

蒸汽机车零件高频淬火

В. А. 楚瑪琴科 В. П. 斯切品科 著
Л. А. 皮沃瓦洛夫 Л. П. 斯科里普尼琴科

人民铁道出版社

目 录

一、高频加热的实质和优点	1
二、铁路运输业采用的高频加热装置	4
淬火机构简述	6
三、高频加热用感应器	8
四、热处理规范的选择和工艺卡片的编制方法	17
五、蒸汽机车零件表面淬火的实际工作	28
(一) 弹簧装置的垫板和扁销	28
(二) 弹簧垫和垫圈	35
(三) 运动机构和阀动装置的销	37
(四) 运动机构及阀动装置的肘销套	41
(五) 运动机构球形铰接零件	45
(六) 蒸汽机车转向架复原装置零件	47
(七) 月牙板滑块	53
(八) 串式风泵冲击板	55
(九) 汽缸安全阀弹簧	56
(十) 蒸汽机车小形零件的淬火	57
六、蒸汽机车铸铁零件的淬火	58
七、检修蒸汽机车用专用工具的热处理	68
(一) 涨管器滚柱	69
(二) 涨管器压滚	71
(三) 锥形铣刀的淬火	72
(四) 圆盘式铣刀和圆盘式刀片	73
(五) 半圆形刮刀	75

(六) 鋸條.....	76
(七) 螺絲板牙.....	77
(八) 沖頭和端面銑刀.....	79
(九) 銼刀的淬火.....	80
(十) 沖擊切削工具.....	80
(十一) 風槍的錘頭和壓頭.....	82
(十二) 鉗工用小錘和大錘.....	83
(十三) 螺母扳手.....	84
八、工具的快速釐焊（毛細管作用）.....	86
九、小尺寸零件在液體層下的淬火法.....	90
十、高頻裝置運用中的故障及其消除方法.....	93
十一、某些技術經濟指標.....	96

一、高频加热的实质和优点

沿着导体通过电流时，则使电能变成热能，此时导体所析出的热量，与电流量的平方、导体的电阻和通电时间成正比比例，

$$Q = 0.24 \times 10^{-3} I^2 R t, \text{ 大卡,}$$

式中 Q ——析出的总热量，大卡；

0.24 ——功单位（焦耳）变为热单位（小卡）的换算系数；

I ——电流，安培；

R ——电阻，欧姆；

t ——加热时间，秒。

感应加热的本质，就是当沿着导体通过交变的电流时，随即在导体的周围产生交变的磁场。如果在交变磁场中放置钢制零件，那么，在零件中将感应出电动势，由于电动势的作用，在零件中就有交变电流的流动。在零件中由于电流的通过而引起零件的加热。

此种能量的转换过程可用下述方法表示。引入感应器的电能转变为交变的磁通能，而交变磁通又在零件内部重新转变为涡流的电能，并按楞次定律而转变为热能。铁磁体，也就是钢制零件，在感应器内被加热到磁性转变温度，这不仅是由于涡流电流的作用，而且也是由于磁滞作用所致。

当钢制零件加热温度高于 780°C 时，涡流的作用就很小了，因为在 780°C 时钢的导磁率被降低到1，而零件变成非磁性的了。

在考虑处于交变磁场中的零件内部涡流良好分布的同时，应当指出，根据电磁感应的一般定律，零件断面上电流密度的分配是取决于导电率、导磁率、零件半径，以及电流频率。导体表面的电流密度最大，并逐渐向中心处减少。

根据导体截面的大小，电流频率越高，则导体中心处的感抗越大，同时在很大程度上电流被挤向导体的表面。沿导体表面通过高频电流的特性，叫做表面效应。

由于零件表层的电流密度最大，所以该表层被加热得如此迅速，以致加热区和金属中心之间的热交换来不及使热能向金属深处进行相当大的传递。有最大电流密度并析出近90%热能的表层厚度，假定叫做电流在金属内的透入深度。

电流在金属内的透入深度可用下式确定：

$$\Delta = 5030 \sqrt{\frac{\rho}{\mu f}} \text{ 厘米,}$$

式中 ρ ——导体材料的电阻率，欧姆厘米；

μ ——导体材料的导磁率（钢加热超过磁性转变温度时，其值等于1）；

f ——频率，赫芝。

根据导体的材料和温度以及电流的频率，并用上述公式计算出的电流透入深度值列入下表。

电流透入深度与导体的材质、温度和电流频率的关系

频率，赫芝	透入深度，厘米		
	15°C 的铜	15°C 的45号钢	850°C 的45号钢
50	1.0	0.22	9.14
2000	0.15	0.05	1.45
10000	0.07	0.02	0.65
100000	0.02	0.007	0.21
1000000	0.007	0.002	0.065

当钢材还很冷并且具有足够磁性时，与被加热的钢相比较，电流的透入深度是非常小的。电流的透入深度随钢加热温度的升高而加深，并在相应于磁效应消失的温度下达到最大值。这个深度叫做“热的”透入深度。

假如零件的加热不中断，则厚度等于电流在加热金属中透入深度的一层中，温度将依靠感应电流的作用而升高，而较深的层则主要靠热传导来使温度升高，所以金属深层的加热较表层慢。

凡淬火深度不超过 5~6 毫米的零件，用电子管发生器进行加热最为经济。

采用较低频率（500~10000 赫芝）的机械式发生器时，将增加电流在钢中的透入深度，同时零件将在较短的时间内被加热较大的深度。

ГЗ-46 型电子管发生器的频率在 $2.5 \times 10^5 \sim 6 \times 10^5$ 赫芝的范围内。频率是依淬火零件的大小和形状、所采用的感应器和零件的加热程度而变动，但在这种情况下，电流在加热金属中的透入深度变化是不大的。

高频装置之所以能迅速而广泛地推广，是因为高频加热法与普通加热法比起来具有一系列宝贵的优点，用这种装置可以顺利地进行热处理、各种金属的熔炼、钎焊、焊接、双金属套的离心浇铸及其他各项工作等。其主要优点如下：

1. 使各种零件热处理的工艺过程能加速十几倍，这将保证显著地提高热处理工作者的劳动生产率。

2. 能够降低零件的热处理费用，从而保证降低产品的成本。

3. 加热深度有较宽的调整范围，以及仅一个工作表面上局部加热的可能性，使之能够以低廉的表面淬火来代替昂贵的渗碳。

4. 可以得到无氧化铁皮、氧化物及斑点的高质量的淬火表面。

5. 能够改变现有工艺规程的顺序，也就是研磨作业可在热处理以前进行。

6. 在许多情况下，在保证零件具有足够耐磨性时可用便宜的碳素钢代替合金钢。

7. 在液体中（水中或冷却液中）用高频电流加热，能保证薄壁套得到高质量的淬火，并使它无透烧现象。

8. 消除了象其他所有加热炉要求预热加热炉体的能量消耗。

9. 使工艺过程机械化和自动化有广泛的可能性。

10. 消除了烟气、烟灰及灰尘，表现了高度的文明生产。

二、铁路运输业采用的高频加热装置

目前铁路运输业广泛采用了两种型号的高频设备：真空管式和机械式。真空管装置用在两方面：（1）金属的快速感应加热——如零件的热处理、钎焊和金属熔化等等；（2）在高频电场中，用高频电流加热半导体和电介质的方法，来干燥木材、建筑材料等。

高频装置由电气和机械两部分组成。电气部分包括工频电流供电装置及自动装置，以及高频电流振荡器组。机械部分包括液压自动机和液压联动机，以及带有全部附件的工作机构。

机车修理工厂采用机械式发生器进行金属热处理（表面淬火或穿透淬火），以及铸造生产中的金属快速熔炼。

输入功率 100 千瓦，振荡功率 50 千瓦的 Г3-46 型高频

加热电子管发生器，主要用于感应加热，及在不大的转换时，用于电介质和半导体的加热及干燥，也有足够的效果。

输入功率100千瓦的ГЗ-48型发生器用来加热介质和干燥各种木材、胶合部件、纸板、食物等等。

这两种高频设备，特别是在1946—1952年这一阶段，在铁路运输业中得到了广泛应用。

基辅客运蒸汽机车机务段装设了ГЗ-46型电子管发生器。

最近几年来，ЛГПЗ-60型电子管发生器设备在机务部门使用得越来越广泛。

这种型号的设备，可供熔化金属和零件的表面淬火之用。设备上除熔炼炉外，还有可搬出的淬火变压器。这种变压器，在淬火、钎焊、套的离心式双金属浇注及其他操作时，可供表面感应加热之用。其输入功率100千瓦，振荡功率60千瓦，并具有功率50千瓦的熔炼炉，能熔化50公斤的金

ГЗ-46型及ЛГПЗ-60型电子管发生器的主要数据

主 要 数 据	单 位	ГЗ-46型 淬 火 及 钎 焊	ЛГПЗ-60型 熔 炼 及 淬 火
线路要求最大输入功率...	千伏安	100	100
振荡功率.....	千瓦	40~50	60
供电线路电压.....	伏	220 / 380	220 / 380
冷却水消耗量.....	升/小时	1500	—
设备的平面尺寸.....	毫米	1500 × 1500	2680 × 3750
设备的高度.....	毫米	2500	2300
发生器的接线.....	—	单 圈	双 圈
工作频率.....	千赫	500~600	150—250
振荡管型号.....	—	Г-431	Г-431
振荡管数量.....	个	2	2
整流管型号.....	—	БГ-237	ТР-1-6/15
整流管数量.....	个	6	7

属(钢)。炉子是可搬出的熔化感应圈,在感应圈内有直径200毫米和深240毫米的坩埚。

这种设备在表面淬火处没有液压升降装置,这对零件淬火过程的机械化是有某些困难的。目前,某些企业制作了淬火过程自动化的液压升降装置,并使用成功,同时还保证了高的生产率。

淬火机构简述

为使零件淬火自动化和便于运用,建议在ЛГПЗ—60型设备的淬火机组正面安装淬火机构(图1)。在淬火机构下部设有盛水槽14,其外形尺寸为长800毫米,在高600毫米时,深640毫米。在由水槽中心距右壁170毫米、距后壁250毫米处,安装机构的本体,在其后130毫米处,安装有上部悬臂铰链联接的液压升降机构。在液压自动装置的胶木盘右侧,装有万向水阀,用以操纵液压升降机构(部件1)。在水阀上装有5个手把,最上面的一个手把,用以在淬火前校正其开始位置时,自动升起被紧固的零件。所有其余手柄,是供在连续淬火过程中以各种不同的速度(0.5到66毫米/秒)降下零件之用。当操作从上面数第二个手把时,得到最大速度66毫米/秒,其余手柄依次逐渐减低淬火零件的下落速度,为了建立速度的补充调整,另设有三个辅助调速阀16。

淬火机构的管子3可沿轴2自由地上下移动,管子的轴上端用托架11固定在管架的梁上。在管子上装有可以旋转的上托架9和下托架4,在托架上备有淬火零件定位用的顶尖。下托架体上装有水涡轮15,每分钟需水20升。3.5大气压的水,由安装在水箱外侧的分配阀经过专用的连接管来保证拖动水涡轮。水涡轮的垂直轴在滚珠轴承上转动,轴上并有一个止销17。紧固工件的顶尖间最大距离为650毫米;分

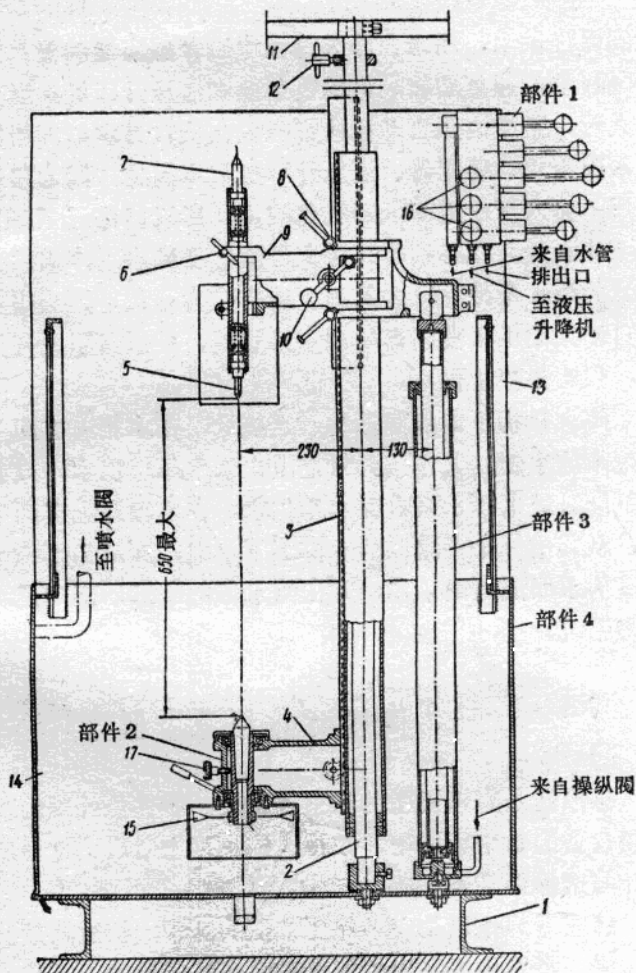


图1. ЛПНЗ-60设备上的淬火机构。

1——底架；2——垂直移动轴；3——升降机构的套管；4——下托架；5——固定零件的上顶尖；6——上顶尖夹紧装置；7——上锁紧顶尖；8——上托架夹紧装置；9——上托架；10——手动升降手柄；11——固定导向轴支点的托架；12——锁紧定位环；13——导向板；14——水槽；15——水涡轮；16——调速阀；17——水涡轮止动夹紧装置。

配阀保证供水，用来在淬火过程中冷却感应器，使水涡轮以300转/分的速度旋转，供给喷射器和液压升降机。当高碳钢淬火时，整个液压自动机构都以乳化液代替水，即用乳化液供给喷射器、感应器、液压升降机及水涡轮。因为用过的乳化液不排入下水道而返回乳化液箱，所以能保证乳化液可以多次利用。在必须瞬时停止给喷射器供水（淬火后自热回火）的淬火条件下，分配阀上装有磁力开关，因为磁力开关能自动关闭供给喷射器的供水薄膜阀，所以当磁力开关接通时，很容易停止供水。

淬火机构下部的水箱14必须接地，在水箱前有两个直径30毫米的水管，其作用为保证由自来水总管供水，或者在压力下降时经电动水泵自储水箱供水。在水箱底上有两个溢水孔，从其中一个将用过的水排至下水道，而从另外一个孔将用过的水回流至储水箱，并在储水箱内冷却，而后重新进入冷却系统。

三、高频加热用感应器

感应器是高频设备的最重要部分。零件热处理的质量及高频设备的功率利用率，在很大的程度上是取决于感应器的设计与选择得是否正确。

感应器的作用是在零件要加热的区域内构成高频交变的电磁场，将发生器发出的能量集中在感应器内，并传递给被加热的零件。从原理上来讲，感应器就是高频变压器一次绕组中的一圈或数圈管状或板状的绕线，而被加热的零件是起着该降压变压器一圈次级绕组的作用。每改变一种需要热处理的零件，就必须重新制作感应器，或者由现有的感应器中选择适当的。

在图2中绘出了高频加热零件内圆柱表面的最简单的感应器。这种感应器是典型的，它的构造便于人们熟悉其所有零件。这些零件包括：有效工作部分1，该部分是用以集中发生器的能量，并将它传给零件；感应器借助于接触铜板2固定，并和振荡回路或者输出高频淬火变压器的隔离屏电源端子相联结；连结胶皮软管的导管3，作供给或排除冷却水用；胶纸或胶布塑料的绝缘垫4，装在感应器的两接触铜板之间。

根据结构和冷却方法的不同，感应器可分为下列几种类型：

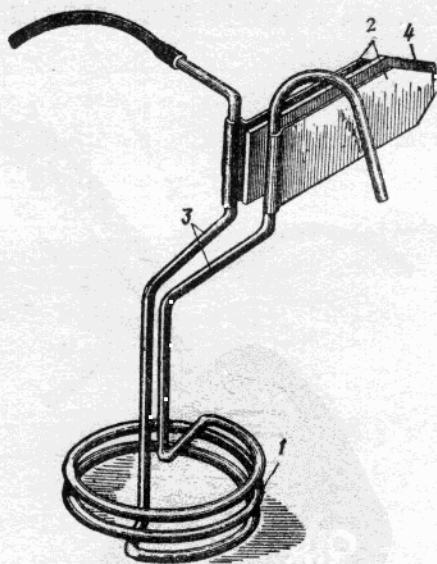


图2. 圆柱形感应器：

1——感应器有效工作部分；2——接触铜板；3——连结胶皮软管用导管；4——绝缘垫。

1. 在工作时连续冷却有效部分的一般管状感应器。

2. 淬火过程中以冷却液冷却零件被加热部分的管状喷射式感应器。

3. 铜板状喷射混合式感应器，在零件加热时不进行冷却，仅在加热后冷却。

设计与制作感应器时，必须力求做到：电能在导电部分的损失为最小；感应器在工作中不因受热而变形，并能防止感应器与被加热的零件接触（防水耐火涂料可用来作为此种材料）。

感应器必须便于使用，并且保证高温加热，这主要是取决于感应器圈数的选择，以及它配置得是否正确。

管状感应器仅可用成型管制作，以保证高频装置有更高的效率。

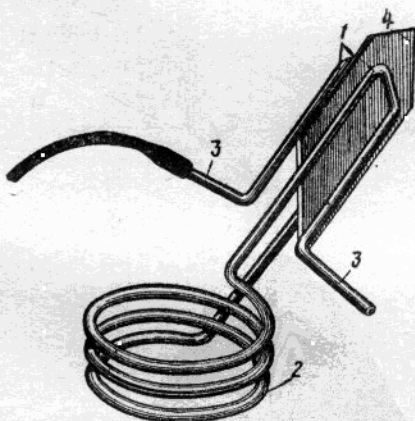


图3. 无铜板感应器。

1——接触环；2——感应器有效部分；3——导管；4——绝缘垫。

按材料和结构的特性，加热感应器的类型，可分为由无缝铜管制成的感应器，和由特种铸件及铜板经机械加工后钎焊而成的复杂的感应器两种。在蒸汽机车零件高频淬火的实

践中，大部分机务段都采用紫铜管(有时用黄铜管)感应器。制作感应器的材料，最好采用紫铜，黄铜的效果就比较差。

管状感应器的工作部分，是用直径4~20毫米、壁厚0.5~5毫米的管子制造的。接触铜板用1.5~2毫米厚的紫铜板制成，可以制成可拆卸的或固定的。绝缘垫用不小于3毫米厚的胶布塑料或胶纸来制作。感应器各元件之间要用硬质焊料以钎焊的方法来连结。也允许用铜以乙炔焊的方法来连结。

为了节省紫铜起见，在某些机务段的实际工作中，广泛地采用了可换的接触板及无铜板感应器。接触铜板2(参看图2)要做成可以将它装在任一感应器上，两铜板与感应器之间的接触，可借助感应器支管的弹性来达到。无铜板感应器(图3)有两个接触环1，夹在隔离屏上，并代替了联接端的铜板。设计管状零件加热用的感应器时，应根据工业上生产的铜管品种(表1)来选择所用的管子。为了提高感应器的效率和得到比较均匀地加热起见，必须将圆断面的管子成型为椭圆形断面的管子。

管子成型应在专用的轧辊上进行，在轧辊上有适应各种尺寸管子的轧槽。轧槽的尺寸应根据表2中所列成型管子的尺寸来确定。

铜管进行成型时，必须预先退火。壁厚1毫米以下的管子成型时，为了防止管壁挤皱，最好用溶化的透明松香充填，因为透明松香加热时易于流出。用成形管子制作的感应器，不仅能保证有更高的效率，而且能够比较均匀地加热淬火层。图4中示出了钢制零件在圆形铜管感应器和椭圆形铜管感应器作用区域内加热区的分布。在第一种情况下，感应器作用区域表面加热的均匀程度比第二种情况下较差。管子镀锡决不能认为是合理的。

銅管 (ГОСТ859-41M2号銅)

表 1

直径, 毫米		一米长的重量 公 斤	直径, 毫米		一米长的重量 公 斤
外 径	内 径		外 径	内 径	
4	3	0.049	13	10	0.43
5	4	0.063	13	9	0.61
5	3.5	0.039	13	8	0.73
5	3	0.11	13	7	0.84
6	5	0.077	14	12	0.36
6	4.5	0.11	14	11	0.52
6	4	0.14	14	10	0.67
6	3	0.19	14	9	0.80
7	6	0.09	14	8	0.92
7	5.5	0.13	15	13	0.39
7	5	0.17	15	12	0.57
7	4	0.23	15	10	0.87
8	7	0.104	16	14	0.42
8	6.5	0.15	16	13	0.61
8	5	0.27	16	12	0.73
9	8	0.119	16	10	1.1
9	7.5	0.17	17	13	0.84
9	7	0.22	18	16	0.48
9	6	0.31	18	15	0.70
9	5	0.39	18	14	0.89
10	9	0.132	18	12	1.26
10	8.5	0.20	18	10	1.57
10	7	0.36	19	16	0.73
10	6	0.45	20	13	0.53
11	8	0.40	20	17	0.78
11	7	0.50	20	16	1.01
11	6	0.59	20	15	1.22
11	5	0.67	20	14	1.43
12	10	0.31	20	12	1.79
12	9	0.44	20	10	2.10
12	8	0.56	22	20	0.59
13	11	0.34	—	—	—

表 2

感应器用铜管的断面

原始直径, 毫米		断 面, 毫 米	原始直径, 毫米		断 面, 毫 米
外 径	内 径		外 径	内 径	
4	3	2.5×5.5	13	11或10	8×12.5
5	4	3.5×4	13	11或10	10×10.5
6	4.5	4.5×5	14	12或11	8×14
7	5	4×7	14	12或11	10×12
8	6.5	5×7.5	14	12或11	11×11
9	7	4×10	15	13或12	8.5×15
9	7	5×9	15	13或12	10.5×13
9	7	7×7	16	14或13	10×15
10	8.5或7	5×10.5	16	14或13	12.5×12.5
10	8.5或7	7.5×8	17	13	10×16.5
11	9或8	5×12	18	16或14	12×16.5
11	9或8	6×11	19	16	10×20
11	9或8	8.5×8.5	19	16	15×15
12	10或9	7×12	20	17或16	11.5×20
12	10或9	8×11	20	17或16	15×16.5
12	10或9	9×9	—	—	—

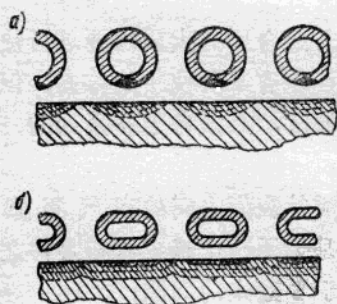


图4. 在铜件上加热区域的分布

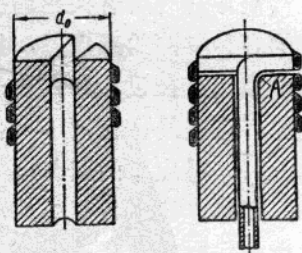


图5. 卷制感应器用的心轴

a——圆断面管；b——椭圆断面管。

卷制感应器须用专门的心轴。万能心轴的形状如图 5 所

示。此心轴是作为卷制加热内外圆柱形表面的感应器用的。心轴直径 d_0 应当与感应器内径相符合，而心轴高度应当比感应器的高度高20~30毫米。

感应器卷制的方向（右的或左的螺旋线），对加热规范没有任何影响。为了便于在虎钳上或者在车床卡盘上卡紧心轴，将心轴下部做成平的。

感应器卷制好以后，或者将它与接触铜板连结起来，或者弯成联接环。不论是采用第一种方法或是采用第二种方法，应力求使导管的长度为最短，因为增加导管的长度，就会增加能量的泄漏损失。实际经验证明，如果对每种尺寸和每种形状的零件制出各种专用的感应器，将获得最好的热处理效果。但是一般对于圆形的不复杂零件，有时使用同一个感应器也很有成效。例如，对于同一直径而长度不同的圆柱销的淬火。选择需要形状和大小的加热感应器是热处理工艺中不可分割的一部分，因此有关蒸汽机车各种零件、工具及机械设备的零件所需用的感应器的构造，在本书适当的章节内均有叙述。

制作适合所有实际情况，并适合所有大量需要进行热处理的各种零件的感应器，虽然不能有某种统一的方案，但是仍须指出，在设计和制作感应器时，必须考虑一系列的一般规律。这些规律包括下列各项：

1. 感应器内壁与被加热零件表面之间的空气间隙越小，则感应器的效率越高，但是为了防止感应器与零件之间发生电击穿现象，不得采用小于2毫米的间隙；

2. 感应器各圈之间的距离必须尽量减小，因为这样能够保证表层比较均匀地加热，但是为了防止各圈发生短路，其距离不得小于2毫米。

3. 沿感应器轴向的加热宽度，取决于加热时间和输入