

热处理

变形与开裂

浙江大学《新技术译丛》编译组

热 处 理

• 开裂与变形专辑 •

(译文集)

浙江大学机械系热处理专业 编译
《新技术译丛》编译组

1 9 7 3 .

热 处 理

• 开裂与变形专辑 •

浙江大学《新技术译丛》编译组出版

杭州市新华书店发行

浙江诸暨印刷厂印刷

*

定价：0.50元 （只限国内发行）

内 容 简 介

本译文集主要介绍热处理过程中发生开裂、变形等综合性的分析，同时对普通淬火、高频淬火、冰冷处理等所发生的若干问题提出了预防措施和防止方法。文章还列举了大小型钢件、齿轮、轴承等淬火变形的对策，并附实例说明。最后附有本译文集中举例的各种钢号的化学成份和相当于我国钢号的对照表，

本书可供从事热处理生产、科研和教学等有关人员参考。

前 言

毛主席教导我们：“一切产品，不但求数量多，而且求质量好，耐穿耐用。”提高产品质量，在我国社会主义建设事业中具有十分重要的意义。热处理工艺与产品质量的关系很密切。合理改善和提高热处理工艺水平是提高产品质量过程中不容忽视的一个重要方面。

开裂与变形是热处理时经常遇到的问题之一，它是造成热处理废品及增加返修工时的一个重要原因。因此，如何加以克服和防止，需要研究解决。为了贯彻“洋为中用”的精神，我们选译了国外有关这一方面的文章十三篇，供从事热处理工作以及有关同志参考。

“应当以中国人民的实际需要为基础，批判地吸收外国文化”。我们在编译时，对原文作了一些必要的删改，但由于我们的思想和业务水平不高，因此，在内容选择上和译文质量方面都存在着不少问题，希读者批评指正。

毛主席语录

路线是个纲，纲举目张。

备战、备荒、为人民。

鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义。

中国人民有志气，有能力，一定要在不远的将来，赶上和超过世界先进水平。

中国应当对于人类有较大的贡献。

目 录

1. 热处理时产生的缺陷及其防止措施.....	(1)
2. 淬火开裂和变形的防止方法.....	(8)
3. 热处理应力引起的缺陷及其防止方法.....	(18)
4. 防止淬火不均匀的措施.....	(40)
5. 普通淬火开裂的防止方法.....	(55)
6. 防止高频淬火开裂的措施.....	(68)
7. 渗碳淬火和热处理变形.....	(85)
8. 冰冷处理裂纹的防止方法.....	(99)
9. 齿轮的热处理变形.....	(107)
10. 防止齿轮淬火变形的的方法.....	(123)
11. 防止轴承淬火变形的的方法.....	(134)
12. 防止钻头和丝锥等刀具淬火变形的的方法.....	(145)
13. 大型钢件普通淬火开裂的防止方法.....	(158)
14. 附录.....	(172)

热处理时产生的缺陷及其防止措施

热处理中产生的缺陷大致分类如表 1 所示。产生缺陷的原因是各种各样的，大致可分为(1)温度，(2)加热方法，(3)冷却方法等三个方面。因此，应采取的相应的防止缺陷的措施也就从这三个方面来加以考虑。但是，即使如此，还有从何处着手较好的问题，若不知道首先应从何处入手，就必然要走弯路。现根据以往的经验加以说明。

热处理造成的裂纹

工件产生裂纹，必然是由于力的作用造成的。这种力包括从工件外部施加的外力和工件内部产生的内力。受外力作用的地方，肉眼可以看到，比较容易了解，而内力则是工件本身产生的，肉眼无法见到。因此，其害处也最大。外力所造成的裂纹是在工件使用中造成的，因此只要分析其使用条件，就能大体上查到产生裂纹的原因。但是，对于内力所造成的裂纹，其力的作用肉眼看不到，分析其产生原因就很困难。因此，当工件产生裂纹时第一要找出裂纹发生在何处，确定其发生的位置是很重要的，第二必须仔细观察其断口的形状。总之，一是位置，二是断口。

(1) 裂纹位置

如果工件有了裂纹，要用放大镜来确定裂纹发生的位置。截面(壁厚)突变的部分，尖锐的凹凸转角处，孔穴的

部分，不论是外力或内力，都是应力集中的地方，容易产生裂纹。这是淬火开裂和疲劳裂纹经常发生之处。因此，不使工件有壁厚的突变或有尖锐的尖角形状，是很重要的。在这种情况下即使淬火得法，能够防止淬火开裂，但在使用中也必然易引起应力集中，而产生疲劳裂纹。因此，改善物体不良的形状是首要的。可以把尖角改为圆角(倒角)；阶梯部分尽可能做成锥形；为使壁厚均匀，可以打一些孔，在孔中填入粘土或石棉等，再进行淬火。总之，形状不良是产生裂纹的根源。

如果发生裂纹的地方不是在尖角等处，而是在平面部分，则可以断定这不是由外力所引起的，而是由于热应力或组织应力等内力所造成或材料质地不良而引起的裂纹。这时，观察断口，找出裂纹的“基点”是非常重要的。

(2) 断口

物体如果产生裂纹，必须观察它的断口，这是首要的。断口有两种类型：即不光滑断口和光滑断口。物体产生裂纹必须有力的作用，但是应注意使物体断裂的力的作用次数，若是一次至数次，为不光滑断口，若是 10^3 至 10^7 次，则为光滑断口。淬火开裂或由于冲击而产生的裂纹是不光滑的，使用次数少的工件的断口也是不光滑的，但是使用次数多的工件，反复受到外力作用次数多的工件，则都是光滑断口。换言之，不光滑断口是突发型(冲击型)的，光滑断口是持久型(疲劳型)的。因此，观察断口，首先要区分是不光滑的，还是光滑的，确定是冲击型，还是疲劳型。

其次，任何断口必定有一个发生裂纹的“基点”(核)，找出这个“基点”是很重要的。这“基点”乃是裂纹的病根，因此不能搞错。找出这个“基点”的要点应是确定它是

属于冲击型的，还是疲劳型的。冲击型断口的放射线裂痕的“收敛点”和疲劳型断口中“年轮”的中心点，是裂纹的核。如图 1 所示（平行裂痕是在受压缩的一边发生的，它不是产生裂纹的原因）。

为了找出产生裂纹的原因，对于发生裂纹的“基点”，要从材料质地或应力方面来分析。到处乱找，不能找出正确的原因。而这种毫无收效的例子也是有的，如果从离开“基点”的地方来分析，就不能触到问题的核心。因此找出发生裂纹的“基点”是问题的关键。

“基点”（核）存在于物体的外表（表面）还是存在于物体的内部的大致原因是清楚的。“基点”（核）存在于表面时，裂纹是从表面发生的。若表皮不存在夹杂物，而有麻点、黑皮、刀痕存在，那么这是因力的作用所造成的裂纹。可以断定，以这些“基点”为中心的裂纹是由于拉力所造成的。若“基点”在内部时，则是因材料的缺陷或残余应力过大而造成

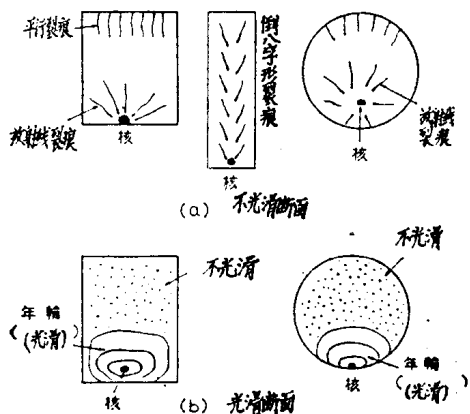


图 1 不光滑断面和光滑断面

成的。当施加外力时，物体所产生的应力，一般表面上的应力最大，裂纹往往从表面发生。但是，当材料进行高频淬火、火焰淬火、渗碳淬火等处理使其表面硬化时，淬火引起的裂纹也会出现在于材料的内部（硬化部分与非硬化部分之间）。

工件产生裂纹是由于应力造成的，因此不难想象，如果物体内部存在残余拉应力，就会助长内部裂纹的发生。而物体内部的残余拉应力是由于热应力造成的。因此在制造大型工件的空气冷却的钢材中发生这种内裂（或称老根裂纹）的情况很多。

总之，找出断口的“基点”，根据其位置分析引起裂纹原因的大致情况，是十分重要的。

（3）断口的色泽

刚产生的断口一般是不光滑的。震动（冲击）裂纹或淬火开裂的断口都是如此。水淬时产生的裂纹，由于粘附着水，往往产生红锈；油淬时的开裂，由于有油渗进，断口一般具有光泽。但是，断口发黑或变紫时，即使是同样不光滑的断口，情况就不同。总之，不能过早断定是淬火开裂。断口发黑的情况，说明淬火加热之前已经有了裂纹，可以断定这是由于加热时氧化物所致。一般以锻裂的情况居多。而断口发紫的情况，是回火时产生的裂纹，或在 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 长时间保温中未注意到的裂纹，或者是在 $400\sim 500^{\circ}\text{C}$ 间短时回火所产生的裂纹。疲劳断口往往发黑色光泽。

（4）同样的裂纹，重要的是区别热裂

如果工件表面产生裂纹，必须区别是热处理裂纹还是热裂。热裂产生在淬火后未回火的工件或低温回火（ $100\sim 200^{\circ}\text{C}$ ）的工件表面上，它只在受到摩擦热或火焰热时发生的。

而且，其形状也特别。它出现在垂直或平行于摩擦方向上，呈较规则的或细小的裂纹，在磨削时热裂的裂纹和磨加工方向呈90°平行线或龟纹状裂纹。而且，其深度极浅，为0.1毫米。因此，要与热处理裂纹明确区别。

表 1 热处理的缺陷及其防止措施一览表

热处理类别	缺 陷	原 因	防 止 措 施
退火	氧化 脱碳 软化不够 渗碳体 石墨化 过热 过烧	在氧化性气氛中加热 氧化速度 $<C$ 的扩散速度 温度过低，冷却速度大 高温，长时间退火 加热至1100℃以上 加热至1200℃以上	调节炉内气氛，光亮退火 调节炉内气氛，增碳 保持正确温度，重新退火 保持正确温度，退火保温时间适当 注意温度 " "
	淬火开裂	形状不良 快速完全冷却 淬火后放置不加处理 (未及时回火)	改善工件形状 断续(双液)淬火，分级淬火 淬火后马上回火
淬火	自裂 (搁置开裂)	残余奥氏体转变为马氏体 (马氏体化)	淬火，回火，冰冷处理
	淬火变形	不均匀加热 不均匀冷却 不适当的加热支持方法 加工引起的变形	均匀，缓慢加热 分级淬火，用夹具进行校直淬火 跨度 <3 倍直径 淬火前先退火
	自行变形 (搁置变形)	淬火组织的变化	淬火，回火，冰冷处理
	淬火不均匀	冷却不均匀 氧化、脱碳	拌搅淬火液，盐水淬火 防止氧化脱碳
	硬度不够	淬火温度过低 冷却速度不当 残余奥氏体 其他钢种混入	保持正确淬火温度 以临界冷却速度以上的快速冷却 冰冷处理 进行火花检查
	回火裂纹	回火时快速加热 由回火温度急速冷却	缓慢加热 缓慢冷却
回火	回火过度	回火温度过高	保持正确回火温度
	研磨烧伤	使用砂轮时砂粒孔隙堵塞 研磨强度过大	排除砂轮故障 注意研磨
研磨 (磨削)	磨裂	研磨的工件只经淬火面未经回火	在100~200℃回火后研磨 在300℃回火后研磨

用锉刀检验是否变硬

热处理，特别是淬火是使钢变硬的一种处理方法，淬火后，检验一下是否变硬，是必要的。为此，可使用硬度计。首先，用锉刀试一试，如果锉不动，可以认为淬火已合格。但是，即使锉刀锉不动，而用硬度计测量，很软的情况也还是可能存在的。渗碳淬火等的工件往往可以看到这种现象。这时，可以进行冰冷处理。处理后变硬，锉刀当然就锉不动，硬度计测出来也是硬的。总之，锉刀锉不动，而硬度计测出来又不够硬时，就有必要进行冰冷处理。如锉刀锉得动，硬度计测出来又软时，这就已无可挽救了。锉刀锉不动，而硬度计测出来又软时，是由于残余奥氏体多的缘故，通过冰冷处理就可以解决。淬火后，表面软时，不能过早断定是残余奥氏体过多，还要通过锉刀能否锉得动来加以判断。

热处理中首先想到的当然是最常用的锉刀。使用锉刀可发现淬火硬化效应不均匀或不足之处。对于刀具、冲头、或冲模都必须知道刀口部分的硬度，而用任何硬度计都无法测量刀口部分，特别是刀尖部分的硬度。若用硬度计来测量硬度，通常应从刀尖部分开始。换言之，该部位的硬度是无法测量的。如进行切削试验，刀尖就有缺口或卷边。这也是刀尖的硬度不进行测量的原因之一。这时就不使用硬度计，而使用锉刀。因为通过锉刀可以了解必要部位的硬度。因此，在刀尖发生缺口或卷边等缺陷时，锉刀就能发挥它的作用。

淬火变形的规律

淬火变形有两种。一种是尺寸变形，即伸长和收缩；而

另一种是形状变化，即弯曲和翘曲。淬火是利用其组织的变化，因此由于组织变化造成的伸长和收缩是不能防止的。换言之，伸长和收缩是在淬火时发生，要防止这种情况，就只有不进行淬火。但是弯曲和翘曲则可防止。如果出现淬火弯曲，凸出的一面要考虑使其提早冷却。刚开始冷却时，先冷却的一边成为凹状，但是冷却后的最终结果，则成为凸状。先冷却的一面再加由于马氏体的膨胀，就显得更凸出了。因此要防止弯曲，就要设法延迟凸出部分的冷却。

当淬火完全淬透，即为“穿透”淬火时，工件如图 2(a) 那样呈腰鼓形；如完全无淬火效应，则如(c)那样呈鼓形。在两者之间，则为未穿透淬火(外层淬硬)，此时工件变为如(b)状。所以只要把淬火工件在放在玻璃板上的砂纸上磨一下，就可以大致了解淬火的情况。当砂纸上磨过后，如果四周接触，则工件得到穿透淬火，为腰鼓形；如果只在面的中心接触，则工件未淬硬，呈鼓形；如四周和中心都接触，则为未穿透淬火。这是简单了解淬火效应的较好方法。以上是对于裂纹、硬度、变形三种情况及所采取的防止措施的简单说明。

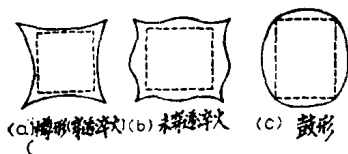


图 2 淬火变形

(译自“金属材料”第 6 卷，第 1 号，7~10 页)

淬火开裂和变形的防止方法

钢材有各种不同的种类，它们大致在 $550\sim 600^{\circ}\text{C}$ 以下受到应力时，就发生部分变形。但是即使全部发生了塑性变形，也不能完全消除应力，而有一部分应力残留在内部。如果一个一定尺寸的钢块，从高温快速冷却时，其外部先冷却，而随后当内部在冷却收缩时，就有残余的压缩应力留在外壳上，如图1(a)的热应力型曲线图所示。一般淬火所利用的是马氏体转变，而这种转变温度大多在 250°C 以下。这时，由于内部的转变较外部为迟，当内部转变为马氏体而膨胀时，外壳已完全冷却，因此内部要“胀开”外部，而使外壳产生如图1(b)所示的残余拉伸应力。在高频淬火时，仅表面从高温快速冷却而形成马氏体，并从未转变的内部“胀开”，但受内部的牵制而使外壳产生残余压缩应力。如果对

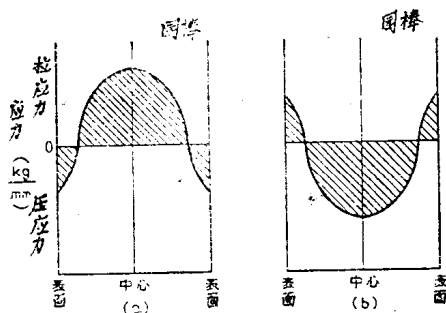


图1 (a)热应力型(b)具有残余的拉伸应力

原文作者 今井勇之进

表面进行喷丸处理，表面的体积发生膨胀，因此同样要从内部“胀开”，但受内部的牵制而产生残余压缩应力，使疲劳强度增加。钢的热处理应力是这种热应力和组织应力的综合，但是在马氏体转变时，尽管温度很低，奥氏体在转变时具有的热应力消除了，只有残余的组织应力。

关于热处理中产生残余应力的问题，德国Buhler, Scheil和Buchholtz以及其同事们经过了30年以上的研究，美国Spretnak等，日本矶村和他的同事们，都有很多研究。在关于热处理应力的汇编[1]解说[2]中，矶村已作了不少工作，一般论述这里就省略了。这里主要介绍的是以减少热处理应力为目的，对淬火开裂和变形的防止方法。

马氏体时效处理*

在二次大战中，作者对镍钢进行热处理时，发现淬火硬度高的一部分，变形未必很大，变形的大小仅取决于马氏体转变的速度，而和马氏体的量无关。以后，对含有C 0.80%，Cr 1.62%，Mn 0.31%，Si 0.02%，Mo 0.20%，Ni 0.24%的锻造轧辊钢加热到850℃，保温十分钟后水淬及油淬，与在100℃的油中，150℃，200℃，250℃以及300℃的熔融盐浴中淬火，并在各个温度保持不同的时间（表1）后进行水

表1 等温处理

850℃ (10分)	300℃	10 10 1 3	保持時間	水 冷
"	250℃	10 10 2 5	S 油浴 (開始)	"
"	200℃	10 10 2 10 30	"	"
"	150℃	5 5 5 5 4 8	"	"
"	100℃	5 15 10 10 5	"	"

* 马氏体时效处理，实际上相当于习惯上所用的马氏体分级（或等温）淬火——译注

淬，再用膨胀仪测定经不同热处理时的马氏体转变速度（图2），分析马氏体的量（图3，用磁化强度表示）和最大残余应力（图4），并用直径为5毫米，长度为70毫米的棒状试样各10根进行淬火，找出其中产生裂纹的根数（图5）。

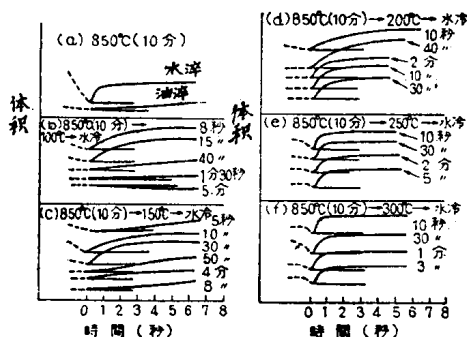


图2 850°C加热10分钟再在不同温度的介质淬火保持不同时间后再水淬时的体积变化

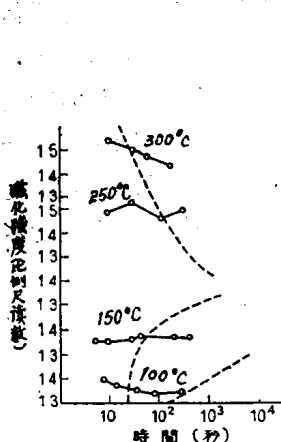


图3 不同温度等温转变的试样的磁化强度

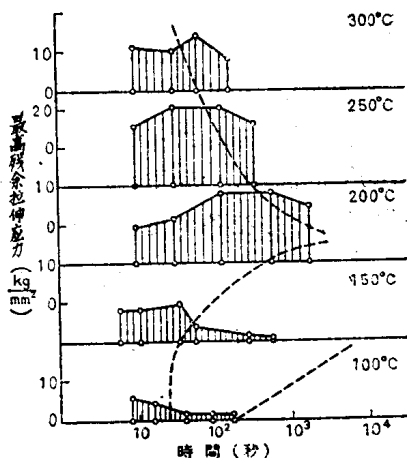


图4 不同温度等温处理的试样中的残余应力