

# 三活叶技术資料三

总 号: 204

热加工: 040

---

内部資料 注意保存

## 炉底輥輥身的铸造

第一机械工业部新技术先进經驗  
宣传推广联合办公室

1965.8

# 炉底辊辊身的鑄造

上海重型机器厂鑄造車間技术組

## 一、前 言

近几年来我厂共冶炼了  $\text{Cr}_{25}\text{Ni}_{20}\text{Si}_2$ 、 $\text{Cr}_{24}\text{Ni}_{12}\text{Si}$  以及  $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$  等奥氏体型铬镍合金鋼鑄件600多吨，浇注过大小耐热輥400件左右。

为了获得优质的零件、筒状、管状鑄件，特别是耐热輥，最适宜采用离心鑄造，采用砂型鑄造极易造成縮孔、气孔、夹渣、裂紋等鑄造缺陷。由于設備条件的限制和任务的需要，还是采用了砂型鑄造。

耐热輥是輥底或热处理炉的炉底輥，长期在高温炉气下工作；使用时为运转状态；表面有合金鋼板滑过；炉内燃烧煤气。这就要求耐热輥在高温下煤气燃烧气氛中具有良好的抗氧化性和一定的高温强度，才能达到使用要求。根据設計資料，选用了  $\text{Cr}_{25}\text{Ni}_{20}\text{Si}_2$  和  $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$  奥氏体型耐热鋼作为材料。該材料的化学成分和常温机械性能如表1。

耐热輥的轮廓尺寸有  $\phi 160 \times 1280$ 、 $\phi 220 \times 1600$ 、 $\phi 300 \times 3100$ 、 $\phi 377 \times 2600$  毫米，重量有170、330、1050、1450 公斤等几种。外圓加工要求为  $\nabla \nabla \nabla 7$  绝对不允许有任何鑄造缺陷，并全面地进行透視检查。

## 二、耐热鋼的鑄造性能

鑄造性能包括流动性、线收缩、体收缩、气孔、縮孔、疏松、偏析、热裂及夹渣等。其性能取决于諸因素的影响。

我厂曾与哈尔滨工业大学合作仅对  $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$  进行了流动性线收缩及体收缩等項試驗，现将試驗情况分析如下：

1. 流动性：液体金属的流动性由粘度、表面张力及液面上氧化膜阻力等决定。鋼中铬含量地增加虽然会增加鋼的粘滯性，但镍、硅含量的增加却会大大地提高鋼的流动性，碳量增加也会显著地提高鋼的流动性，而碳高对鋼的抗腐蚀性却有所降低。总之，铬镍鋼的流动性比碳素鋼高

表 1

| 成分性能<br>牌 号                                       | 化 学 成 分 (%) |      |         |       |        |       | 机 械 性 能 |                                     |                                     |                 | 热 处 理<br>状 态 |               |
|---------------------------------------------------|-------------|------|---------|-------|--------|-------|---------|-------------------------------------|-------------------------------------|-----------------|--------------|---------------|
|                                                   | C           | Mn   | Si      | S     | P      | Cr    | Ni      | $\sigma_s$<br>(公斤/毫米 <sup>2</sup> ) | $\sigma_b$<br>(公斤/毫米 <sup>2</sup> ) | $\delta$<br>(%) |              | $\psi$<br>(%) |
| Cr <sub>25</sub> Ni <sub>20</sub> Si <sub>2</sub> | ≤0.20       | ≤1.5 | 2.0~3.0 | ≤0.03 | ≤0.035 | 23~27 | 18~21   | ≥22                                 | ≥48                                 | ≥25             | ≥28          | 1100°C        |
| Cr <sub>20</sub> Ni <sub>12</sub> Si <sub>2</sub> | ≤0.20       | ≤2.0 | 1.8~2.3 | ≤0.03 | ≤0.040 | 19~21 | 11~13   | ≥20                                 | ≥50                                 | ≥20             | ≥28          | 水淬            |

的根本原因是凝固溫度比碳素鋼約低  $100^{\circ}\text{C}$ 。但由於一般過熱度均偏高，對較薄的鑄件，可能會因鋼水的氧化膜而影響它的充填能力。這些都在實際試驗中得到了証實。

流動性試驗的方法很多，有螺旋型、U型、棒型、楔形、球型等。以螺旋型使用最為普遍，但其試驗的重複性不高，如採用以上的試棒，需要很多的爐次和試棒，時間延長，因此我們採用三組對稱中心的 $\alpha$ 型試棒如圖1。它一次澆出三組不同直徑的試樣組( $\phi 5$ 、 $\phi 4$ 、 $\phi 3$ 、 $\phi 2$ )，相當於三個流動性試樣一次澆成。這樣就比較準確地測定出在某一個條件下的鋼水流動性，同時因一組內有粗細不同的試棒，不僅能看到它的流動能力，亦能看到液態金屬由於氧化膜的影響對薄型鑄件的充填能力。該試棒衡量液態金屬流動性的指標是：試棒高度和頂端聯線的傾斜度，斜線的位置愈高，它的流動性愈好，斜率愈小則其充填能力愈好。

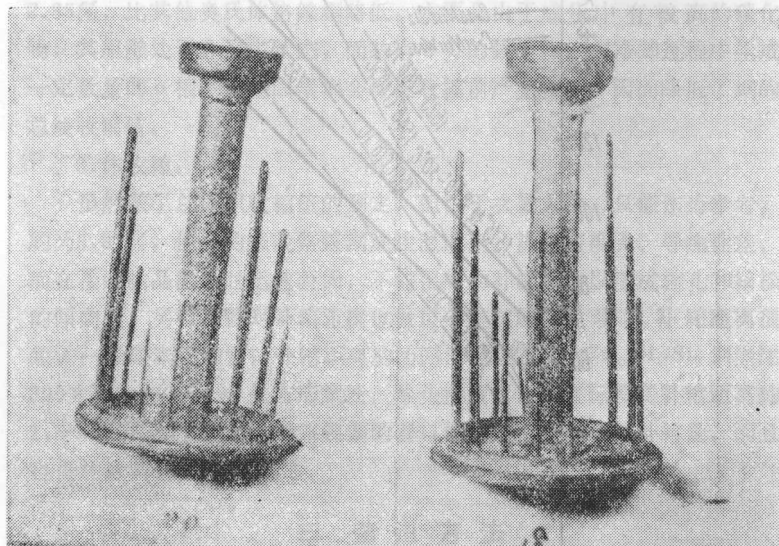


圖1  $\alpha$ 型流動試棒實物圖。

我們前後共澆注12爐次12個試棒，從數據分析有如下幾點看法：

(1) 試樣中我們採用了潮模快干砂和熱態快干砂、發現熱態快干砂

的試棒的流动能力最高，潮模最低。

(2) 随着試棒直径的增加，它的相对散热表面积减小，整个鋼水凝固的速度减慢，它有較长的时间流动，所以粗試样的流动长度比細者长。

(3) 鋼水的流动性随着溫度增加而增加，当溫度增到更高的时候，在粗径試棒內鋼水繼續增高，但是細径內的鋼水由于氧化膜反而不能上升，这就是說充填能力对較薄鑄件的成型不利。

(4) 与其它鋼种比較：在快干砂的鑄型中， $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$  的流动性与充填性能都比  $\text{Cr}_{21}\text{Ni}_{11}\text{W}_{2.5}$  好。另外，用快干砂螺旋試样  $\text{Cr}_{21}\text{Ni}_{11}\text{W}_{2.5}$  比  $\text{Cr}_{21}\text{Ni}_{11}\text{W}_{2.5}$  与 30J1 好，可想而知  $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$  在同样条件下亦比 30J1 流动性好。(如图 2、图 3)。

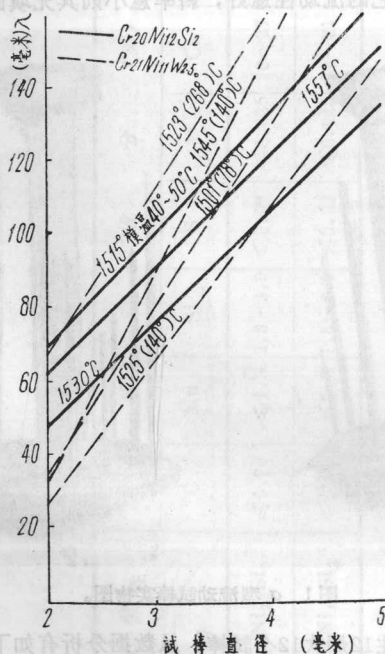


图2 快干型浇注  $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$  与  $\text{Cr}_{21}\text{Ni}_{11}\text{W}_{2.5}$   $\alpha$  型試棒的比較。

## (2) 加工量和补正量

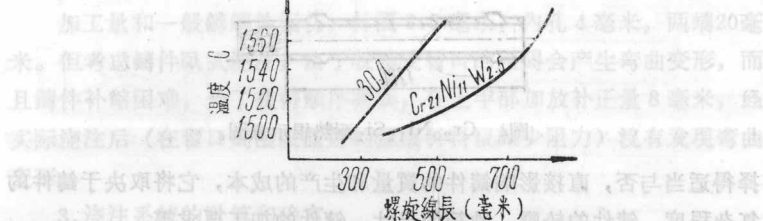


图3 鋼30CrNi11W2.5 澆注螺旋試棒的比較。

## 2. 线收缩:

线收缩值对铸件质量, 尺寸精度影响很大, 铬镍钢的线收缩与碳、铬、镍含量及組織有关。根据资料介绍奥氏体型铬镍钢的线收缩为2.5~2.85%。我們采用棒型試棒共澆注了七个試棒, 測量結果为1.75~2.35%, 比其他奥氏体铬镍钢略低。主要是由于成分中有較高的碳化物, 其組織处于介稳定状态, 而約有5%的铁素体, 在冷却过程中生成一定数量的 $\sigma$ 相, 这些因素都会促使收缩前产生膨胀, 因而降低了鋼的总线收缩值。

## 3. 体收缩:

虽然做了总体积收缩值的测定, 但由于次数太少, 只能作为参考, 約为5.87%, 但总的來說铬镍钢澆注温度高、澆注速度大、导热性差、而在接近結晶温度时迅速凝固, 不能很好的补缩, 所以形成缩孔和缩松的傾向大。另外, 曾对补缩距离也做过一些試驗, 发现其补缩距离很短, 一般碳素鋼的冒口补缩距离約为四倍热节, 而 $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$ 鋼澆注 $300 \times 100 \times 50$ 毫米<sup>3</sup>长方形試块, 单头按放冒口, 实际测得补缩距离約1.5~2倍热节。因此对铬镍鋼的冒口使用不但要考虑其补缩量, 而且也得注意其补缩距离。

# 三、鑄造方法

以 $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$ 耐热鋼为例, 如图4所示:

## 1. 选择澆注时鑄型的位置:

确定澆注时鑄件的位置, 是工艺过程中最重要的一个关键, 位置选



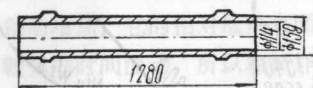


图4  $\text{Cr}_{20}\text{Ni}_{12}\text{Si}_2$ 耐热辊示意图。

择得适当与否，直接影响铸件的质量和生产的成本，它将取决于铸件的复杂程度、铸件的轮廓、砂箱的尺寸、铸件的加工要求等。

根据耐热辊的形状和尺寸，考虑到冒口的补缩条件、生产的经济性以及得到优良铸件的条件，选择了二种工艺方案，作为对比，最后确定生产。

(1) 立式浇注：

优点：①冒口补缩条件好，铸件组织较致密；②气体和夹杂物能上浮集中到冒口内去。

但是，由于铸件壁薄又高，为了达到顺序凝固，使冒口充分发挥补缩作用，必须在内外圆放一定量的补缩斜度，因而带来了不少的缺点。

缺点：①增加了造型工时；

②由于内外圆都放斜度，泥芯散热条件大大减弱，造成严重的粘砂，给清砂带来困难；

③由于补缩斜度大，钢水用量约增加30%左右，浪费了钢水；

④大大增加了机械加工余量。

(2) 卧式浇注：其优缺点和立式浇注相反。

一般来讲，对技术要求高的筒、管形零件采用卧式浇注是不太合理的，特别是铬镍高合金钢的补缩条件差，极易氧化，浇注温度又高，无论对产生缩孔、缩松、气孔、夹杂等铸造缺陷均是不利的。但是经过生产实践证明，只要在工艺上采取相应的有效措施，是可以防止缺陷产生而获得优良的铸件的。因此，采用了后一种工艺方案进行生产。

## 2. 工艺参数的选择：

(1) 缩尺：按照零件形状和壁厚情况来考虑冷凝中的线收缩是比较大的，因型腔和泥芯对收缩阻力不太大，所以我们根据资料 and 试验的数据综合考虑，选取缩尺3%，实际测定也符合工艺规定。

## (2) 加工量和补正量:

加工量和一般鑄鋼件相仿，外圓 8.5 毫米，內孔 4 毫米，兩端 20 毫米。但考慮鑄件臥式澆注，由於收縮受冒口的阻礙會產生彎曲變形，而且鑄件補縮困難，為了獲得順序凝固，在上半部加放補正量 8 毫米，經實際澆注後（在冒口周圍設置好的退讓材料以減少阻力）沒有發現彎曲變形。

## 3. 澆注系統的計算和確定:

澆注系統尺寸和位置的布置，也是鑄造工藝上重要的一環，選擇不當，容易產生鑄造缺陷，特別是耐熱鋼，由於氧化膜而產生的皺紋及氣孔就更多，一般根據碳素鋼的經驗來考慮。

由於泥芯細而長，不能受鋼液的衝擊，當鋼液澆入時，澆注系統要保證鋼液不產生漩渦和飛濺，所以澆口由零件的二端引入，如圖 5 所示。但實際試澆二根以後，經加工解剖和 X 光檢查，發現上半圓中部有氣孔存在，而在孔穴中表皮有一層氧化膜，後經化驗分析有含量較高的  $\text{Cr}_2\text{O}_3$ ，澆口位置不太合理。為了使鋼液充滿型腔後不致馬上停頓而凝固，使鋼液中的夾雜能迅速地上浮到冒口中去，所以改由切線方向引入，如圖 6 所示。澆注後再經加工拍攝照片檢查，比較滿意，氣孔和夾雜基本消除。

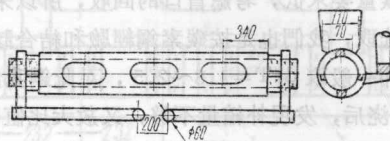


圖5 兩端引入的澆注系統圖。

澆注系統的計算是根據一般鑄鋼件經驗稍加修正，但根據鉻鎳鋼的性能，要加快澆注速度，若澆口截面均按封閉式予以增大，一則浪費了金屬液，更重要的是噴射力加強，在兩側澆注時，易產生飛濺現象和損壞泥芯，所以改變封閉式為不封閉式的澆注系統。該澆口的最大特點是最初液流的速度不受金屬液運動速度和內澆口面積的限制，而是由橫澆口金屬液的高度來決定。不封閉式橫澆口在開始時是不會充滿的，因而



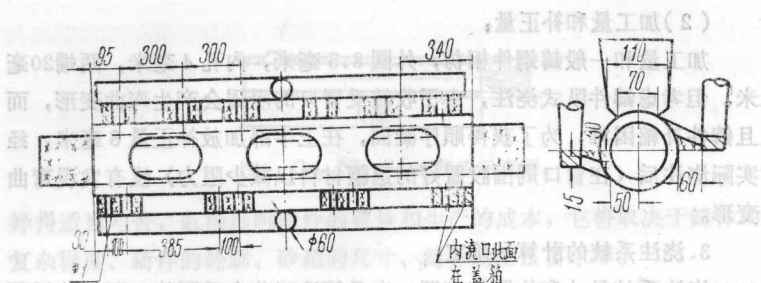


图6 两侧切线方向引入的浇注系统。

内浇口的金属液初流速度会降低，但流量由直浇口来限制，所以浇注系统比例为  $F_{直浇口} : F_{横浇口} : F_{内浇口} = 1 : 1.1 : 1.2$ 。

#### 4. 冒口尺寸的确定：

冒口的计算，到目前为止，还没有一个既简单又可靠的办法，我厂对一般铸钢件的计算，均按零件的冷却条件和  $d/T$ （冒口直径/热节）关系来确定的，最后再以补缩量来核对其合理性，冒口的形状多数采用圆柱形的，数量也按补缩量和补缩距离来决定。

冒口的位置以臥浇設在上部最为合适，除有补缩排气作用外，还有集渣作用，使铸型上面的夹杂物在浇注过程中能顺利地 向冒口集中上浮。由于此钢含碳量要求低，考虑冒口的回收，所以采用一般明冒口。

冒口尺寸的选取，我們也是按碳素钢經驗和結合該鋼之特性来考虑的，碳素钢薄壁件一般取  $d/T = 1.8 \sim 2.5$ ，对此钢我們选取  $d/T = 2.5 \sim 3.0$ ，但实际試浇后，发现补缩量不够，又放大比值为  $3.0 \sim 3.3$ ，才满足了铸件补缩的要求。冒口高度取直径的二倍。

冒口形状开始使用圓的，浇注后冒口下并没有缩孔，而在两只冒口中間缩松严重，因此就考虑到該鋼的凝固特性，又补做了一些补缩距离試驗，发现冒口的补缩距离很短，不足碳素钢的一半。所以后来就改变其形状为长圆形来增加冒口的延續度，根据补缩距离实际的延續度取为  $60 \sim 70\%$ 。

以上冒口从铸件来看是达到了无缩孔的要求，但从工艺出品率来看，仅达到  $44\%$ ，经济效果很差，到底是否合理，可按以上試驗的体收

縮量作一核算：

鑄件重量170公斤，體收縮率5.87%，則鑄件需補縮的鋼液為 $170 \times 5.87\% = 9.98$ 公斤。

冒口总量140公斤（按尺寸計算）除去本身的收縮8.2公斤外，實際重量為131.8公斤。

冒口之補縮效率約為10%，則有 $131.8 \times 10\% = 13.18$ 公斤鋼液可以補縮鑄件。

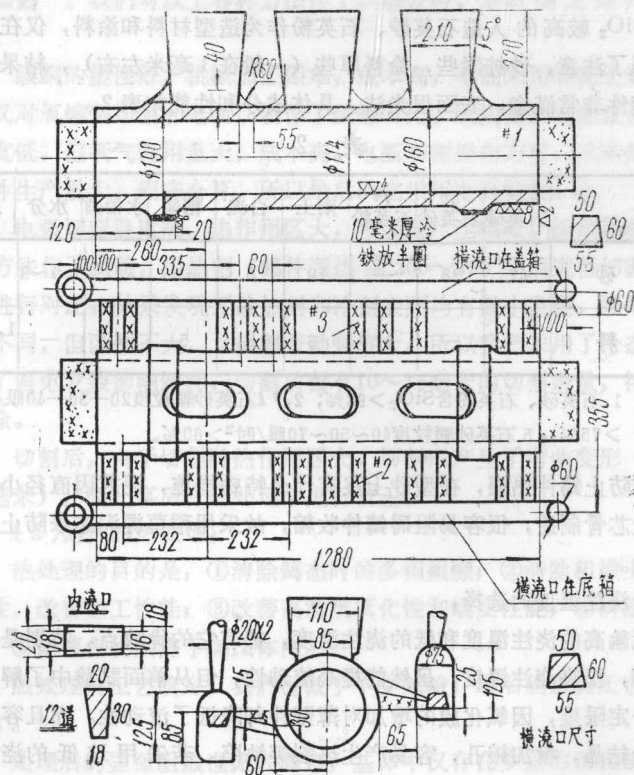


圖7 正式生產的鑄造工藝圖。

从此計算結果看来，虽被补量大于需要量，但安全系数也不过大，所以还是合理的，但反映了該鋼种的成品率較低。

鑄造工艺图，如图 7。

### 5. 鑄造用砂和涂料：

铬镍鋼的浇注溫度較高，粘砂缺陷也随之容易产生，所以一般对选用造型材料也非常注意，很多资料提出可选用大顆粒型砂和铬矿粉，鉻砂粉涂料，来提高其抗高溫的性能，防止鑄件粘砂的表面缺陷。

但是我厂由于条件限制，仍和一般碳素鋼一样，采用干型造型，使用含  $\text{SiO}_2$  較高的人造石英砂、石英粉作为造型材料和涂料，仅在操作上加强了注意，砂桩紧些，涂料厚些（一般在 1 毫米左右），結果所浇注的鑄件非常满意，表面很光洁，具体成分和性能如表 2。

表 2

| 成 分<br>砂 种 | 4#<br>石英砂 | 5#<br>石英砂 | 7#<br>石英粉 | 陶土 | 白泥 | 糖浆 | 水柏油 | 水分    | 比重          |
|------------|-----------|-----------|-----------|----|----|----|-----|-------|-------------|
| 型 砂        | 47        | 38        | —         | 10 | 5  | —  | —   | 7.5~9 |             |
| 涂 料        | —         | —         | 82        | 6  | 3  | 5  | 4   | —     | 1.3~<br>2.0 |

注：1. 石英砂、石英粉含  $\text{SiO}_2 > 98\%$ ；2. #4 石英砂顆粒度 20—30—40 眼/时<sup>2</sup>  $> 75\%$ ，#5 石英砂顆粒度 40~50~70 眼/时<sup>2</sup>  $> 60\%$ 。

对防止鑄件热裂，在型砂上没有什么特殊措施，泥芯因直径小，若用一般芯骨制造，很容易阻碍鑄件收縮，故采用稻草繩泥芯来防止热裂的产生。

### 6. 浇注溫度的选择：

無論高的浇注溫度和低的浇注溫度，都有它的优缺点。特別是铬镍合金鋼，提高浇注溫度，虽然能提高流动性，但从前面試驗中了解，溫度到一定限度，因氧化膜的增加对薄壁件却降低了流动性。而且容易生成粗大結晶，增加縮孔，容易产生热裂等缺陷。若采用过低的浇注溫度，則降低了鋼液的流动性，对鋼液內气泡如非金属夹杂的排除带来了困难。所以适当选择浇注溫度，对此鋼种更显得重要。

我們根据流动性試驗的数据，取实际浇注温度为  $1460\sim 1480^{\circ}\text{C}$ （光学高温計讀数未校正），效果很好，生产中未曾发现过因浇注温度过高、过低而带来的鑄造缺陷。

#### 7. 鑄后的处理：

（1）浇冒口的切割：鉻鎳高合金鋼的切割是非常困难的，由于鋼内含鉻量高不易氧化，特别是气制的热作用区小，所以无法割断，一般均采用电弧切割或机械切割。近几年来也有采用“等离子切割”和“氧熔剂切割”。我們对以上各种方法作了試驗分析，最后确定采用电弧切割。

該鋼的塑性好，机械加工困难，成本高，不能采用等离子切割，我們仅对氧熔剂切割和电弧切割作了試驗对比。氧熔剂切割速度快，劳动强度低，但氧气耗用量大，成本高。电弧切割操作方便，成本低，因为零件生产量大，經濟合算，所以最后决定采用电弧切割。

电弧切割温度高，热作用区大，可能会产生裂紋。所以我們又对切割方法作了試驗，用热割（鑄件預热到  $200\sim 300^{\circ}\text{C}$  后进行切割）和冷割进行对比，結果发现無論热割和冷割表面均有微小发裂，裂的程度虽有不同，但区别不大，且热割劳动强度大。所以我們采用了冷态切割，为了避免发裂影响鑄件，切割后留有  $10\sim 15$  毫米的切割余量，待加工时去除。

切割后，由于切割时热作用区大，切割后产生了弯曲变形（約  $5\sim 10$  毫米），因此事后在热处理中进行校正。

#### （2）鑄件的热处理：

热处理的目的是：①清除鑄态时的多相組織；②清除組織上的不均匀性，改善加工性能；③改善高温抗氧化性和蠕变性能；④清除鑄造应力；⑤使碳化物固溶于奥氏体内。

热处理的工艺确定，我們也做了不少試驗，最后确定的工艺曲线如图 8。

处理后的显微組織也比較滿意，基体中仅存在少量的碳化物和  $\delta$  鉄素体。

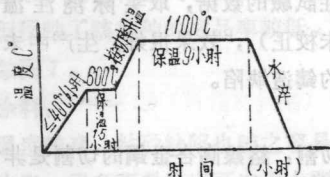


图8 热处理工艺曲线图。

#### 四、結 束 語

经过几年来的生产实践和試驗，对奥氏体型铬镍高合金鋼的鑄造性能和工艺，虽然摸到了一些数据和經驗，但还是微不足道的，尚需繼續加强試驗研究，并結合生产实践，摸索出一套完整的性能和工艺数据。另外我們的質量还不够稳定，加工中發現尚有不到20%的零件存在鑄造缺陷，经焊补后，抗氧化性降低。所以要彻底消除鑄件缺陷，延长軋子的使用寿命，离心鑄造是今后发展的方向。

523-7  
81  
406186  
資料

