防止模具淬火变形和开裂的措施

空军第一航空学院 （河南信阳 466000） 宋述稳 徐先懂 张学民

一、引言

模具钢通常碳及合金元素含量高，这种钢在淬火时，一方面要求有足够的冷却速度以获得马氏体组织，保证所需要的力学性能，另一方面又要求尽量降低冷却速度避免因内应力过大而造成变形和开裂，这是热处理淬火时所面临的矛盾。特别是对凸、凹模的热处理，有时凸、凹模形状复杂，而且体积大，很容易变形和开裂。要防止变形和开裂，除了在热处理时制定合理的热处理工艺外，在模具设计和机加工中也要充分考虑淬火时的变形和开裂，设计合理的结构并采用相应的加工方法，以保证模具的热处理质量。

二、淬火变形和开裂的原因

淬火变形和开裂主要是淬火时形成的内应力引起的。根据内应力形成的原因不同，它分为热应力和组织应力两种。热应力是由于工件在加热或冷却的过程中，零件各部分温度变化不均匀，从而使各部分热胀冷缩的情况不相同造成的。工件表层与心部温差越大，热应力也越大。组织应力是由于奥氏体间马氏体及其他转变产物的比容不同，而钢件在加热和冷却过程中存在温度差，从而导致各部分进行组织转变的非同时性和不一致性而形成的内应力。工件淬火中的变形和开裂是热应力和组织应力综合作用的结果，当两种应力叠加后的瞬时应力超过钢的屈服极限时，工件就发生塑性变形。当瞬时应力超过钢的强度极限时，工件就发生开裂。

造成淬火内应力过大的主要原因有以下三个方面：

（1）设计质量不好　设计质量不好主要包括零件的选材不当和结构形状设计不合理等。

（2）加工质量不高　主要指锻造质量、机加工质量不高。

（3）淬火工艺不正确　淬火工艺不正确是工件淬裂的主要原因之一，尤其是冷却介质及冷却方式

（3）技术含量高、结构先进、性能优异、使用便捷的快换冲切装置，无噪声的侧冲装置等也是今后发展的趋势。

三、加速模具标准件发展应解决的问题

1. 标准化是基础

首先是设计部门要大力采用标准化的设计（如按国标、行标、ISO 标准等）；其次是要修订和制定新的标准，特别是创造企业的名牌标准（如：日本的“三柱”，“三协”，德国的“哈斯科”公司标准，在世界上均是较有影响的企业标准）。

2. 商品化是关键

要大力协同，搞好联合和协作，促进新标准件的开发进程，扭转“供不应求”和交货期不及时的局面以及模具厂家对新型标准件（如氮缸）的需要。

3. 专业化是方向

只有专业化才能进一步提高质量和效率，降低成本，才有出口的竞争力，但要专业化又与资金投入和产品的市场性有关，这需要权衡利弊综合决策。

四、结束语

（1）模具标准件是国家扶植，用户需要的产品，但目前市场“缺口”较大，要实现模具行业“十五”规划中提出的将模具标准件使用覆盖率提高到 60%，2010 年达到 70% 的目标，仍是本行业的艰巨任务。

（2）要扩大模具标准件的使用覆盖率应坚持标准化是基础，商品化是关键，专业化是方向的原则。

（收稿日期：20030410）
资料索取编号：SC1227

选择不当极易造成零件的变形和开裂。另外淬火温度过高、加热过快或加热不均匀、淬火后未及时回火、重复淬火前未进行退火处理等，也易使钢件产生变形和裂纹。

三、减少热处理变形和防止开裂的措施

要减少热处理变形和防止开裂最根本的措施是减少热处理时的内应力。根据内应力产生的原因，在模具的设计和制造过程中，从模具的结构及零件的设计、选材、机加工、热处理等主要环节（特别是热处理环节）均要采取相应的措施，减少热处理应力的产生，以防止变形和开裂。

1. 模具结构设计

不合理的设计常常给热处理工作造成极大的麻烦，或使零件淬火时产生裂纹而报废。在模具设计中对需要热处理的零件，其尺寸和结构的确定要合理，避免造成应力集中。

（1）凹模要有合理的壁厚　凹模或模框的型孔大小与截面尺寸要均匀合理，在整个工件范围内质量分布均匀。一般凹模或模框的壁厚应不小于模板厚度的两倍。

（2）合理的过渡圆角　在零件的结构中，采用锐角或尖角过渡会使淬火应力集中而造成较大的变形或开裂。为此冷冲压零件的几何形状应尽可能避免尖角或锐角，采用合理的圆角过渡，能有效地减少变形和避免开裂。

（3）避免相差悬殊的截面　模具零件应尽量形状简单、对称，各部分转接处壁厚差别要小并平滑过渡，避免产生过大的应力集中。特别是零件上的孔或模腔不应使零件产生薄弱环节。

（4）适当增加工艺孔　模具的某些部位淬火时应力比较集中，适当增加工艺孔以分散应力，是防止较大变形的有效方法。

（5）采用封闭工艺　对于某些开口结构的零件，可在制造过程中采用封闭工艺，淬火后再用线切割除去封闭，可以防止开口处的较大变形。

（6）采用镶拼结构　型腔形状复杂和大尺寸的凹模，应采用镶拼结构，可使模具化繁为简、化大为小，变模具内表面为外表面，不仅便于冷加工，还可从根本上消除淬火变形。所有镶拼块淬火后磨削成形，并用模框紧固。

2. 合理选用钢材及确定技术条件

钢材选择是否恰当，对热处理工艺和质量以及零件的性能有很大的影响，例如含碳量愈高的钢，淬火后的硬度和脆性大，体积膨胀也大，产生的组织应力也就大，因而容易产生淬火裂纹。具体选择钢材时应考虑如下原则：满足零件服役条件要求；具有较好的加工工艺性能；具有较好的经济性。

合理确定技术条件是预防开裂的途径之一。用局部硬化或表面硬化即可满足使用性能的要求，尽量不要求整体淬火；对整体淬火的，局部可以放宽要求的话，尽量不强求硬度一致。

3. 正确锻造和预备性热处理

相当数量的模具零件是经过锻造，再经过机械加工成形后送入热处理车间的。锻造的目的不仅仅是使零件粗略成形，它的另一个重要目的是通过锻造消除毛坯的冶金组织，例如偏析和缩松等，尤其是高碳高合金钢可使网状碳化物呈弥散均匀分布，细化晶粒，以提高钢的内部组织质量，可有效减少热处理时的组织应力。特别应注意若锻造工艺不当易引起裂纹，例如锻造加热不当、变形不合理、终锻温度过低、锻后冷却不当等，均会引起锻造裂纹。对重要的零件毛坯，锻后应检查裂纹，防止存在裂纹件进入下道工序，造成浪费。

淬火前进行预备性热处理，可消除工件在前面加工过程中产生的内应力，为淬火作好组织上的准备，对减少淬火变形和开裂都是有效的。

4. 制定合理的制造工艺，确保加工质量

机械加工零件的表面质量对零件热处理和性能也有影响。表面质量不良会降低零件的性能，并有可能成为热处理失败的原因，这一点常常被忽视。

机械零件的疲劳损坏大多从表面开始。因此，零件加工后的表面状态对钢的疲劳强度影响很大，表面越粗糙，疲劳强度降低越明显，尤其是高强度材料降低的幅度更大。另外零件表面存在残余应力，需要在热处理前预先消除，否则可能产生淬火变形或裂纹。零件上的压痕或划伤，热处理时也可能引起开裂。

制造工艺直接影响着模具的精度、质量与寿命。制定加工工艺路线应选择合理的加工方法、加工顺序、热处理工艺，尤其是要正确划分加工阶段（一般是粗加工、半精加工和精加工），并采用现代化的加工设备，避免留下过大的残余应力。另外对

钢件薄弱的部位，机加工时多留余量，以防淬火变形，待淬火后再加工至规定尺寸。

5. 淬火前的预防措施

对采取急冷介质淬火的零件，应采用以下预防措施，防止变形和开裂。

（1）堵孔：对淬火易裂的部位，如键槽、销钉孔、螺钉孔等，用石棉绳堵塞，以防四周淬火开裂。

（2）绑扎：将尖角及截面单薄的部位用铁皮或石棉、水泥绑扎，以防这一部分淬火变形过大。

（3）封闭内孔：将不必淬硬的部位用螺栓垫圈将内孔封夹起来，变整体淬火为局部淬火，以减少变形。

（4）吊孔：淬火前零件以用铁丝整体吊扎为好，孔位处的局部吊扎会使加热时变形更大。

6. 正确的淬火回火工艺

（1）正确加热　淬火温度不得过高，应正确选定加热温度与时间，避免奥氏体晶粒粗大，降低钢的强度极限。对形状复杂或导热性差的高合金钢，应该缓慢加热或多次预热，以减少加热中的热应力。

工件在加热炉中的安放方式，要保证受热均匀，并防止加热时由于工件的自重而变形。

（2）合理选择冷却介质，正确冷却　冷却介质是影响淬火质量的重要因素。在选择淬火冷却介质时，应使冷却速度大于钢的临界冷却速度，以获得马氏体组织。但是冷却速度又不能太快，过快会产生过大的内应力，容易变形和开裂。比较理想的冷却速度是：在淬火温度区内较高温度时缓慢冷却，以减少因高温快冷而产生较大的内应力；在淬火温度区的中部要快冷，因在该温度区内，奥氏体最不稳定，要避免奥氏体发生分解转变；在淬火温度区的较低温度应缓慢冷却，以便减少马氏体转变时所产生的组织应力，不再因快速冷却而增添较大的热应力。目前还没有一种十分理想的冷却介质能满足理想的冷却速度要求。因此这就要求我们在进行淬火时应根据零件的具体情况来选择较为适宜的冷却介质。如碳钢的过冷奥氏体稳定性差，淬火临界冷却速度大，可采用冷却能力较强的水、盐作为冷却介质；合金钢淬火冷却速度小，淬透性大，可采用冷却较为缓慢的矿物油作为淬火冷却介质。另外根据本单位的实际情况可采用水玻璃以及过饱和硝酸盐水溶液等淬火介质，它们能使高温区的冷却能力接近于水，低温区的冷却能力接近于油。

根据实际生产的需要，要不断研制新型的冷却介质，满足热处理要求，或采用不同的淬火方法，以弥补淬火冷却介质的不足。例如采用双液淬火、分级淬火、等温淬火等，均能有效减少淬火内应力。

模具淬火冷却的方向根据其形状和结构来确定。具体操作应做到：①轴类零件水平淬火或滚动淬火，这是我国创造的淬火法。实践证明，只要正确掌握淬火操作，水平淬火、滚动淬火均比垂直淬火变形小。②盲孔零件孔口向上冷却。③截面不一致零件大截面先行冷却。④板类零件平行垂直冷却或采用在压力下进行淬火，淬火后再用夹板夹紧进行回火，可以使翘曲变形得到进一步矫正。⑤模圈（模框）平行冷却。⑥局部淬火时过渡区梯度冷却。上述原则在采用急冷介质时尤为重要。

（3）模具淬火后及时、充分回火　合金钢模具最好作双重回火，即第一次回火达到硬度要求，第二次低温回火再消除应力。高合金模具钢应多次回火，才能达到消除应力的目的。

四、结束语

模具制造一般批量不大，对成功率的要求很高。模具热处理质量特别是凸、凹模的热处理质量是决定模具寿命的重要因素之一。淬火时的变形和开裂是比较复杂和严重的缺陷，往往造成工件报废，直接影响生产的进度。设计人员在设计模具时要采用优化法，合理确定模具的尺寸和结构，并合理选材，提高模具的热处理性。对于加工人员特别是热处理人员要不断研究分析热处理变形和开裂的原因，摸清其规律，不断探索减少和预防变形和开裂的措施。在热处理时充分考虑模具的尺寸和结构，采用合理的热处理工艺，特别是要不断加强新型冷却介质的研制，探索不同钢种所采用冷却介质与淬火方法的最佳结合，防止变形和开裂，提高模具的热处理质量。

（收稿日期：20021220）