

上海工具厂李耘夫編

刃具热处理件减少变形的方方法

科技卫生出版社

目 录

1. 在現場中造成热处理件变形的几种因素·····	1
2. 碳素工具鋼制的絲錐减少尺寸变形的热处理工艺·····	3
3. 合金鋼制刀具减少变形的实例·····	12
4. 高速鋼刀具减少变形的工艺·····	14
5. 几种减少变形冷却剂的应用·····	26
参考資料·····	30

刀具热处理件减少变形的方方法

热处理件的变形是現場生产中經常遇到的問題，它对要求較高的精密刀具和机械零件之热处理后的質量影响尤其突出，因此將本厂有关热处理过程中所产生的变形和防止方法，以各种要求精密的刀具为例作若干說明。

1. 在現場中造成热处理件变形的几种因素

热处理后的零件变形的原因牽涉面很广，这里仅將与刀具有关的几个变形因素簡單介紹如下：

(1) 淬火后由于鋼組織比容的增大而造成变形是极普遍存在的，因为淬火的目的是为了得到高硬度的馬氏体組織，而馬氏体組織又是鋼的組織中比容最大的組織，所以淬火后不可避免地或多或少产生体积膨脹，造成变形。因此要减少变形，必須在保証硬度的前提下，减少馬氏体的量来解决。

(2) 热处理件在淬火过程的連續冷却中，由于冷却剂的冷却速度过高，使工件自高温冷却到一定温度，由于热应力的作用使工件产生了变形。要防止这种变形，必須在保証达到临界冷速的前提下，采用各种方法，降低冷却速度，縮短加热温度与冷却剂的溫度差距，特別有效的是降低工件在馬氏体转变区域內的冷却速度来解决。

(3) 在整个热处理件上冷却不均匀是造成变形的关键之一，它是由于冷却剂或工件本身形狀的原因而产生的。因为在

冷却过程中,由于部分冷却速度的高或低,形成工件在冷却后得到不同的組織,不同組織的比容大小不一,因此造成由于在同一工件得到組織转变的不一致而引起变形。如由于工件表面在冷却剂中形成气泡,或水中有油、油中有水或扁平工件二面冷却不一致等均能引起严重地变形,要防止这些因素产生,必須对不同的工件采用合理的冷却剂,或采用机械方法促使截面的均匀冷却来解决。

(4) 由于加热温度过高造成工件在高温过热状态下塑性增加,强度减弱,在內应力的作用下造成变形。

(5) 由于零件本身形状复杂或細長的情况下,經热处理后极易引起严重的变形,这种变形的形成主要是工件本身部分或整体的强度較低,在內应力的作用下所造成的。

(6) 由于原材料原始組織不良引起变形,如未球化或不完全球化的組織經淬火后变形較完全球化組織为大,其原因是原始組織的比容与淬火組織的比容差的大小而形成,又如碳化物的分布不均匀,造成淬火后馬氏体的含碳量或馬氏体的量分布不均造成淬火組織比容大小而引起的。

(7) 由于工件在热处理前已存在較大的內应力,經淬火后內应力超过工件的机械强度造成变形,如原材料由于加工不良,应力較大,或零件經較复杂或負荷較大的加工引起較大的內应力,在加热和冷却中工件塑性較好时产生变形。

(8) 加热与冷却方式不合理而引起的变形,在实际生产过程中也很常見,如在加热时放置不平或不垂直,在塑性状态下由于工件本身的重量而产生变形;又如冷却时由于投入方法不合理引起冷却不均匀,也易产生变形。

(9) 操作者由于进行不合理的操作,也极易造成变形,这种

情况常发生在高温塑性較好的情况下，因操作不稳，造成晃动，結果产生变形。

以上几种变形的造成都是由于热应力和相变应力或工件受到外加机械力量的作用而引起的，因此要防止变形，就必须从多方面設法减少造成变形的因素。下面举例子說明减少变形的热处理工艺的具体运用。

2. 碳素工具鋼的絲錐减少尺寸变形的热处理工艺

我們对变形問題分析如下：

产生变形的原因有組織应力和热应力两种，这二种都是內应力，它能使工件的形狀弯曲、歪扭和引起尺寸变化，如伸長、縮短、加厚、变粗等。

(1) 热应力：凡金屬都有热漲冷縮的特性，当它在加热或冷却时，由于沿着截面內外温度不均匀，引起內外体积膨脹或收縮不一致，因而产生应力，这种称为热应力。冷却时所产生的应力比加热时所产生的应力为大，所以先研究一下冷却时所产生的热应力。

当金屬在一定的温度中較迅速的冷却时，外层先冷，因而外层的体积較內层收縮为多，內层受的是压应力而外层受的是張应力。

在繼續冷却时，內外温差减少，內层体积的收縮接近于外层体积的收縮，但因外层金屬此时已失去塑性，阻止內层的收縮，故使內层受張应力而外层受压应力，由于热应力而引起的尺寸变化是使長形工件縮短，直徑增大，如图 1 所示。

(2) 組織应力：由于金相变化的結果而产生的应力称为組織应力，未淬透的鋼中沿截面得到不同的結構，各种不同結構

(如馬氏体、屈氏体等)有不同的比容,它們的綫膨脹系数也不一样,因而产生了应力。在淬透的鋼中由于外层較內层先冷,其相

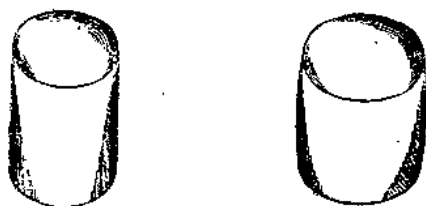


图 1

变并非在同一瞬間发生,表面先轉变为馬氏体,体积膨脹,而內层則阻止其膨脹,此时外层受压应力,內层受張应力。繼續冷却,內层也轉变为馬氏体,体积膨脹,但已失去塑性的外层阻止其膨脹,此时外层受張应力,而內层受压应力。由于組織应力而引起的尺寸变化会使長形工件伸長,直徑减少,如图 2 所示。

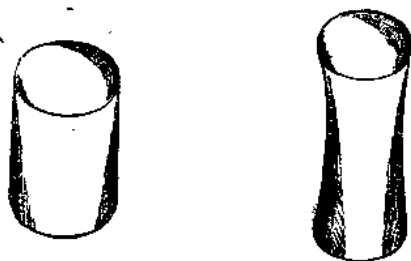


图 2

以上是將热应力与相变应力分別叙述,如果这二种应力在工件中同时产生,則其变形就較复杂。工件在淬火后产生的最后应力大小和符号决定于热应力和相变应力的加强或相互抵消,工件在淬火后变形的程度和形狀就决定于最后应力的大小和符号。由上面分析可知,絲錐用不同的淬火方法可以得到不

同的尺寸变化,如果淬火的結果热应力大于組織应力,則直徑漲大;如組織应力大于热应力,則直徑变小;但絲錐本身的形狀并非簡單的長形工件,因此它的变形情况不完全符合上述規律,但是我們可以得出这样的結論:絲錐淬火后的尺寸变化其直徑可能漲大也可能縮小,由热处理的工艺决定。除此之外,原材料碳化物的不均匀性也同样能引起縱向和橫向的变形。

3) 原始組織对变形的影响:一般碳素工具鋼和合金工具鋼的原始組織必須是球狀珠光体,其原因有二种:1. 机械加工性能好;2. 淬火后变形少。

球狀珠光体变形少是由于奥氏体分解的各种結構,具有不同的比容,馬氏体为最大,奥氏体为最小,珠光体的比容介于馬氏体与奥氏体之間,淬火前是珠光体,淬火后是馬氏体,这显然將使比容增大,因而产生了尺寸变化。但如淬火前能將組織調整到接近淬火后的比容,就可以减少变形。珠光体的类型中有片狀的和球狀的,还有比球狀珠光体更細的索氏体。

球狀珠光体的比容較片狀的大,而索氏体又較球狀珠光体大,因此三者比較起来索氏体的比容比較接近于馬氏体,但此三者之間的差別并不大,和馬氏体比較起来均有很大距离,因此調整原始組織为索氏体好处不大。因为索氏体的硬度較高,不宜于切削加工。另外在逐一淬火的情况下,索氏体的碳化物溶解速度較快(因为碳化物的溶解速度取决于表面积的大小),所形成的固溶体含碳濃度較高,故可具有冷却后保存多量的殘留奥氏体,但与此相伴而生的是由于固溶体碳的濃度高后,得到的馬氏体增加了正方性,体积長大,因此二者的效果恰巧相反互相抵消。根据上述几点可以理解,原始組織以采用球狀珠光体最适当,它具有良好的机械加工性能,变形与索氏体相差不大。

减少变形的热处理方法如下：

由图 3 可知，含碳 1.2% 的鋼在室温时的奥氏体比容与室温时的馬氏体的比容相差甚大，因此要减少变形，可調整淬火后的奥氏体的量，这方法要比調整淬火前的組織比容容易，并且效果也較大。調整淬火后殘留奥氏体的量的方法有二种：

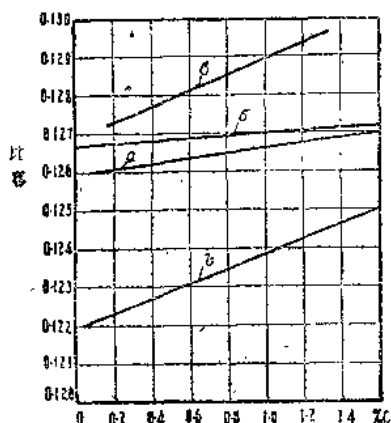


图 3 铁—碳相的比容与含碳量

a—馬氏体开始形成瞬间奥氏体的比容； b—室温时珠光体的比容； c—室温时馬氏体的比容； d—室温时奥氏体的比容

(1) 提高淬火温度：提高淬火温度可使奥氏体稳定，增加淬火后殘留奥氏体的量，但因淬火温度提高，增加了固溶体中碳的濃度，也就增加了馬氏体的正方性，并且不适当的提高淬火温度会使馬氏体变粗，降低鋼的强度，如 $\phi 12H$ 鋼淬火温度由 $780^{\circ}C$ 提高到 $850^{\circ}C$ ，强度要降低 50%。因此我們必須确定提高淬火温度的原則，即在得到最小的变形情况下尽量采用較低的温度。根据我們的經驗， $\phi 12H$ 鋼制絲錐由 $\phi 3 \sim \phi 40$ ，淬火温度采用 $770 \sim 830^{\circ}C$ ，如表 1 所示：

表 1

絲 維 規 格	淬 火 溫 度 (°C)
$\phi 3 \sim \phi 12$	770~780
$\phi 14 \sim \phi 28$	790~800
$\phi 30 \sim \phi 40$	820~830

(2) 选择恰当的冷却方法:

甲、在 M_H 点附近等温处理: 在 M_H 点附近等温相当时间可促使热应力(即淬冷时工件外层所受的張应力)得到松弛和减少,并能使奥氏体稳定,减少了馬氏体的量。

如在低于 M_H 点的温度作等温除能得到上述的二个好处外,还可使最初形成的馬氏体轉变成为配火馬氏体,减小馬氏体的比容。

另外如果能在等温停留后,在馬氏体轉变区用緩慢的速度冷却,能使应力繼續松弛,并能使馬氏体中的碳析出,减小馬氏体的正方性,更进一步地促使变形的减少,表 2 为馬氏体区域中冷却速度对殘留奥氏体量的影响(从 800°C 淬火在 200°C 热浴中等温后的不同冷速)。

表 2

鋼 号	自 200°C 到室 温的冷却	長度变化%	体积变化%	殘留奥 氏体%	硬 度 R_{σ}
42H	水 冷	+0.22	-0.080	19	64
42H	油 冷	+0.25	-0.064	23	63
42H	气 冷	+0.15	-0.062	24	62
42H	爐 冷	+0.13	-0.056	29	62

如以等温淬火与一般双液淬火比較，所得数据如表 3 所示。

表 3

淬火方法	长度变化%	体积变化%	殘留奥氏体%	硬度 R_{C}
一般淬火法	+0.28	-0.057	15	65
等温淬火法	+0.02	-0.025	98	61

乙、 M_c 点附近的等温处理：根据 A. II. 古里耶也夫及其他文献中曾用 M_c 点表示奥氏体在淬冷过程中有一个稳定区域的温度，因此如在此温度附近等温可使奥氏体稳定，增加殘留奥氏体量以减少变形。

我們根据这一理論进行試驗，发现用这种方法与用 M_H 点附近等温变形情况沒有很大出入，当然我們試驗次数也不够，但因这种方法比較麻煩，所以未用到生产上去。

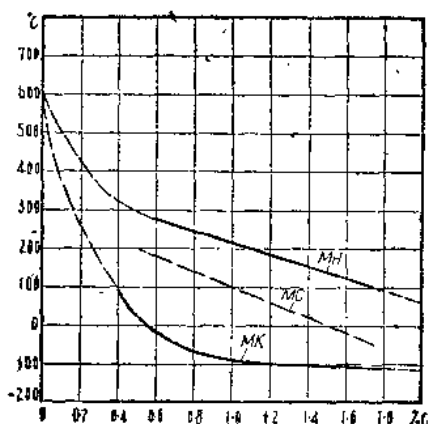


图 4 碳素鋼 M_c 点的位置

新工艺的拟订:

(1) 絲錐技术条件:

硬度: 工作部分 $\leq \phi 6 R_G 59 \sim 62$

$> \phi 6 R_G 61 \sim 63$

方尾: $R_G 30 \sim 45$

精度等級: E 級

(2) 工艺規程制訂的依据:

甲、根据等温处理的稳定作用, 并酌量地提高加热温度;

乙、实际测量变形的程度;

丙、依据切削試驗;

丁、檢查金相組織。

(3) 工艺規程:

甲、去124 原材料組織: 球狀珠光体, 級別 3~8 (按 ГОСТ 1435-54 評級)。

預 热: 600°C 0.5 分/公厘;

最后加热: $770 \sim 830^{\circ}\text{C}$ 0.25~0.3 分/公厘;

等温冷却: 第一鹽浴 $180 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 停留 1~5 分鐘;

第二鹽浴 $200 \sim 220^{\circ}\text{C}$ 停留 30 分鐘;

配 火: $150 \sim 200^{\circ}\text{C}$ 60 分鐘。

注: 在第一鹽浴冷却后立即投入第二鹽浴作等温停留, 使用二个鹽浴的目的是:

(1) 保持第一鹽浴的温度及容积, 不因工件放入太多而受到影响;

(2) 可以适当調整第二鹽浴的温度, 以求得相应的效果。

(4) 新旧淬火方法变形情况的比较:

10×1.5 去124 絲絲

10×1.5 去124 絲絲

600°C 5分鐘 780°C 2.5分鐘 淬入 200°C 45分鐘 空冷

600°C 5分鐘 780°C 2.5分鐘 淬入 180~200°C 3分鐘 空冷

180°C 配火 60分鐘 (新工艺)

180°C 配火 60分鐘 (老工艺)

編号	測量位置	热处理前 直径,公厘	热处理后 直径,公厘	漲縮量,公厘	編号	測量位置	热处理前 直径,公厘	热处理后 直径,公厘	漲縮量,公厘
1	前 四 牙	9.063	9.070	0.007	1	前 四 牙	9.063	9.082	0.019
	后 五 牙	9.058	9.065	0.007		后 五 牙	9.052	9.070	0.018
2	前 四 牙	9.065	9.071	0.006	2	前 四 牙	9.060	9.075	0.015
	后 五 牙	9.057	9.062	0.005		后 五 牙	9.055	9.070	0.015
3	前 四 牙	9.056	9.063	0.007	3	前 四 牙	9.059	9.075	0.016
	后 五 牙	9.050	9.059	0.009		后 五 牙	9.048	9.065	0.017
4	前 四 牙	9.063	9.070	0.007	4	前 四 牙	9.060	9.080	0.020
	后 五 牙	9.055	9.063	0.008		后 五 牙	9.051	9.075	0.024
5	前 四 牙	9.058	9.066	0.008	5	前 四 牙	9.058	9.070	0.012
	后 五 牙	9.050	9.059	0.009		后 五 牙	9.050	9.065	0.015

新工艺的實質分析：

以本工艺所采用的鋼号为例(±124)，加热温度为770~830°C，因此在相变以上之奥氏体鋼中含碳量并未达到完全溶解，因缺少在此种处理条件下的C曲线为依据。我們假定当工件加热到780°C时，奥氏体中被溶解之碳含量为0.9~1.0%，則以此C曲线为依据时可查出馬氏体转变的开始温度 M_H 点大約为240°C左右(或下一点)，上述工艺可以图5表示。

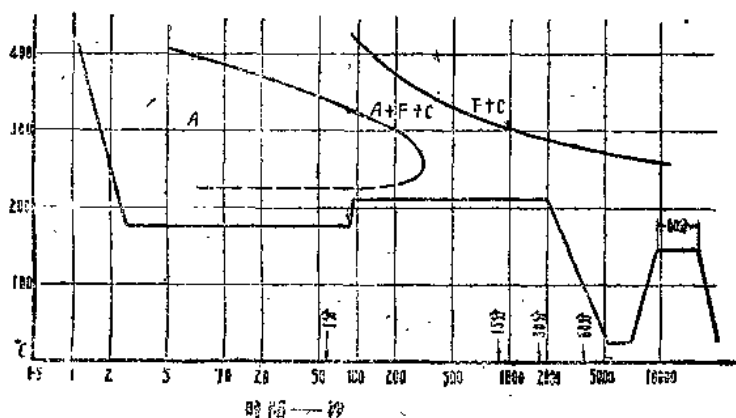


图 5

从图5可以很明显看出在第一次冷却等温槽中停留1~3分鐘，是在 M_H 点以下保温的，經過这段处理后，从金相組織观点来分析应该得到馬氏体和殘留奥氏体。当經過抬高一定温度(10~20°C)进行保温30分鐘后，則在此过程中是將馬氏体配火成配火馬氏体，当保温结束后，在組織中应该得到配火馬氏体和奥氏体。在保温30分鐘后，提出气冷过程中則奥氏体，逐漸变成馬氏体，因此还須在160~170°C进行配火一次，使馬氏体变为配火馬氏体(以上是按假定来分析的)。但也可能由于抬高

溫度到 200°C 而超過了 M_{II} 點（因前估計可能不正確）。如在此情況下，則在 30 分鐘的等溫過程中，起的变化應該是將已形成的馬氏體變為配火馬氏體，同時又使未轉變的奧氏體，分解成針狀屈氏體。因此應該是得到馬氏體和針狀屈氏體和殘留奧氏體，而在保溫後空冷過程中，使其中部分奧氏體逐步轉變為馬氏體。

小結：

在 M_{II} 點附近或以下作等溫停留後及以後的緩慢冷卻，可以減少由於熱應力所引起的變形及使奧氏體轉變為馬氏體的程度減弱，同時在等溫停留的前階段所形成的馬氏體在等溫時受到配火，減小馬氏體的比容，這些都是減少變形的主要因素。

規格不大的絲錐，淬火溫度可以不用提高，變形程度也能控制在較小的公差內，否則馬氏體就變粗，切削時絲錐刃口容易崩裂。

抬高淬火溫度主要是為了提高大規格絲錐的淬硬性能，在一般的情況下，提高淬火溫度可以使奧氏體穩定，增加殘留奧氏體量，同時增大了淬火後馬氏體的正方性，此二者對變形的作用，正好相反互相抵消。

等溫後再進行一次配火對尺寸的变化不顯著，主要是為了使等溫後在空冷過程中所形成的馬氏體得到配火。

3. 合金鋼制刀具減少變形的實例

可漲大鉸刀系 9 號鋼製成，我們很長時間以來所採用的工藝是： 600°C 0.5 分/公厘， 860°C 0.25~0.3 分/公厘，淬入 60°C 熱油中冷卻到 150°C 左右取出立即在 160°C 中配火（採用立即配火的原因是為了防止刃部尖角處裂開），未發現有嚴重

的变形现象(当时生产的规格均在 $\phi 30$ 以下)。近来由于生产 $\phi 45 \sim \phi 50$ 的大规格刀具后,仍采用上述工艺,结果是刀部向中心部分凹进(空心的),其严重程度已到凹进0.80公厘,造成大量废品。根据金属的热胀冷缩原理分析:如果一面先冷却而另一面后冷却,则结果必然是先冷却的面缩短,造成先冷却面凹入,在继续冷却情况下后冷却面再缩短时,由于先冷却面此时已失去塑性,无法复原。根据此原理来检查可胀铰刀的冷却情况正符合上述规律,因可胀铰刀淬入 60°C 油中时,外圆较内壁的冷却速度大,同时内壁孔中的油流动性差,散热慢,其内壁的冷却速度远小于外壁,因此就造成了图6的形状。

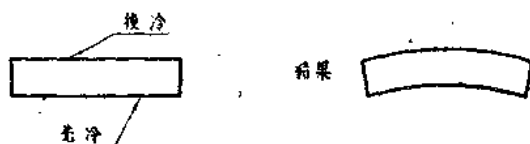


图 6

根据上述规律,我们改变了冷却的方法,其工艺如下:

600°C 0.5分/公厘, 860°C 0.25~0.3分/公厘, 淬入 $230 \sim 240^{\circ}\text{C}$ 中3分鐘后再淬入 $170 \sim 180^{\circ}\text{C}$ 中等温30分鐘取出空冷 $150 \sim 160^{\circ}\text{C}$ 配火1小时, 结果刀部向中心部分凹进0.05公厘以下, 效果良好。此方法是采用在 M_H 点以上进行分级淬火, 在 M_H 点附近(或以下)进行等温, 其目的是针对以前工艺所述的缺点而设的, 因为当工件淬入 M_H 点以上热液时, 减少了内外壁的温度差, 又由于此时工件塑性良好, 当内壁继续冷却时, 可使外壁的先冷面与内壁的后冷面的长度取得平衡。在 M_H 点以下进行等温的目的是使在淬冷过程中的热应力得到松弛或减少, 因而减少变形, 不致因自马氏体转变区域内迅速冷却使外壁因

迅速得到馬氏體而造成外壁伸長，造成突出。从图 7 可看出在 M_H 点以上 ($230 \sim 240^\circ\text{C}$) 处停留不会影响工件最后的硬度。

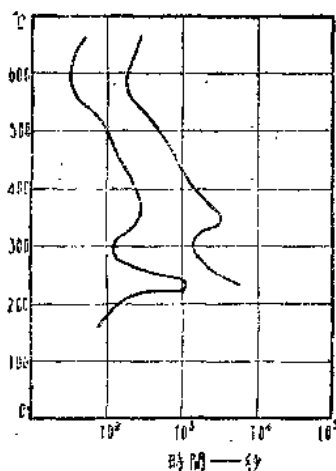


图 7

4. 高速鋼刀具减少变形的工艺

1. 成型滾刀减少尺寸变形的工艺:

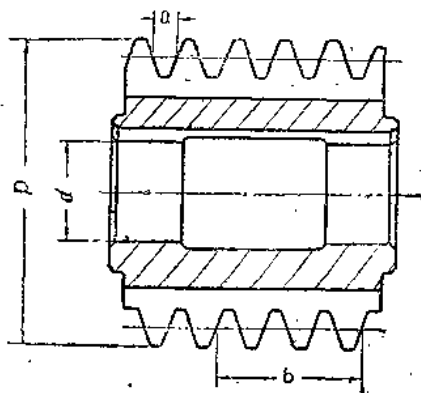


图 8

(1) 工件的材料規格:

鋼号: A18, 經鍛造加工, 碳化物偏析級別 <5 級, 有效厚度

$$= \frac{D-d}{2}。$$

(2) 工件的技术要求:

硬度 = $R_{c62} \sim 65$,

變形要求: 螺距公差 $a \pm 0.04$ 公厘;

三圈螺距公差 $b = 0.06$ 公厘。

(3) 工艺規程制訂的依据: 采用常規的热处理工艺, 淬火、配火后, 螺距漲縮达 ± 0.08 公厘, 軸向也略有弯曲变形, 尺寸漲縮在淬火后較小, 在配火后則甚大, 针对上述情况, 拟訂了下列措施:

甲、在粗加工与精加工之間, 施引消除应力处理, 减少淬火后弯曲变形, 間接减少尺寸变化的因素。

乙、在 560°C 配火处理时, 再繼續作 $280 \sim 300^{\circ}\text{C}$ 左右的等溫停留, 使殘留奧氏體部分的轉變為針狀屈氏體, 减少配火後的尺寸變化。

(4) 热处理工艺規程: 滾刀齿形經粗鏟后进行消除应力处理, 其規格为 $600 \sim 650^{\circ}\text{C}$, 6 小时保温后随爐冷却,

滾刀齿形經精鏟后进行下列热处理:

第一次預热: $600 \sim 620^{\circ}\text{C}$, 加热時間 = $(1' \sim 1.5') \times \frac{D-d}{2}$

第二次預热: $800 \sim 820^{\circ}\text{C}$, 加热時間 = $(0.5' \sim 0.75') \times \frac{D-d}{2}$

最后加热: $1270 \sim 1280^{\circ}\text{C}$, 加热時間 = $(6'' \sim 8'') \times \frac{D-d}{2}$

冷 却: $600 \sim 620^{\circ}\text{C}$, 冷却時間 = $(6'' \sim 8'') \times \frac{D-d}{2}$