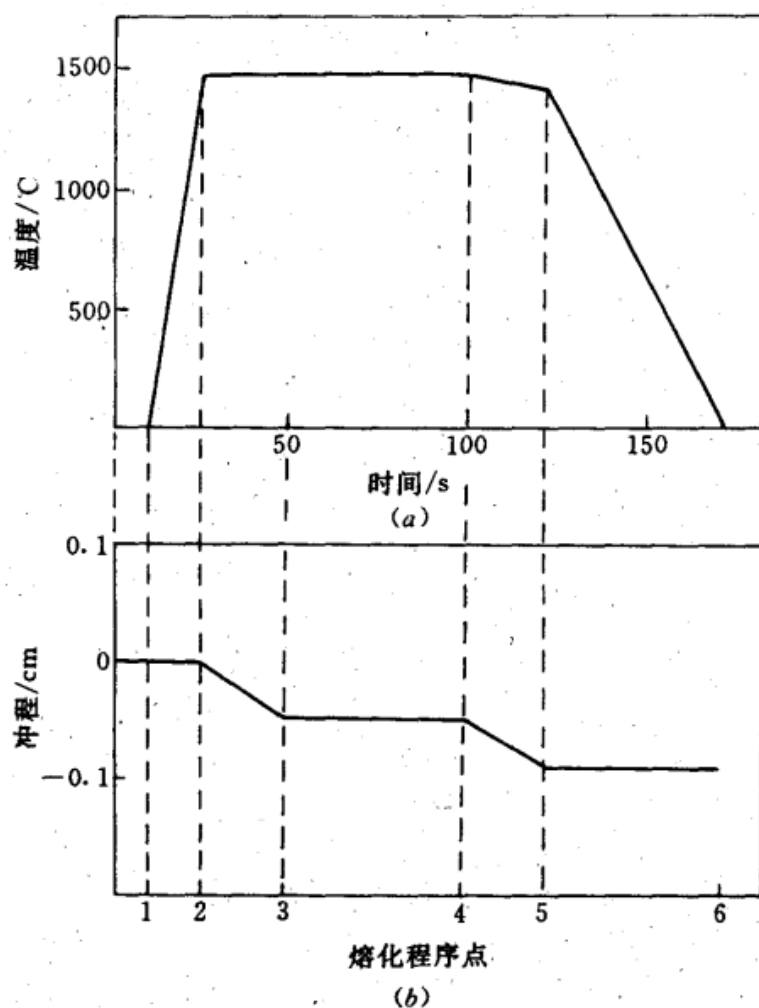


图 1.32 钢试样熔化图解

具体参数输入情况参照单道次压缩试验。

附录二： MMS-200 的试样及卡具类型

MMS-200 热力模拟试验机可以为多种试验提供平台，不同的试验所需要的试样形状和尺寸也不相同。因此，试样的形状和尺寸种类繁多。又由于不同的试样需要用到不同的夹具，因此，它的夹具系统也比较复杂。为了方便实验者针对不同的试验选择不同的试样与卡具，现对 MMS-200 热力模拟试验机的试样及卡具类型做简单介绍。

2.1 MMS-200 热力模拟试验机的试样

对于 MMS-200 热力模拟试验机，不管试样的形状和尺寸如何变化，都应遵循下列尺寸最小和最大原则。

1. 圆试件：直径最小 6mm，最大 20mm。
2. 方试件：最小 6mm×6mm，最大 20mm×20mm。
3. 平面应变试件：最小 20mm² 接触面积，最大 200mm² 接触面积。

试样大体上包括压缩试样、圆试样、方试样、阶梯圆试样、拉伸试样和板试样六种。

1. 压缩试样

试样为短圆柱试样，试样直径推荐 $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 8\text{mm}$ 或 $\Phi 10\text{mm}$ ，试样长度为 12~16mm。此种试样主要适用于单、多道次压缩试验、热处理试验和动态 CCT 试验等。

2. 圆试样

试样为长圆柱试样，试样直径推荐 $\Phi 6\text{mm}$ 、 $\Phi 8\text{mm}$ 或 $\Phi 10\text{mm}$ ，试样长度为 60~120mm。此种试样主要适用于热处理试验、铸造试验和 SICO 试验等。

3. 方试样

方试样包括长矩形试样和平面应变压缩试样。其中长矩形试样方形尺寸为 11mm×11mm，长度尺寸为 60~120mm。长矩形试样主要适用于热处理试验及焊接试验。平面应变压缩试样推荐为 15mm×20mm，厚度小于 20mm，适用于平面应变压缩试验。

4. 阶梯圆试样

试样形状如图 2.1。

两端大圆直径可为 10mm、8mm、6mm，中间小圆直径可为 8mm、6mm、4mm，中间段长度根据需要而定，两端长度为 20~30mm。阶梯圆试样适用于拉伸试验、热处理试验及焊接试验，由于中间段直径小，可达到增加加热速度、提高冷却速度的目的。

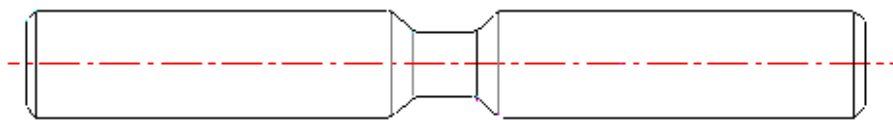


图 2.1 阶梯圆试样

5. 拉伸试样

试样形状如图 2.2。

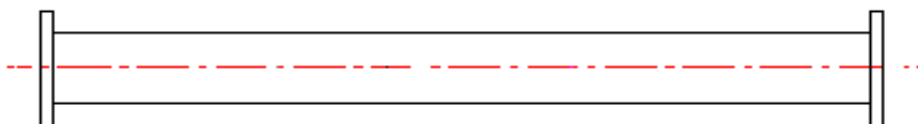


图 2.2 拉伸试样

中间直径为 10mm，中间段长度根据需要而定。两端大圆直径 13mm，阶梯厚度 3mm。拉伸试样适用于拉伸试验及热处理试验。

6. 板试样

试样形状如图 2.3 和图 2.4。

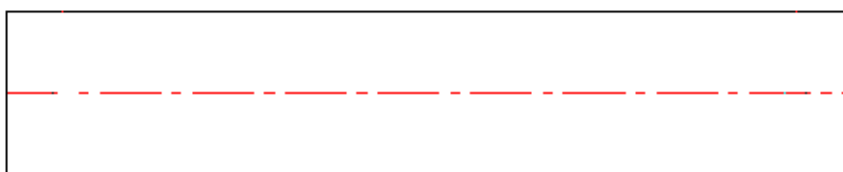


图 2.3 板试样 1

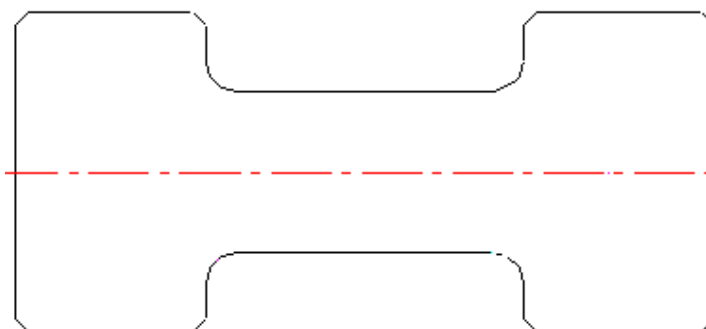


图 2.4 板试样 2

板试样总长不超过 120mm，板宽 25mm，板厚最小 1.3mm，最大 8mm。常用的板厚尺寸有 1.3mm，2.25mm，5mm，6mm，7mm 和 8mm。板试样主要适用于热处理及板材拉伸试验。

2.2 MMS-200 热力模拟试验机的卡具

夹具系统是实验时，对试样进行夹持的工具。夹具系统在通用夹具的基础上，可分为压缩夹具、拉伸夹具、等，按所夹持试样的形状可分为圆试样夹具、方试样夹具、板试样夹具和压缩圆柱试样夹具等。

压缩夹具、拉伸夹具都需要用卡紧机构安装在通用夹具上，才能夹持试样。

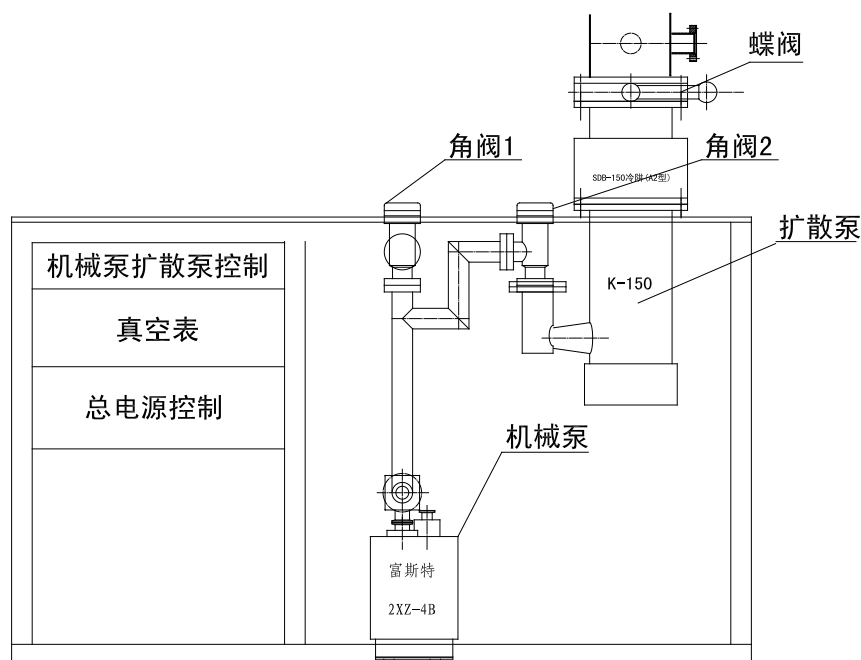
设备使用者也可以根据自己的试验需要，针对所携带的夹具系统，设计不同的试样形状和尺寸；也可以开发其它的夹具，设计其它的试样形状和尺寸。

具体的试样加工尺寸和卡具尺寸这里不再赘述。

附录三： 真空机组操作说明书

一、 系统介绍

本系统为扩散泵机组抽真空设备，主要由一台机械泵、一台扩散泵以及相应的阀门组成，机械泵和扩散泵的开启/停止操作由操作面板上的按钮控制，有相应的工作指示灯指示其工作状态。具体设备图如下所示：



二、 主要功能

1. 总电源控制单元：由一个空气开关、三相电指示单元、总控制启动按钮及指示灯、报警系统指示灯所组成。主要是控制外部电源及保护作用。
2. 机械泵及扩散泵控制单元：主要控制机械泵和扩散泵的开启/关闭操作。
3. 真空表单元：主要显示真空度的数值。

三、 低真空操作步骤（真空度大于 10Pa）

低真空度时，只要启动机械泵即可，不用启动扩散泵，操作简单，抽真空时间短。操作步骤如下。

1. 检查操作箱处于关闭状态，真空机组中的蝶阀处于关闭状态，操作箱上的进气阀和放水阀处于关闭状态（操作面板上的“进气”按钮处于灯灭状

态)。

2. 打开角阀 1，关闭角阀 2，顺时针旋到底为关闭，逆时针旋转为打开。
3. 检查控制柜和真空机组操作箱总电源控制中的空气开关，使它们处于合上状态（开关处于上档位置），给真空设备供应三相电。
4. 按下真空机组总电源控制单元中的“启动”按钮，其工作指示灯（绿）亮，表明可以执行抽真空的工作流程了。
5. 按下真空机组中机械泵操作单元中的“启动”按钮，启动机械泵，在控制面板上其工作指示灯亮，或者按下操作面板上的“机械泵”按钮，按钮灯亮，表明机械泵开始工作；两种操作选其一。然后打开真空表电源，随时观察真空度数值。
6. 当真空度达到要求时，开始实验。
7. 在实验工程中可停止抽真空，也可不间断抽真空。
8. 切记不能在真空状态下进行淬火操作。
9. 实验结束后，停止抽真空。按下操作面板上的“进气”按钮，使空气进入操作箱内，然后才能打开操作箱，卸下试样。

四、高真空操作步骤（真空度大于 10^{-2} Pa 小于 10Pa）

高真空度时，不但要启动机械泵，还要启动扩散泵，操作比较复杂，抽真空时间长。操作步骤如下。

1. 检查操作箱处于关闭状态，真空机组中的碟阀处于关闭状态，操作箱上的进气阀和放水阀处于关闭状态（操作面板上的进气按钮处于灯灭状态）。
2. 将循环冷却水接通，按下循环水站上的开关，此时设备正面左侧面板上的指示灯亮并且保证在工作期间有不间断回水，给扩散泵提供冷却水。
3. 关闭角阀 1，打开角阀 2，顺时针旋到底为关闭，逆时针旋转为打开。
4. 检查控制柜和真空机组操作箱总电源控制中的空气开关，使它们处于合上状态（开关处于上档位置），给真空设备供应三相电。
5. 按下真空机组总电源控制单元中的“启动”按钮，其工作指示灯（绿）亮，表明可以执行抽真空的工作流程了。

6. 按下真空机组中机械泵操作单元中的“启动”按钮，启动机械泵，在控制面板上其工作指示灯亮，或者按下操作面板上的“机械泵”按钮，按钮灯亮，表明机械泵开始工作；两种操作选其一。开始给扩散泵抽真空。
7. 给扩散泵预热 30 分钟：按下真空机组中扩散泵操作单元中的“启动”按钮，在控制面板上其工作指示灯亮，或者按下操作面板上的“扩散泵”按钮，按钮灯亮，表明扩散泵开始工作，扩散泵中的油开始被加热；两种操作选其一。
8. 机械泵抽 10 分钟后，先关闭角阀 2，再打开角阀 1，开始给管道和操作箱抽真空；然后打开真空表电源，随时观察真空度数值。
9. 当扩散泵预热满 30 分钟，并且真空度数值小于 10Pa 时，即两个条件都满足时，先关闭角阀 1，再打开角阀 2，然后打开蝶阀(蝶阀手柄向上搬)，开始启动扩散泵给管道和操作箱抽真空。直到真空度到达工作状态，真空度最高可达 10^{-2} Pa。
10. 当真空度达到要求时，开始实验。
11. 在实验过程中可停止抽真空，也可不间断抽真空。
12. 停止抽真空的操作步骤：首先按下真空机组中扩散泵操作单元中的“停止”按钮，在控制面板上其工作指示灯灭，或者按下操作面板上的“扩散泵”按钮，按钮灯灭，关闭扩散泵；然后关闭蝶阀。在扩散泵停机 30 分钟后，关闭角阀 2 至全关状态，然后关闭真空计电源，最后按下机械泵“停止”按钮，关闭机械泵，按下总电源控制单元“停止”按钮，关闭冷却水(若正在进行加热实验，则不能关闭循环冷却水)，最后断开空气开关。

五、特别注意事项

1. 当操作箱处于真空状态时禁止淬火。
2. 当上次实验进行了淬火操作，或者操作箱内有残留水时，必须在抽真空前，将操作箱内的水分吹干，否则水分会在抽真空时进入到机械泵中，损坏机械泵，并降低真空机组的性能。
3. 在高真空度操作时，一定要严格遵守操作规程，严格按步骤操作，否则，会损坏扩散泵的性能。

4. 在高真空度停止抽真空的操作过程中，当扩散泵停机后 30 分钟内，机械泵千万不能停机，否则，扩散泵中的油会扩散到管道和操作箱中，降低扩散泵的性能，污染管道和操作箱。