

大型铸锻件文集

第 三 期

上海重型机器厂情报室编

一九八八年

12% 铬钢 转子 锻件的 制造

木下修司, 高野正义等

摘 要

用电渣重熔钢锭制造了高压和中压的12%铬钢的转子锻件。这种转子锻件有极好的机械性能, 包括断裂韧性和蠕变断裂等。这些良好的内在质量, 高的化学成份均匀性以及优异的机械性能都是因为采用了电渣重熔工艺。并且还证明了在转子轴颈处的堆焊焊缝的性能也极其优良。

前 言

近年来, 在日本, 计划新建的火力发电厂中多数发电厂, 为了提高热效率, 有采用566℃再热蒸气温度的倾向。另一方面, 核电站占的比例越来越高, 在火力发电厂里, 甚至大容量的机组也希望能采用每天启动和停机(DSS), 或者能适用于峰值负荷使用, 所以强烈要求提高载荷的随动性。对作为这种发电厂的汽轮机的高压和中压转子材料来说, 与原来使用的CrMOV钢相比, 可以说12%Cr钢更为适合, 因为该材料的蠕变断裂强度, 高温低周期疲劳强度, 韧性等方面都优于原来的材料。

但是, 12%Cr钢用过去的电炉熔炼法来制造存在下列问题:

- 1) 以铬系氧化物为主的夹杂物凝集在钢锭底部, 容易产生超声波缺陷。另外, 有材料缺口强度下降的危险。
- 2) 钢锭底部会产生少碳负偏析, 这个地方就有 δ 铁素体析出, 不能获得足够的强度和韧性。这些问题将成为制造大型转子时的障碍。为了解决这些问题, 寻求了各种方法, 但其中最有效的方法之一就是电渣重熔法。

用电渣重熔法制造12%Cr钢和CrMoV钢的汽轮机转子的例子在西德和美国都有报导, 也已经有相当好的实际运转成绩, 但是, 在日本还没有这样的例子。

另外, 使用12%Cr钢做转子时, 轴承轴颈部容易发生所谓的烧熔问题, 对付这个问题的措施有: 用别的材料做的套筒热套在这个部位上或在轴颈表面进行堆焊等方法。特别是堆焊方法, 由于能整体制造包括联轴节法兰在内的整体转子, 所以它是一种可靠性较高的方法。不过, 关于12%Cr钢转子轴颈部的堆焊, 在西德也有实际例子, 在日本还没有实际例子。

因此, 首先要以确立用电渣重熔法制造12%Cr钢转子的技术和轴颈部堆焊技术为目的, 试制12%Cr钢的100万瓩级的中压转子并进行可靠性试验, 而后确立了采用电渣重熔法制造转子技术和轴颈部的堆焊技术。本文叙述了关于采用这种技术制造的高压及中压转子的特性。

1、用电渣重熔法制造12%Cr钢转子。

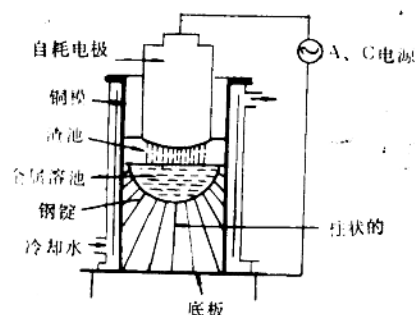
1.1. 电渣重熔法

这种方法是，把按通常方法熔制的钢锭作为一方电极，把水冷结晶器作为另一方电极，在两方电极之间放置起精炼作用的渣并通电。利用渣发生的焦耳热再熔化钢锭。图1所示的是电渣重熔的概图。

这个方法具有下列特征。

1) 熔化的金属通过渣时，大的Cr系氧化物由渣吸收除去，同时，其它的氧化，硫化系夹杂物也明显减少。

2) 由于通过渣的钢水在水冷铜结晶器内被迅速冷却并定向凝固，所以非金属夹杂物细小分散，组织致密，难以发生偏析。因此，采用电渣重熔法是解决上述问题的最好方法，同时还提高了合格率。用电渣重熔的钢锭制造转子具有清洁性和均质性等优点，在使用上预期有较高的可靠性。



1.2. 技术问题及措施

在用大型电渣重熔钢锭制造12%Cr钢转子上存在的技术问题以及解决这些问题的措施叙述如下。

由于受化学成份和锻造加热温度的影响，12%Cr钢中会出现有损于韧性的铁素体，为了不使其出现这种铁素体。调整其化学成份和锻造加热温度。

制造1000或1350mm直径的大型

12%Cr电渣重熔钢锭时要注意下列几点。1) 制造脱气彻底的低氢电渣，采用电渣重熔的热起动机法和惰性气氛熔解以防止吸氢。2) 为了减少对高、中压转子的蠕变断裂有不利影响的Al量，要尽量采用电渣重熔的渣系的合适成份。3) 为了制造均质而且健全的钢锭，要保持低速，稳定的熔解。

2. 轴承颈部堆焊

2.1. 技术上问题及对策

为了防止轴承轴颈部的咬住和烧熔，在其表面堆焊热传导性良好的低合金钢，但是，考虑到焊接的第一层必须与母材熔透，所以采用低碳钢。

在焊接中，必须抑制焊接部分的低温裂纹和包渣，气泡等焊接缺陷的发生。12%Cr钢的相变点低，淬透性非常好，所以恐怕有产生热影响部分的低温裂纹的危险。因此，为了防止低温裂纹，把预热温度设在220℃以上，把后热温度设在300℃以上。另外，为了防止包渣和气泡等焊接缺陷的发生，进行了焊接电流，电压，焊炬的角度，焊接速度等问题的研究，掌握合适的焊接条件。

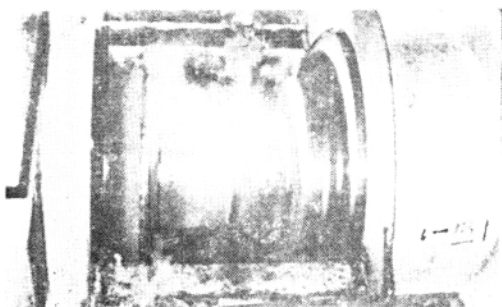
2.2. 焊接方法

表1列出了焊接条件。焊接时，一面转子在旋转辊道上旋转，对轴颈部作保温。一面用自动焊接装置进行焊接，轴颈部的焊接情况示于照片1。

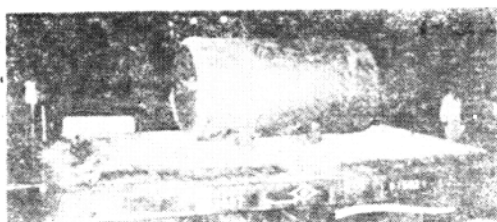
堆焊全部结束后，用电炉马上进行300℃的后热处理，渐渐冷却到80—120℃时，为了减少残余应力，接着进行650℃的消除应力退火。

表1 轴颈区堆焊条件

1. 焊接方法	气体保护金属弧焊
2. 焊丝	低碳钢 12%Cr钢
3. 预热温度	220—350℃
4. 层间温度	220—350℃
5. 脱氢处理的温度	300℃ × 2 小时
6. 焊接电流	220—270安培
7. 焊接电压	28—32伏



照片1 轴颈部堆焊情况



照片2 中压转子用的电渣重熔钢锭(28吨)

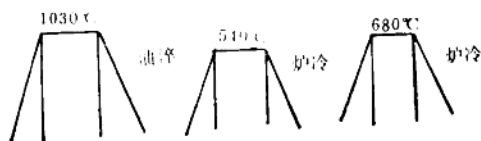


图2 12%Cr钢转子的调质曲线

3. 12%Cr钢转子的制造

高压和中压转子分别用直径为1000mm, 重量为18吨以及直径为1350mm, 重量为28吨的电渣重熔钢锭制造。中压转子用的电渣重熔钢锭示于照片2。

这些钢锭加热, 不使其生成 δ 铁素体, 接着用13000吨水压机锻粗锻造, 高压转子筒体部直径锻造成800mm, 重量为12吨, 中压转子的筒体部直径锻造成1055mm, 重量为19吨。锻造后, 进行机械加工, 接着超声波探伤, 在确认转子内部无缺陷后再进行淬火和回火。调质曲线示于图2。也就是说, 在1030℃奥氏体化以后, 进行油淬, 为了让残留奥氏体分解, 在540℃下进行第一次回火, 在680℃下再作第二次回火, 从回火温度开始的冷却采用炉冷, 目的是减少残余应力。

对转子本体的检查结束后, 加工坡口, 以便进行轴颈部堆焊, 再对坡口部作非破坏性试验, 确认质量后, 进行堆焊。

4. 12%Cr钢转子的性能

4. 1 转子本性的性能

4. 1. 1. 非破坏性检查和热稳定性试验结果

无论从外周或中心孔进行超声波探伤检查, 磁粉探伤检查, 都没有查出任何缺

陷。这表示，在非破坏性检查中屡屡出现的氧化物系夹杂物，在用电渣重熔法制的转子里很难出现。

在650℃的保温温度下进行热稳定性试验，转子轴心的振动在计测极限以下，由此，也说明了这个转子的匀质性。

4. 1. 2、化学成份及金属组织

中压转子各部位主要成份的检查分析结果示于表2。比较容易产生偏析的C（碳）在顶部有若干高值，但是，尽管是大型钢锭，其分散的幅度不超过0.02%。另外，在筒体部的半径方向上C偏析几乎没有，而且C以外的其他成份的偏析也几乎没有，所获得的是一根非常均质的转子。

对转子各部位的金属组织进行了调查，但在各个部位都显示出均一的回火马氏体，晶粒的大小也在ASTM. G. S. No3—4的范围内，而且是均一的。

表2 中压转子的检查分析值（重量%）

	碳	硅	锰	磷	硫	镍	铬	钼	钒	锡	砷	锑	铝
电渣重熔后	0.220	0.08	0.46	0.014	0.001	0.40	11.13	1.00	0.26	0.002	0.003	0.0011	0.005
顶部的中心区	0.240	0.05	0.46	0.015	0.004	0.40	11.38	1.03	0.27	—	—	—	<0.001
底部的中心区	0.220	0.07	0.45	0.013	0.002	0.38	11.34	0.98	0.26	—	—	—	<0.001
圆柱体的表面	0.220	0.06	0.46	0.014	0.003	0.39	11.13	0.99	0.27	0.002	0.003	0.0011	0.002
圆柱体的1/4处	0.220	0.06	0.46	0.015	0.004	0.40	11.28	1.00	0.27	0.002	0.003	0.0012	0.002
圆柱体的中心部	0.220	0.06	0.46	0.014	0.003	0.39	11.18	0.99	0.27	0.002	0.003	0.0013	0.002

清洁度试验的结果表明，在用ASTM法进行重系列分类中没有看到任何硫化物，氧化铝，轻氯化系等的夹杂物，特别是，没有一点轻氯化系夹杂物存在，与老法制造的转子相比有明显的差别。

对转子两端面进行硫印试验和宏观组织观察，在硫印试验中没有检查出硫，在这点上与传统转子相比也显示了很大的不同。在宏观组织中，认为完全不存在宏观偏析，晶粒离散，未压实的气泡及裂纹等异常现象。

4. 1. 3. 张力和冲击特性

从转子的圆柱体端面，按“T”（切线）方向切取试验片，进行张力和冲击特性试验，其结果示于表3。T₁为顶侧端面，T₂为底侧端面。显示出充分满足张力特性和冲击特性的良好性能。由位置引起的偏差也小。

在圆柱体部位做长尺寸件张力试验。这是以从转子表面到中心或对面表面，通过径向心的全长制作一根长试验片，进行的张力试验。

这个试验特征是，容易求出因转子内部夹杂物，偏析等而引起的最弱点的强度及其位置以及强度分布。表4是该试验的结果。该结果表明，由位置引起的强度差异非常小，而且，具有电渣重熔的均质特征，是一根均质的转子。

表3 张力和摆锤式冲击试验结果

	位 置	0.2% 屈服点 kgf/mm ²	抗拉强度 kgf/mm ²	延伸率 %	断面收缩率 %	摆锤式冲击功2vE ₂ kgf/mm
高 压 转 子	T ₁	64.2	82.7	18	44	3.8 3.8 3.8
	T ₂	63.7	81.4	18	45	4.0 3.8 4.0
中 压 转 子	T ₁	61.3	81.4	18	43	3.8 3.8 4.3
	T ₂	61.3	80.5	18	44	4.0 4.0 4.8

T₁: 圆柱体顶侧T₂: 圆柱体底侧

表4 长尺寸件抗拉试验结果

	0.2%屈服点 kgf/mm ²	断裂 次序	抗拉强度 kgf/mm ²	延伸率 %	断面收缩率%
高 压 转 子	66.0 (100)	1	82.6 (90)	17	43
	65.3 (180)	2	83.2 (290)	18	39
	65.8 (290)	3	84.0 (200)	18	41
中 压 转 子	63.6 (100)	1	80.6 (90)	17	44
	63.5 (270)	2	82.3 (180)	17	41
	64.5 (450)	3	82.3 (340)	17	41
	—	4	82.3 (450)	17	36

() : 离表面的距离 mm

4. 1. 4. 断裂韧性

从转子的中心取试验片, 在25、60、120℃下做断裂韧性试验(J_{Ic})。采用下列方程式, 把J_{Ic}转换成K_{Ic}。

$$K_{Ic} = \sqrt{J_{Ic} \cdot E / (1 - \nu^2)}$$

E, 杨氏模量(纵弹性模量)

ν, 泊松比

图3所示的是该试验的结果, 与这个钢种的以前材料值相比(在同图里同时示出), 具有高的K_{Ic}值。

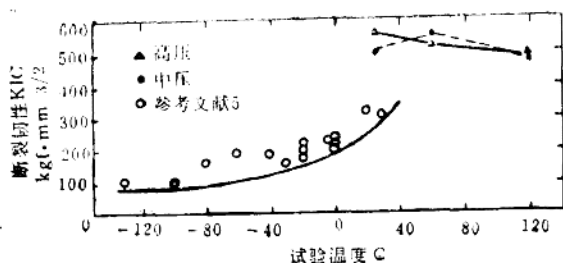
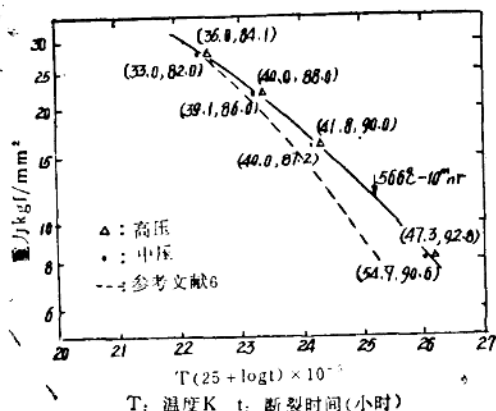


图3 断裂韧性试验结果

图4 蠕变断裂性能



T: 温度K t: 断裂时间(小时)

4. 1. 5. 蠕变断裂特性

从转子圆筒端面切向的切线方向切取试验片, 进行蠕变断裂试验, 其结果示于图4, $566^{\circ}\text{C} \times 10^5 \text{hr}$ 的蠕变断裂强度的外推值为 11.5kgf/mm^2 , 可以说有足够的蠕变断裂强度。另外, 甚至与包括小型钢材也在内的这种钢种的以前数据的下限值相比, 也具有相当高的值。而且, 在蠕变断裂延伸率方面, 延伸率为30%, 断面收缩率为80%以上, 显示了良好的性能。

4. 2. 堆焊处的性能

4. 2. 1. 非破坏性检查结果

在磁粉探伤和浸渗探伤检查中, 在堆焊处的整个表面上, 没有检出裂纹等有害缺陷。在 4MHz 下, 用2分割垂直法, 45° 斜角法, 70° 斜角法进行超声波探伤检查, 评价是按照平均曲线。其结果表明, 转子母材侧的热影响区和接界区没有缺陷, 焊接金属区也没有一点有害的缺陷。

4. 2. 2. 化学成份, 硬度及金

属组织

为了弄清楚轴颈堆焊处的性能, 在图5所示的位置上, 用与轴颈处相同的条件进行堆焊。然后进行检查分析, 并测定硬度和研究金属组织。

关于堆焊部的焊接金属的化学分析, 初层部由于受母材稀释的影响, 所以Cr的含量较高, 但重叠层就比较低, 表层处为0.2% C, 1.25% Cr, 的低合金钢成份。

断面硬度分布如图6所示, 热影响区为HV250~260, 接界区为HV270~300, 焊接金属区为HV230~280, 为这种钢种的通常硬度。

微观组织的观察结果表明, 热影响区是回火马氏体组织, 焊接金属区是铁素体和珠光体的混合组织, 另外, 接界区没有异常碳化物, 都呈现

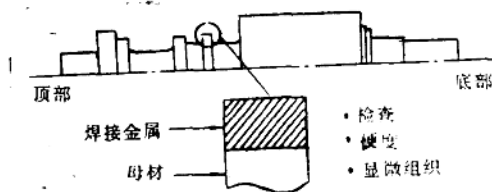


图5 堆焊的调查位置

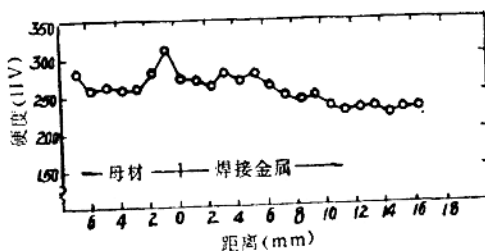


图6 中压转子堆焊处的硬度

出细微的，均一的正常组织。宏观组织也是正常的。

4. 2. 3. 残余应力

用X射线测定堆焊部表面的残余应力。残余应力在圆周方向上是 14.6kgf/mm^2 的拉伸应力，在轴方向上为 17.0kgf/mm^2 的拉伸应力。对目标值在 30kgf/mm^2 以下来说，这个值是个相当宽裕的值。

结 论

采用电渣重熔法制造12%Cr钢的高压及中压转子并对这种转子进行了各种试验，根据试验的结果确认，这种转子有良好的性能。尤其是，它具有电渣重熔钢的特征，非金属夹杂物非常少，化学成份和机械性能方面也显示出极好的均一性。另外，轴颈堆焊处也取得了良好的性能。

吴多云译

吕敏尤校

译自《神户制钢技报》V37 N2 1987

自由锻造的质量最佳化

Ekhard Siemer

目的：为了提高高合金钢锻造加工的经济性，必须优化锻造过程，改善锻件质量。为此，塑性成形研究所根据实验和理论研究编写了若干标准，以及制订了锻造装置测量和控制技术的方案。

小结：本文研究了用平钻拉伸方型钢锭时在工具和锻件的接触表面及其心部区域的材料流动。由于在钻子半径范围内的局部最大延伸率（可达到平均延伸率的好几倍）的迭加，难以变形的材料经几次过锻，可能产生边缘裂纹和表面裂纹。

相对送进率 SB/h_0 对锻件心部的变形率分布有很大的影响，经分析研究得出，对最佳相对送进率的问题存在相应的倾向，但是大致为 $SB/h_0 = 0.5$ 的范围是个很好的折衷。通过一定的错开送进锻造，锻件的质量可获得另外的改善。

技术装备

引言。近几年里，金属成形加工企业对软技术系统的应用正在增加。用计算机控制的自由锻造就是其中的一个实例。这是一种非完全成形的金属加工法，即用较简单的锻模也可锻造出复杂形状的锻件。此外，锻模形状、压机行程、相对送进率、锻模速度等的工艺参数的变化和可能附加的加热或冷却装置，都可影响到金属成形的某些特性参数：变形量 ϵ ，变形速度 $\dot{\epsilon}$ ，温度 ϑ 和应力 σ ，并因而最终影响到材料性能（详见图1）。

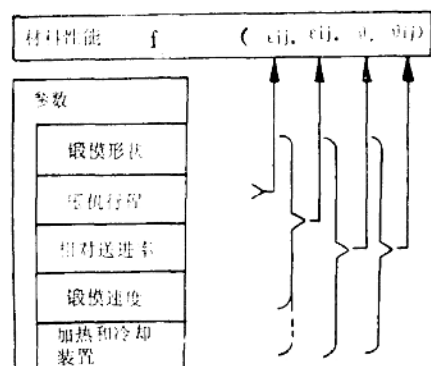


图1 锻造工艺对自由锻造的影响

的额定值。所测出的实际值，部分反馈到通常的调节回路，并通过测量值的测取予以处理，作为过程数据记录。

一台配备有过程扩大控制装置和测量值测取装置的全自动锻造机可供塑性成形研究所（IBF）对锻造过程进行实验研究之用。

测量和控制技术。锻造装置的系统结构分为三个层次，详见图2。在最上面的是自由编程计算机，带有供软件操作的外围设备和测量值测取系统。在选定某种锻造工艺（如旋转锻造法或平锻法）和确定质量标准后，通过锻造过程的模拟编制锻造程序。控制计算机根据由上述得出的道次数据（NC—数据）计算出过程指令参数

现粘附现象。局部延伸率 $\lambda_R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ 的最大值取决于有关的压下量和相对送进率。

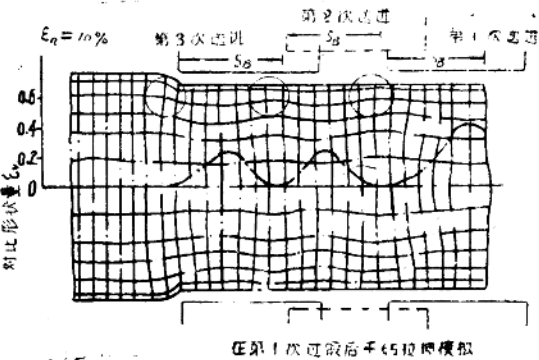


图4 适合延伸过程的扭曲的FE网络

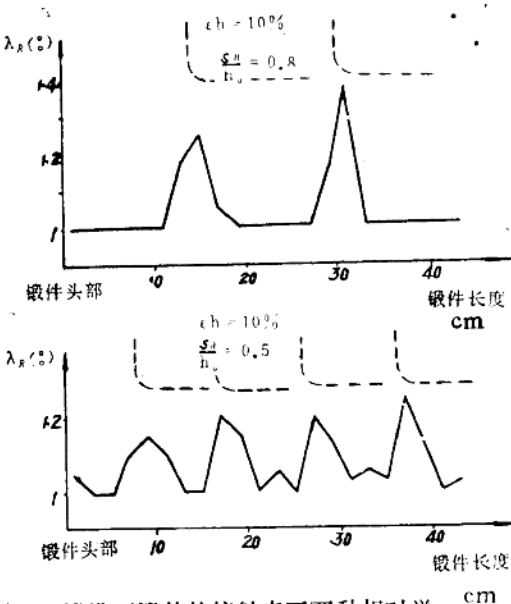


图5 锻模／锻件的接触表面两种相对送进量的局部延伸率沿锻件上的分布

送进锻造。使用这一锻造法时，没有出现如此突出的 $\lambda_R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ 峰值。因此，通过用错位进给的拉伸可以进一步避免局部最大延伸率的叠加。

这一试验研究是用一根低合金碳素钢和一根高合金工具钢的锻件进行的。即使是在故意低于允许的变形温度的情况下，也未能观察到裂纹，这就是说，这两种材料即使在临界范围内进行锻造，也不会超出它们的变形性能。为了能够证明裂纹形成是可以再现的，选用了一

如果钻子半径范围内的几次过锻总是在钢锭的同一个区域，那会产生什么结果，这是人们所感兴趣的问题。这会由于局部延伸率的叠加而产生引起上述缺陷现象的最大变形值吗？为了研究这一问题，按照平锻法，通过多次过锻，锻件横截面以阶梯形减小。考虑到延伸的情况，第一根钢锭的试验，是要把一次行程的送进极限尽可能精确地定在这之前已过锻的那个送进极限的位置上，见图6。

由于局部延伸率的叠加，在锻件的平均延伸率为 $\lambda_R = 1.74$ 时，钻子半径的影响区内出现的延伸率最大值为 $\lambda_R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 6$ 。而在锻模／锻件接触面上的延伸率可能为 $\lambda_R \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix} = 1$ ，所以对粘合情况要加以估计。第二根钢锭是在一般相同的边缘条件下，也就是避开这一送进边缘对另一送进边缘产生影响的情况下，用错开

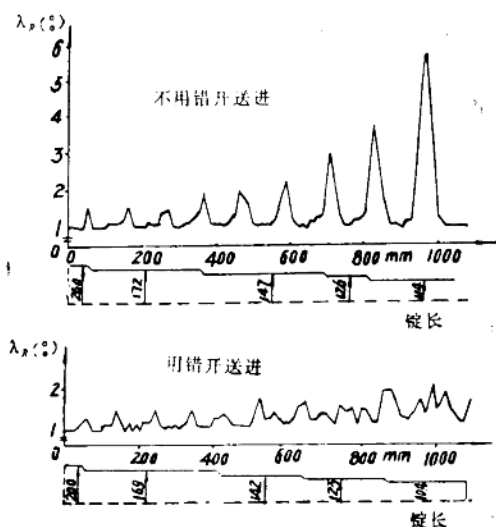


图6 错开和不错开送进锻造锻模/锻件接触面上的局部延伸率沿阶梯式锻件的分布

种难以变形的铝合金，代表变形性能很低的材料。在锻造这种材料时，在事先规定的锻件位置上肯定会产生边缘裂缝和表面裂缝，而在相同的边缘条件上，采用错开送进给锻造，则可避免产生这类缺陷，详见图7和8。

心部形状变化过程。锻件质量另一个很重要的特征参数是心部范围的锻透状态。为了通过实验进行分析，在锻件的纵向轴线上装有销钉，见图9。

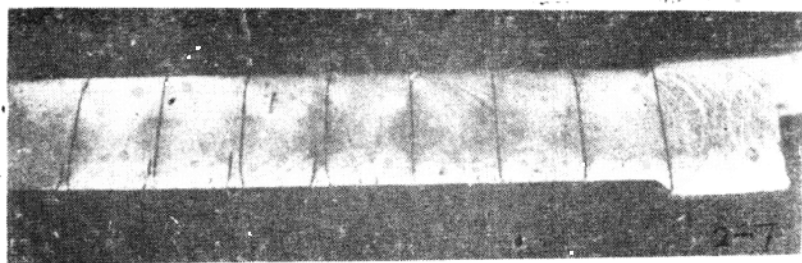


图7 锻压难变形铝合金AlMgSi由于局部最大延伸率叠的加而产生的边裂



图8 边裂断面放大

过锻后，通过销钉的变形测出变形度 ϕ_A 心部。图10示出了在一种送进宽度内 心 部上辗透的不均匀分布。随着相对进给率和压下量的逐渐加大，送进中心的变形最大 值 也 随之增大。图11说明了这一关系。为了与测得的数值作比较，又示出了二次元有限元（FEM）计算的结果。这种计算采用了二次元物质流动。最好是采用小送进量和小相对进给率，因为在这两种情况下进行拉伸锻造时可以不展锻。

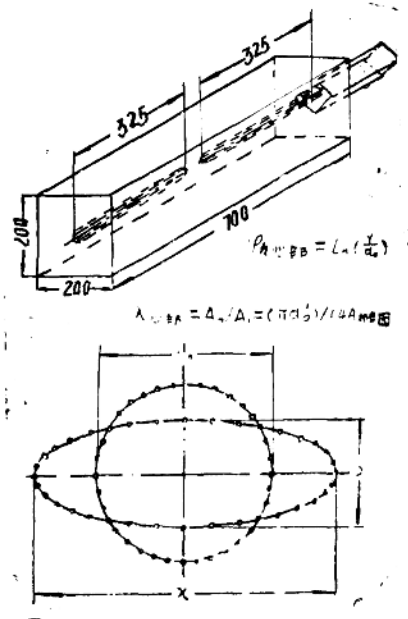


图9 研究心部材料流动的标准锻件和所测得的心部范围的变形度

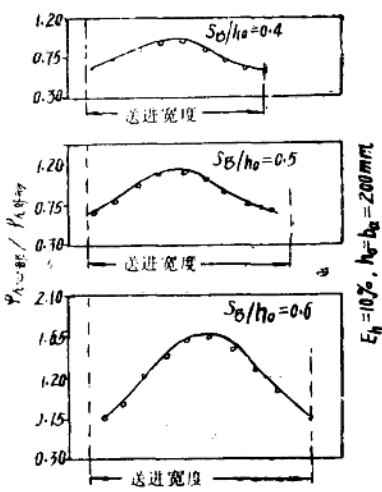


图10 对三种不同的相对进给率心部在送进宽度上的变形分布

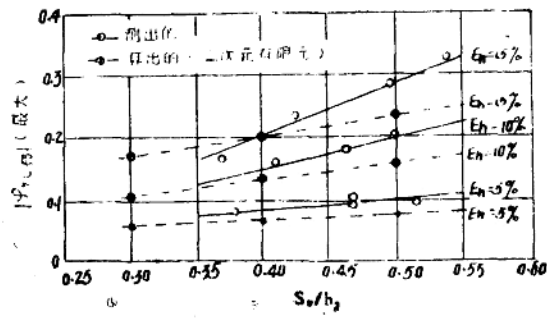


图11 测出和算出的心部形变作为相对进给率和压下量的函数的比较

在分析有关最佳相对送进率的问题时，可清楚地看到，不仅是在有关心部锻透的疑难问题方面，还是在有关延伸率在材料表面的分布方面都存在相反的倾向，见图12。一方面，大的相对进给率对送进中心的心部最大限度的锻造是有利的，另一方面，大的相对进给率却使心部区域锻得极不均匀。 $\lambda_r \begin{pmatrix} 0 \\ 0 \end{pmatrix}$ 的分布也有类似的情况。大的相对进给率使锻件表面局部延伸率的最大值上升，但同时也可以进错开送进锻造，以避免局部延伸率最大值的叠加。

当然，对于合理的加工来说，生产能力，必要的中间加热次数和能量损耗都是决定性的作用。用转锻法将横截面为200"的锻件锻成100"的锻件时，相对进给率对行程数和过段次数（道次）的影响示于图13。

总而言之，上述问题的答案是，相对进给率大约 $S_g/h_0 = 0.5$ 的范围时，锻造效果较佳。通过采用错开送进的锻造工艺可以进一步改善质量。只要是在现代化的，由计算机控制的装置上，并在使用长度测取系统的情况下才能运用这一工艺。

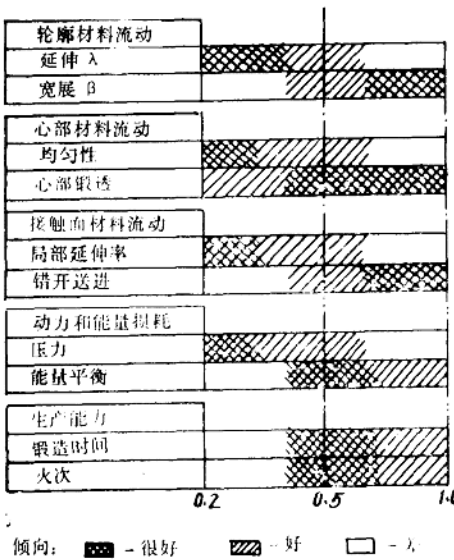
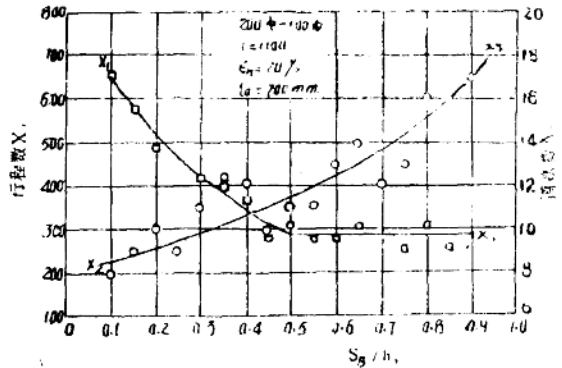


图12 相对进给率对于锻造过程的影响

图13 由200" → 100" (按照 Tomlinson 和 Stringer 两人的计算) 的锻造过程相对进给率对行程数和过段次数的影响



在线长度测取装置。塑性成形研究所在锻压机上安装了一只机械式长度测取装置，供实验之用，参见图14。由于在线锻造过程对锻件延伸情况作了测取，使得有可能根据试验技术简单的多次过锻时的延伸率分布，来建立各种材料的延伸公式和宽展公式。碳素钢锻件由原始截面200"锻成最终截面140"的旋转锻造可说就是一个示例。宽展公式和延伸公式，按照 Tomlinson 和 Stringer 两人的预先计算出来的锻造过程示于表1。对于这种材料和这一矩形截面，应该有一种良好的协调，见图15。但是预算的精度不足以进行已定的错开送进锻造。为了将锻件精确地置于锻钻之下，如前所述，必须借助长度测取装置使工艺模型适应实际的工艺过

程。目前有关的程序模块已经制成，并进行了测试。在严酷条件下粗锻时，上述长度机械测取装置肯定是不用的。但是，可以乐观的是，由于以激光为基础的，无接触式的测量系统和二极管扫描摄影机的迅速发展，这类传感器也可在近期内用于锻造技术。

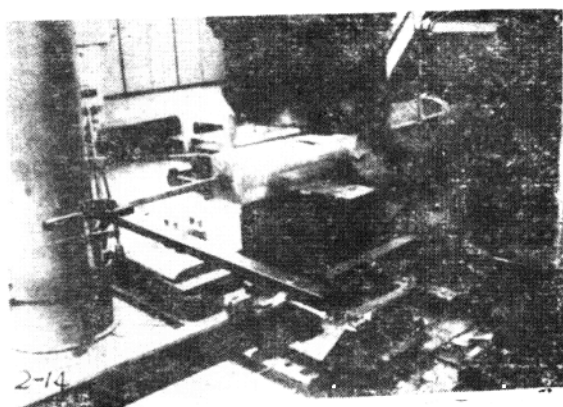


图14 锻造过程测取锻件延伸的机械设备

表1 200□→140□锻造过程的预先计算的锻造方案示例

道次估算，方形								
已知								
相对变形量		$\epsilon_k (\%)$		10.0				
相对进给率		s_B/h_0		0.5				
原始长度		$l_a (\text{mm})$		500.0				
原始高度		$h_a (\text{mm})$		200.0				
最终高度		$h_e (\text{mm})$		140.0				
道次	角度	ϵ_k %	s_B mm	h_0 mm	h_1 mm	b_0 mm	b_1 mm	l_1 mm
1	0.0	10.0	100.0	200.0	180.0	200.0	206.1	539.1
2	90.0	9.8	103.0	206.1	185.9	180.0	185.9	578.9
3	0.0	10.0	92.9	185.9	167.3	185.9	191.5	624.3
4	90.0	9.8	95.8	191.5	172.7	167.3	172.7	670.3
5	0.0	10.0	86.4	172.7	155.5	172.7	178.0	722.8
6	90.0	9.8	89.0	178.0	160.5	155.5	160.5	776.1
7	0.0	10.0	80.3	160.5	144.5	160.5	165.4	886.9
8	90.0	9.8	82.7	165.4	149.2	144.5	149.2	898.6
9	0.0	6.2	74.6	149.2	140.0	149.2	151.9	940.4
10	90.0	7.8	76.0	151.9	140.0	140.0	143.5	995.7
11	90.0	2.4	71.7	143.5	140.0	140.0	141.0	1013.2

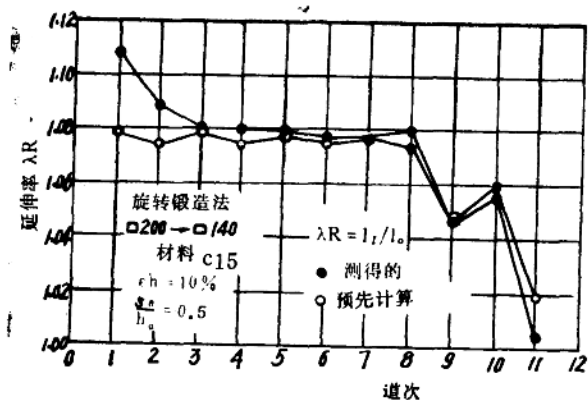


图15 多次过锻后预先计算的和实际测得的延伸率的分布比较

锻造纪要。在自由锻造装置上使用计算机的另一优点是，通过在线测取数据，可在锻造过程中记录任一锻造情况。借助经验建立的和理论建立的模型，可以断定形变过程的变化，并由此得出有关锻件质量的预测，譬如心部锻造在锻件纵向轴线上的分布，见图16。因此，这一记录意味着从经验和理论上同时监控锻件的质量。

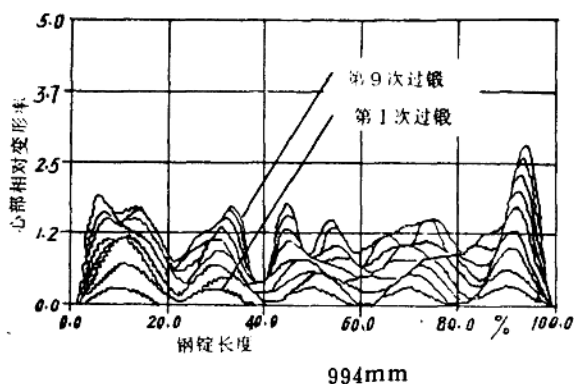


图16 9次过锻后锻件纵向轴线心部相对变形率的变化

展望

图17示出了未来自由锻造的信息流程。

在工作准备中可以借助模拟程序来编制最佳的锻造程序。由此得出的数控 (NC) 数据可用于自动生产中的锻件加工。其尺寸精度是通过由传感器反馈的工艺模型来保证的。为了

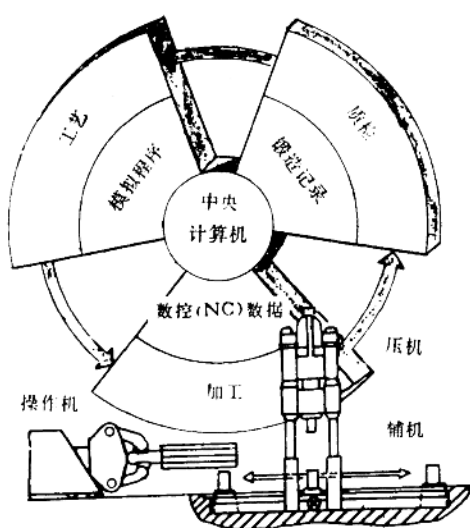


图17 现代自由锻造的信息传递

监控锻件的生产，给质检部门提供了整理好的锻造记录。锻件质量要求的各种偏差重新汇入工艺计划。各个范围通过中央计算机联接，提供一般的，可监控的数据通量，省掉了分系统之间的、费时的、并会产生误差的交接区。

译自 "stahl und eisen"

1986. Vol106, No.8,

383—387

赵光耀译

叶允楨校