

一胜百工模具钢

# 锻造工模具钢



# 热锻造

在热锻过程中，被加工材料在模具中被锻压成接近最终产品的形状。这些部件大部分都有复杂的形状，并兼有良好的机械性能。固态金属部件一般是由铝合金、铜合金、钢铁和超合金制成的。主要的热锻机器是锤锻和压力机锻。

## 锤锻

锤锻的特点是锻锤与模具接触时间短，载荷的增加速度快（冲击载荷）。如果包括连击的间隔时间，那底模的累积接触的时间是相当长的。然而，由于润滑液的广泛使用，工件和模具之间有效的碰撞只发生在锻锤撞击的过程中。

这些锻造特性要求锻造模具必须具有良好的冲击韧性和塑性。但这并不意味着抗磨损性能不重要，尤其针对磨损失效较为普遍的小尺寸模具。在锤锻工艺中，可以使用抗磨损性能更高的模具钢镶件镶嵌在高韧性的套件上，从而获得兼具高韧性、高塑性和高抗磨损性能。



## 目录

热锻造	2
温锻	5
连续锻造	6
锻造参数对模具寿命的影响	8
模具设计与模具寿命	9
模具材料要求	10
锻造模具的生产和维护	12
表面处理	12
锻造应用产品介绍	14
钢材和硬度选择	15

“一胜百”（ASSAB）和徽标是注册商标。本文所载资料，是根据我们目前的知识水平所编写，目的是提供对我们的产品及使用的一般建议，因此不应当当做是描述产品特定性质的保证，或者被用于其它特定用途。每个一胜百的用户应当自己判断选择一胜百产品和服务的适用性。

202105024 版本

对于大型高产量的锤锻模具，生产中必将经历多次下沉，因此模具材料需具备良好的淬透性。否则，多次型腔下沉将导致淬透性差的模具基体中硬度降低，从而模具出现严重的磨损。

### 压力锻造

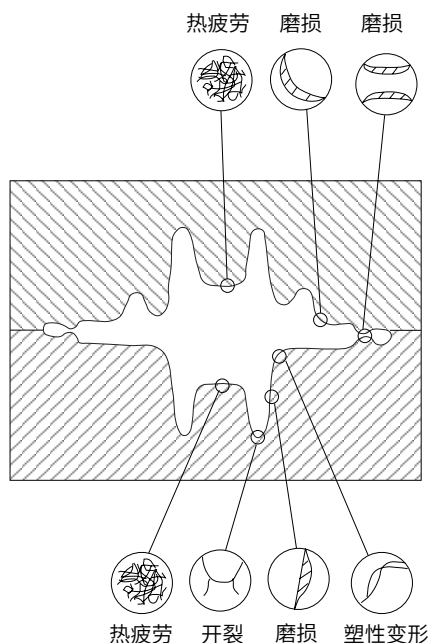
在加压锻造中，工件和模具的加压接触时间较长，但载荷明显比锤锻低。这意味着热抗性和热磨损抗性比冲击韧性更为重要。然而，需要优化冲击韧性、塑性与抗磨损性能的关系，尤其是全包围支撑的大型模具。因为从总体看，压力锻造过程中模具的表面温度比锤锻高，所以至关重要的一点是，模具表面添加的润滑液应保证模具不会出现过度降温。否则，会导致过早出现热裂纹，甚至热应力开裂。

### 典型的模具失效形式

锻造模具的失效通常与多种因素相关，但其中某个因素占主导因素并会导致最终失效。综合而言，失效机制主要分为如下4种：

- 磨损
- 整体开裂
- 塑性变形
- 热疲劳开裂(热开裂)

不同的失效机制会导致模具的不同部位形成孔洞。



### 磨损

如果其他失效形式都避免了，最终锻造模具会以磨损失效形式报废(零件公差)。在较高的压力下，工件及表面氧化层一起与模具表面发生快速滑动，容易出现磨损。在凸起圆弧或其他突起部分，磨损尤其明显。同时，降低锻造温度会剧烈加速磨损(工件的流变应力更高)。

采用油基润滑液时，锻造过程中由于润滑液在狭小空间中氧化燃烧，会发生爆炸，同时也会引起腐蚀磨损。



磨损

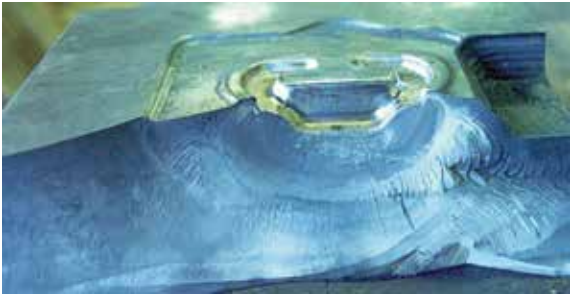
### 整体开裂

锻造模具会发生整体开裂导致模具失效。这可能发生在一次或者多次生产周期后。多次循环导致的开裂主要是高应力疲劳机制引起的。与加压锻造相比，整体开裂更容易在落锤锻造过程中发生，因为落锤锻造冲击能量更高。



整体开裂几乎都是能够避免的。正常情况下,开裂通常由如下的一种或几种因素导致的:

- 过载(如工件温度过低)
- 模具设计(如圆角过小或者壁厚过小)
- 模具预热不当
- 模具钢的韧性不足(模具钢材选择不当)
- 模具材料硬度过高
- 热处理或者表面处理不当
- 模架使用不当/ 模具精度低



整体开裂模具

### 塑性变形

材料所受的应力超过了材料的屈服强度,会发生塑性变形。塑性变形通常发生在小圆角突起部分或者长而薄的组件上(如冲头),因为这些位置受到较高的弯曲应力。

锻造模具中可能导致塑性变形的因素:

- 加工零件温度过低(工件流变应力高)
- 模具钢的热强度不足
- 模具温度过高
- 模具材料硬度不足

### 热疲劳开裂

在热锻造过程中,型腔表面温度存在剧烈变化,容易发生热疲劳开裂。原因是模具表面温度的变化会引起热应力和热应变,并通过低周疲劳机制开裂(热开裂)。

以下因素会加剧热疲劳开裂:

- 型腔表面温度过高(工件温度过高或工件与模具接触时间过长)
- 模具表面过度冷却
- 模具预热不当
- 模具选材不当或者热处理不当

以上所有因素都会增加模具表面的温差,并增加热疲劳开裂的风险。



## 模具材料性能

锻造模具钢所需的强度在一定程度上是由锻造的类型,被加工的材料,加工工件的尺寸,型腔面的深度等决定的。但大体上,锻造工艺都体现一些共有的特征。

- 抗回火性能或者较好的红硬性(抵抗磨损、塑性变形和热疲劳开裂)
- 高温强度和高温硬度(抵抗磨损、塑性变形和热疲劳开裂)
- 低温和高温下保持良好的韧性和塑性,且要各向同性(抵抗整体开裂,热冲击开裂,热疲劳开裂)
- 合适的疲劳抗性能等级(抵抗整体开裂)
- 高淬透性(模具变形后,抗磨损性能的保持能力)
- 适合焊接修理
- 良好的机加工性能,尤其是预硬模具钢

## 温锻

温锻是一种温度在550-950°C范围内的高精度锻造工艺。温锻适合生产形状复杂的产品,相比热锻造具有更好的产品外观和更高的尺寸精度。

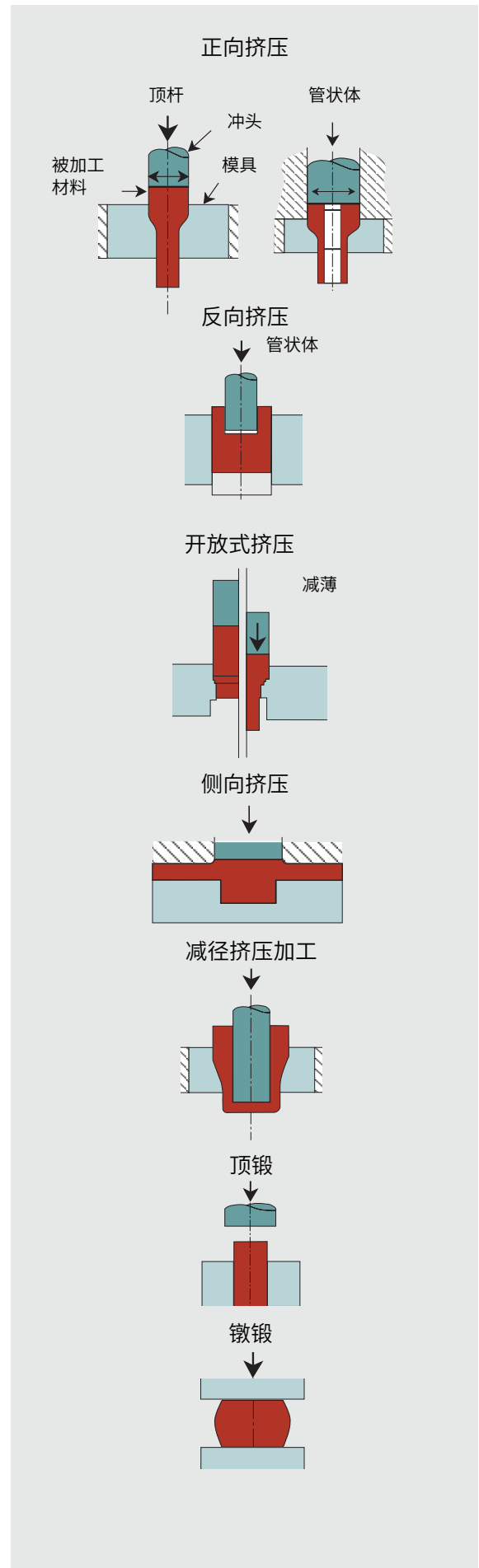
温锻产品的重量一般在0.1-50kg之间。生产效率一般为每分钟10-40件,保压时间约200ms。在600°C温锻的载荷比热锻要高3到5倍,通常都配有多工位自动压力机和完备的冷却/润滑系统。

## 典型失效形式

在温锻过程中,模具承受高温、高载荷和强冷却。激烈的加热和冷却导致模具材料发生热疲劳。此外,较高的表面温度和机械应力容易导致热磨损。

## 模具材料性能

温锻模具在工作时承受高的机械载荷和热应力。因此,必须选择具有较高的回火抗力、耐磨损性、热屈服强度、抗疲劳性能和良好的导热性能的材料。温锻用模具钢的性能应介于热作模具钢和冷作模具钢之间。



温锻的几种典型加工工艺

## 连续锻造

在锻造工艺中,许多形状对称的精密锻造工件重量可达5kg。全自动锻造生产线包括热轧棒材供应、电感应加热、切割至要求尺寸,经过3-4次塑性变形,最终卸下锻件。

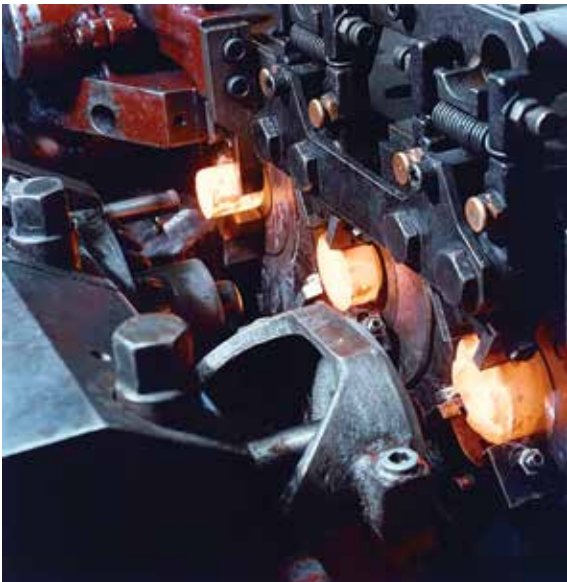
根据不同的锻造压力,锻机的产能一般为50-180件每分钟。

### 典型的失效形式

锻造过程中使用的部件,如模具、顶杆、顶杆固定板、冲头和反向凸模(脱模器)都要承受很高的应力。

由于生产速度快,且模具需要通冷却水以防止过热。即使通了冷却锻造过程中模具跟高温的被加工金属只有短时间的接触,但模具表面仍然具有很高的温度。由于不断加热和冷却带来的温度变化,模具承受很高的热疲劳应力。热疲劳开裂的程度是模具寿命的一方面因素。

还有一个影响模具寿命的因素是热磨损,这是由模具表面温度和机械应力决定的。

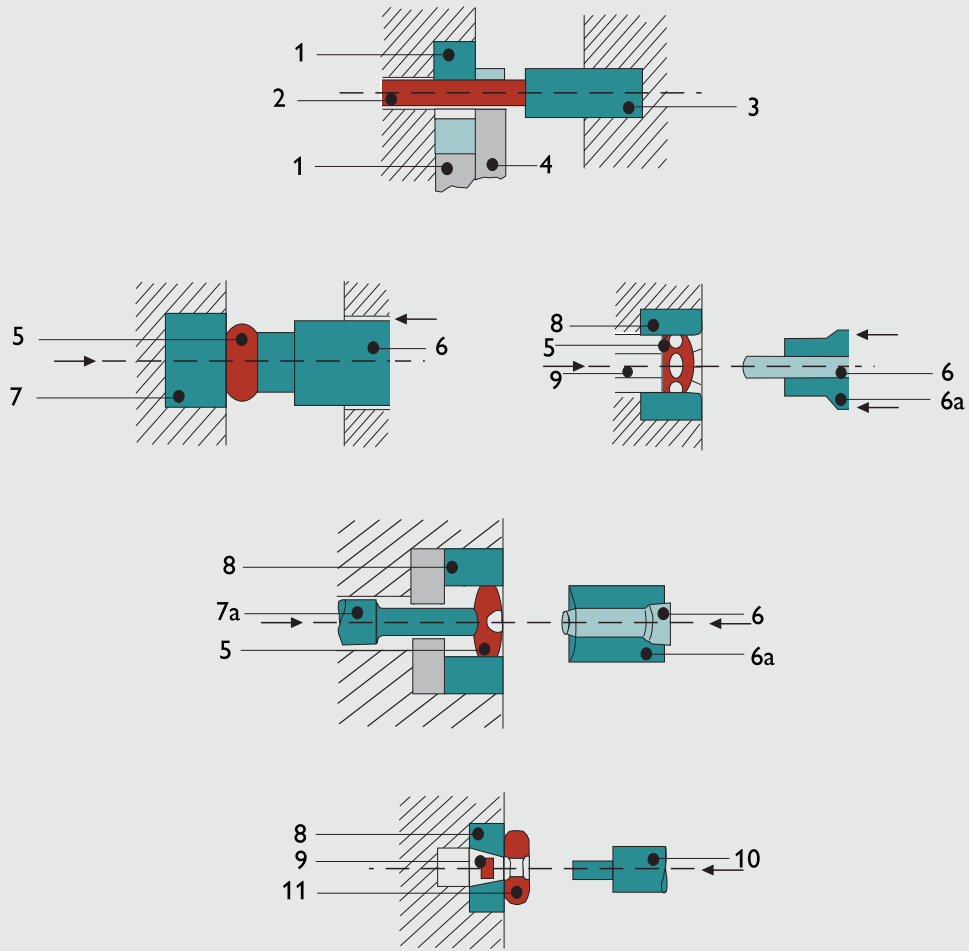


## 工具钢材料的性能

热变形模具的性能要求:

- 较高的高温强度和回火抗性,以减少热磨损和抵抗热疲劳开裂
- 良好的导热性,抵抗热疲劳开裂
- 较好的热塑性和韧性,抑制热疲劳裂纹的萌生和扩展

### 全自动锻造加工过程



1. 双向切割夹具
2. 被加工金属
3. 尺寸定位器
4. 切割机
5. 坯料
6. 压杠
- 6a. 空心压杠
7. 模座
- 7a. 反向凸模 / 脱模器
8. 模具
9. 金属废料
10. 冲孔器
11. 产品

## 锻造参数对模具寿命的影响

除了模具本身材料、热处理或者表面处理外,还有许多锻造参数影响模具的寿命:

- 坯料温度
- 坯料形状和表面状态
- 被加工材料类型
- 型腔受力情况和接触时间
- 锻造类型
- 润滑剂类型

### 坯料温度

从工件锻后的机械性能看,降低锻造温度是最佳的工艺控制手段。特别是对锻造后不做热处理的工件尤为重要。然而,降低锻造温度会增加工件的流变应力,这会增加磨损和塑性变形的风险。同时,增加的锻造压力也会增加模具整体开裂的风险。

### 典型的热锻温度

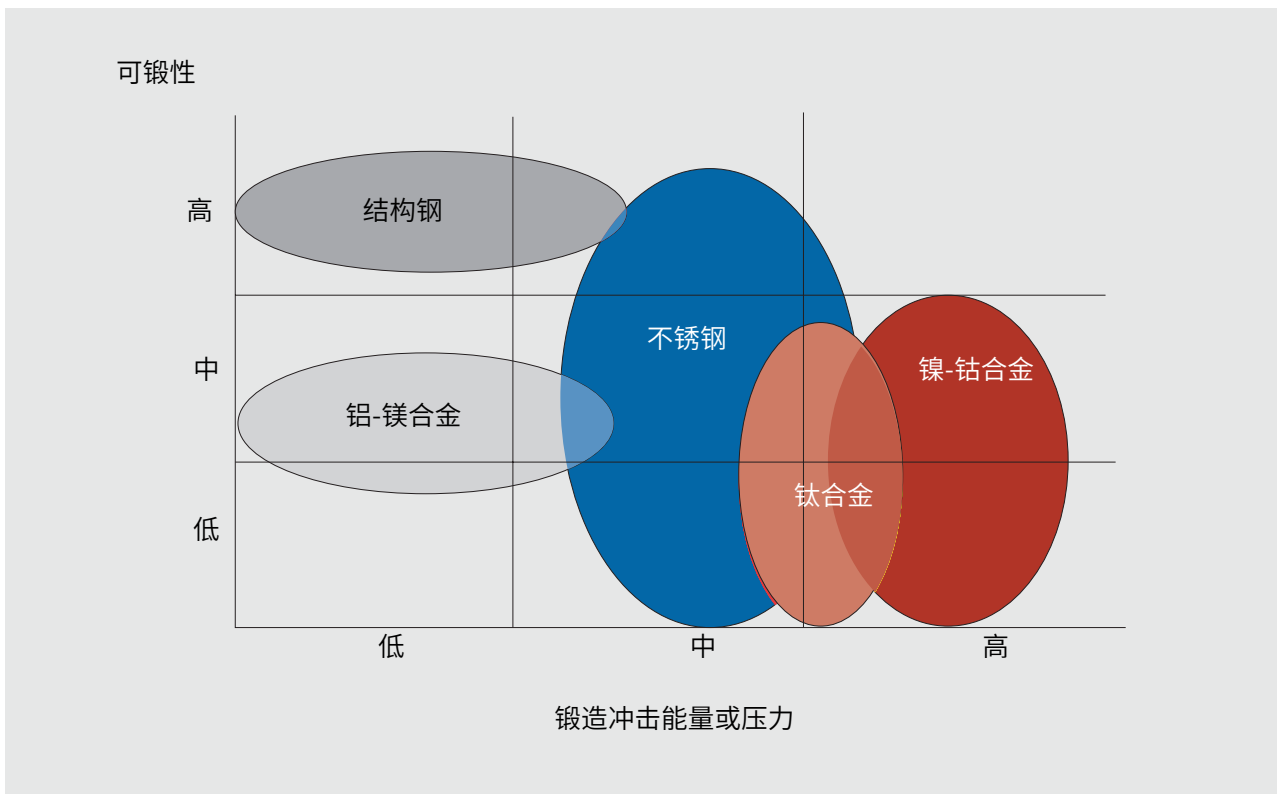
高合金钢	1050 - 1250°C
铜合金	650 - 800°C
铝合金	350 - 500°C
钛合金	800 - 1000°C

### 坯料形状和表面状态

坯料的形状和最终产品的形状差异越大,加工工件与模具的相对位移越大,磨损也就越严重。同时,坯料表面粘附的硬质颗粒会增加磨损,尤其针对锻造过程中坯料的相对运动行程较长的情况。

### 被加工材料类型

被加工材料的流变应力越大,模具材料的磨损或者塑性变形就越严重。高的流变应力也会增加整体开裂的风险。因此,在相同温度条件下不锈钢比普通碳钢更难锻造加工。



不同类型材料的可锻造性



## 型腔应力状态和接触时间

增加型腔所受应力,如在精密锻造中,会导致如下结果:

- 增加应力会增加开裂和塑性变形的风险
- 增加工件向模具的热传导(热应力开裂)
- 加快模具的磨损

锻造过程中延长模具和工件的接触时间,会导致磨损的积累,并增加热开裂的风险。如果接触时间过长,模具的表层温度过高,可能发生奥氏体化转变。转变在后续的冷却过程中,这些奥氏体化区域发生相变硬化,容易引起开裂。

## 锻造类型

在落锤锻造过程中,冲击载荷很高,开裂风险比低载荷的压力锻造高。在粉末锻造和其他近网状锻造过程中,由于接触时间长,热疲劳(热应力开裂)开裂较为普遍。

## 润滑剂类型

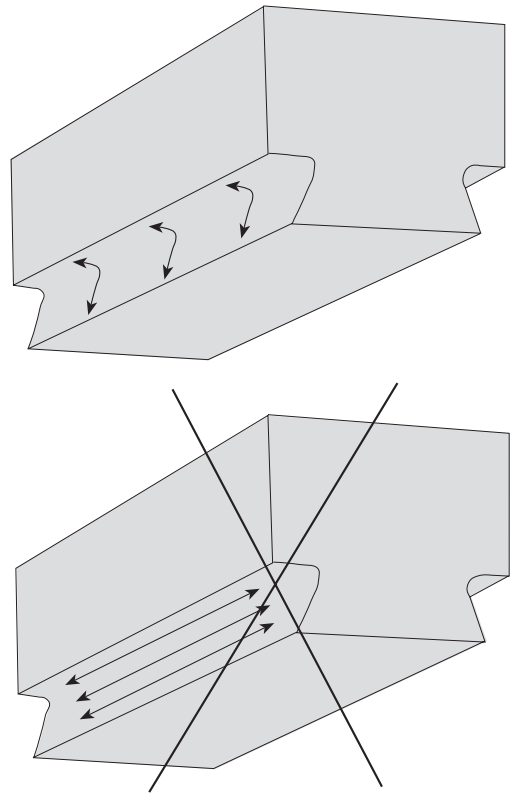
油基润滑剂会增加磨损和腐蚀的风险,这是由于该润滑剂会在工件和型腔之间的狭小空间发生爆炸式的燃烧。水基的润滑剂由于冷却能力强,造成模具表面温差变化较大,会增加热疲劳开裂的风险。

## 模具设计与模具寿命

假如锻造设备一切正常,那么如下关于“模具设计”的理念能够降低模具失效的风险:

- 合适的模座
- 如有使用楔形棒头,尺寸必须合适,圆角半径足够大,且该棒头的最终道磨削痕迹为切向的,而不能是平行的(如图所示)
- 足够的壁厚,包括型腔底部和不同型腔之间的壁厚
- 合适的圆角半径
- 合适的飞边桥和飞边槽尺寸
- 合理的分型面设计,是否有锁扣
- 正确设计和使用(冲头,冲击机和顶针)
- 锻锤上有足够的减震装置,以及锻锤的冲击力

锻造跟垫块的厚度和锻锤的压力有关。同时,模套装配不当、模具壁厚不足、圆角半径过小等因素都容易促进裂纹萌生,甚至导致模具发生毁灭性的失效或者整体开裂。



楔形棒头圆角处的磨削痕迹

## 模架

模具底面配合一套具有合适硬度和良好表面平整度的模架非常重要。模架表面,尤其是模具型腔面对应位置存在凹凸不平对模具是非常有害的,这是因为在圆角位置增加了张应力。

在落锤锻造中,适当的背面支撑尤其重要,因为在锻造过程中侧面通常没有支撑。用同样的锻锤或者同样的压力锻造尺寸差异很大的产品,如一个小工件换成大尺寸工件,移去模具背部垫块或者垫板是必要的。

在压力锻造中,模具侧面需要支撑,但这并不是都能实现的。采用热配合插入大的支撑件可以给予模具最好的保护,防止开裂。

## 圆角半径

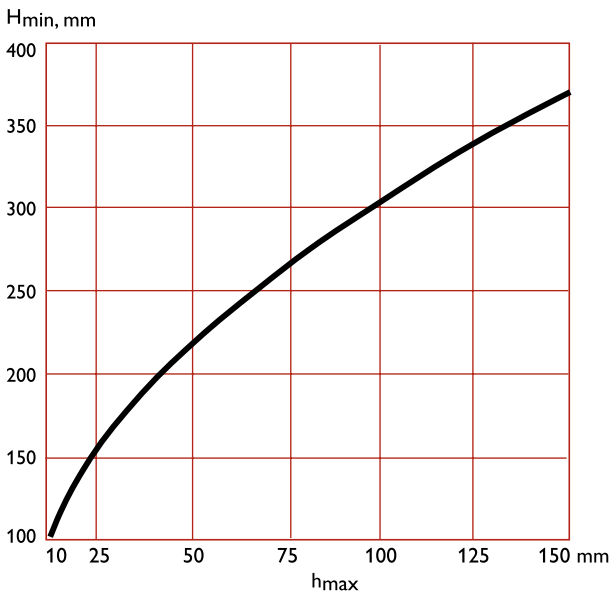
锻造模具中，型腔底部与侧面的圆角处承受最大张应力处。圆角半径越小，张应力越大。通常，在锻造模具的设计中应尽量避免出现小于2mm的圆角半径。对于深度较大的型腔，如大于50mm，圆角半径至少要达到5mm。

尤为重要的一点是，圆角位置应平整光滑，最终的磨削痕迹应该为圆角方向。电火花加工会形成白层，白层内通常包含许多裂纹。因此，在电加工表面和其余应力集中位置，尤其是尖角或者圆角，应该把电加工白层完全去除。若无法完全去除电加工白层，模具应重新做回火处理，回火温度比原先处理的最高温度低25°C左右。

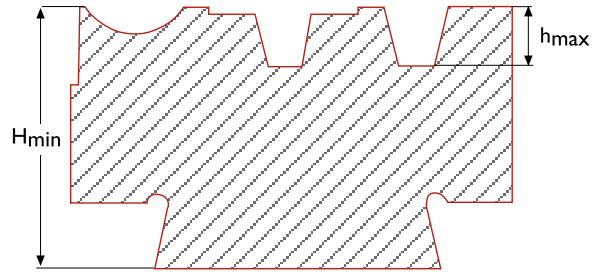
## 模具材料和壁厚

关于锻造模具的尺寸设计方面，从简单到复杂模具，或多或少都存在一些经验法则。毋庸置疑的是，随着模具尺寸的减小，同一台锻造机器给予模具的应力会明显增大。

在整体模设计上，根据经验，型腔底部到模具底面的模具材料厚度至少为1.5倍的型腔深度。



落锤锻造模具的最小高度 (Hmin) VS. 型腔的最大深度。



落锤锻造模具要求的最小模具壁厚如下表所示。

型腔深度 (h) mm	型腔与模具外沿 的距离(t) mm
6	12
10	20
16	32
25	40
40	56
63	80
100	110
120	130
160	160

落锤锻造工艺要求的最小壁厚 (型腔与模具外沿的距离, t)。

## 模具材料要求

### 淬透性

针对采用预硬模具钢制作的大型加压锻造或者落锤锻造模具，硬度的均匀性是很重要的。如果模具材料的淬透性差，则心部的硬度比表面低，会缩短使用寿命，尤其是型腔深度大的模具或者连续锻造生产的模具。

### 塑性和韧性

型腔表面很容易出现微小裂纹或者其他瑕疵，并导致模具在锻造过程中高应力作用下失稳，尤其在圆角等位置。缺口韧性可以表征模具材料在这种带有初始裂纹状态下的抵抗裂纹扩展能力。

一胜百提供的所有锻造用模具钢种，包括块材和棒材，都具有最佳的塑性和韧性。因此，客户可以完全信任一胜百模具钢具有最佳的抵抗整体开裂的能力。

同时，合适的预热，能够明显降低模具开裂的风险。

## 回火抗力

工具钢的抗回火性可以通过回火曲线图进行评价。在回火曲线图中，相同保温时间前提下，硬度随着温度的升高而降低。另一种表征抗回火性的方法是，绘制相同温度下保温时间与硬度的关系曲线图。模具钢在温度增加或者时间延长的情况下保持硬度的能力越好，那么其抗回火性越强。

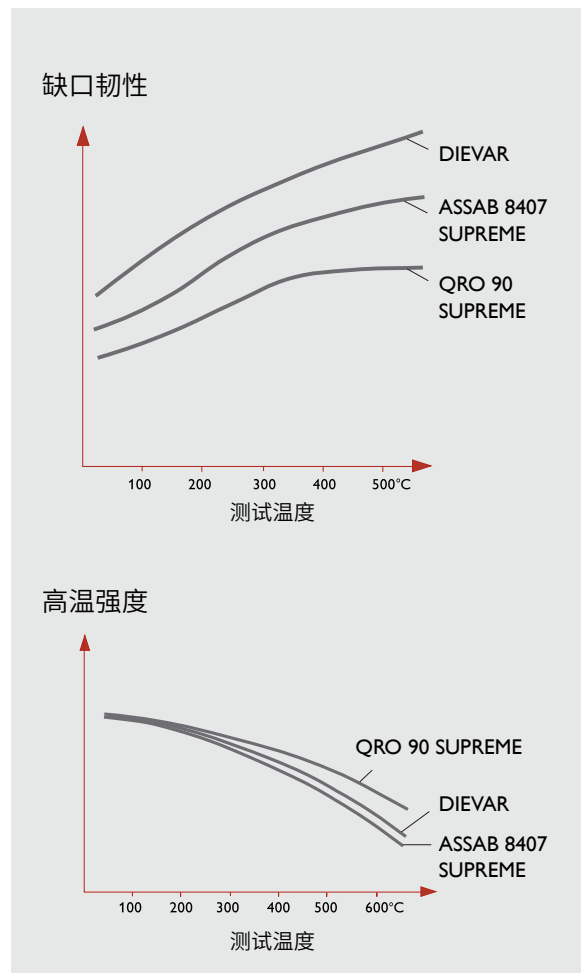
## 高温强度和高温硬度

与抗回火性不同的是，高温强度和高温硬度值是在高温下测得的材料性能。总体上说，增加回火抗力就意味着提高了高温强度和高温硬度。良好的高温强度和高温硬度是高温下抵抗磨损的重要前提，也能一定程度降低热疲劳开裂。



## 疲劳抗力

一胜百锻造用热作模具钢按照最高质量标准生产，尤其是严格控制非金属夹杂。这使得材料具有足够的疲劳抗力用以抵抗锻造过程中周期性的高载荷。



## 锻造模具的生产和维护

机加工性能, 焊接性能, 热处理和表面处理都是影响锻造模具生产和维护的重要因素。

### 机加工性能

将大块预硬模具材料加工成最终的锻造模具, 机加工性能显得非常重要。

一胜百锻造用热作钢体现了良好的组织均匀性和氧化物夹杂控制, 并具有低的软态退火硬度(通常为170 - 200 HB), 有效改善了机加工性能。即使是预硬态材料, 极高的纯净度和优良的组织均匀性也能保证较容易的进行机加工。

良好的过程能力控制保证了不同批次钢材的机加工特性无明显差异。

### 热处理

如果模具是采用软化退火态钢材作为原料, 那么后续必须经过热处理, 以获得最佳的硬度、韧性、热抗力和耐磨性。这些性能可由淬锻造模具的生产和维护 ASSAB 8407 Supreme 模具钢的缺口冲击韧性值与冷却速度的关系 (44-46 HRC) 火过程中选择不同的奥氏体化温度和冷却速度来控制, 也可由回火过程 (如, 温度, 时间, 回火次数) 来控制。

在锻造模具中, 韧性是最重要的性能。这要求在淬火过程中, 冷却速度要足够快, 避免产生大量的晶界析出相和其他不合格的组织, 如珠光体和粗大上贝氏体。奥氏体化温度和保温时间十分重要, 应避免出现晶粒粗大现象, 以防止韧性降低。

热处理前, 模具应预留足够的加工余量, 避免在淬火过程中发生形变导致最终模具尺寸不合格。电加工生产的模具通常应做一次额外的回火, 回火温度比之前最高回火温度低

### 锻造模具的焊补

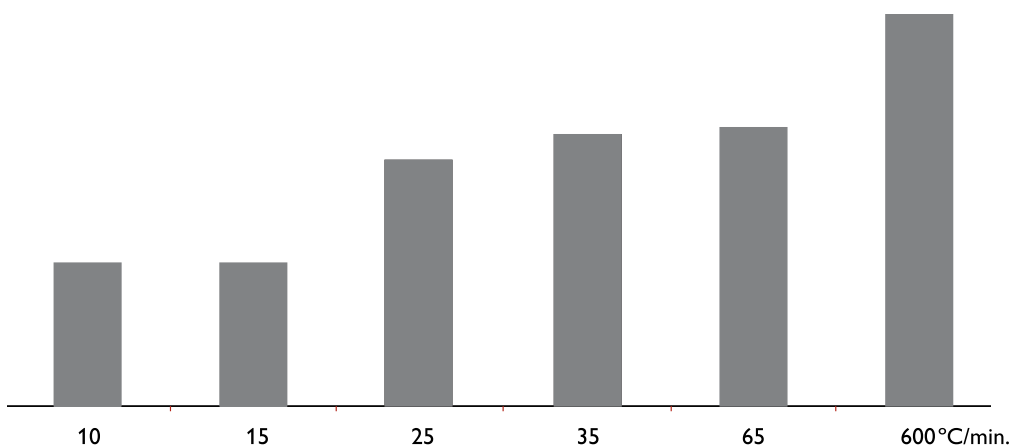
锻造模具开裂或者磨损后, 通常采用焊接进行修补。这一般都采用在模具的材料成本占模具总成本的比例很大的情况下。

## 表面处理

因为摩擦磨损是锻造模具的主要失效机制, 增加模具表面的抗磨损性能是表面处理的重点。

### 氮化和氮碳共渗

氮化是一种在工件表面覆膜的热化学处理, 能明显提高耐磨性能。理想情况下, 氮化过程能够给予模具表面一定的残留压应力, 这对防止热开裂有



ASSAB 8407 Supreme 模具钢的缺口冲击韧性值与冷却速度的关系 (44-46 HRC)

积极作用。但氮化层非常脆，且在载荷下非常容易开裂或者剥落，尤其在冲击载荷下。氮化处理有4种不同的工艺，分别是盐浴或者气态氮碳共渗，气体氮化和离子氮化。

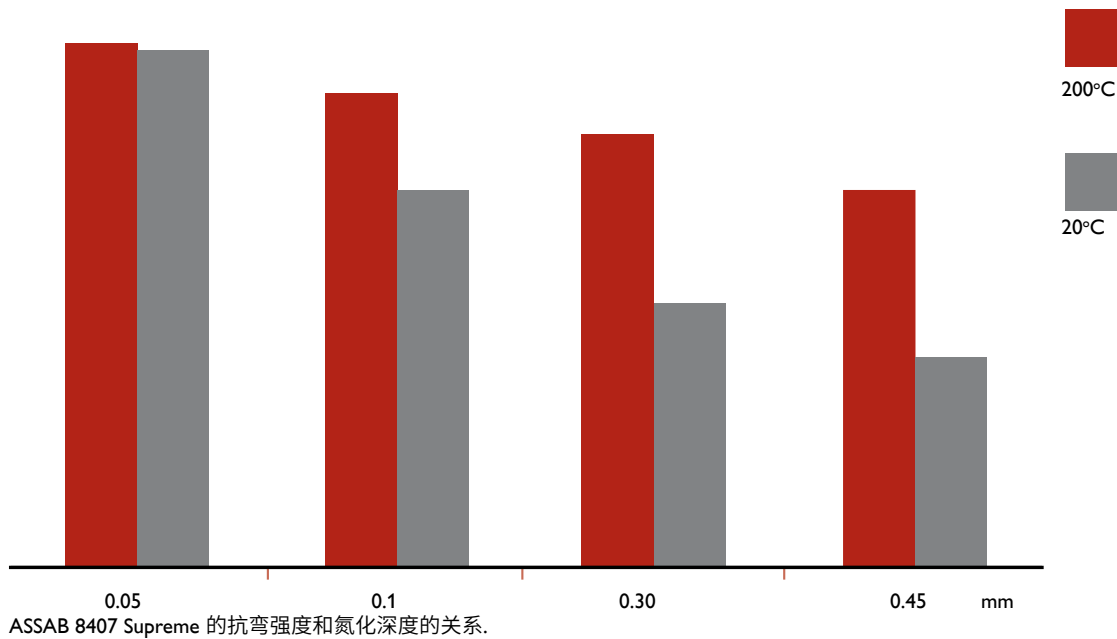
在氮化前，模具必须经过淬火和回火处理，回火温度比氮化温度高25-50°C。

表面硬度和氮化层深度是由氮化方法、氮化时间和钢材的本身特性决定的。

锻造模具的氮化层厚度不能超过0.3mm。这是因为氮化层非常脆，且容易开裂。氮化层厚度过大，

会使模具表面裂纹过多。裂纹向基体扩展，并导致模具失效。一般将最大氮化层厚度定为 0.3 mm。如果型腔存在尖角或者模具使用硬度较高，这个最大值应该减小。

氮化处理后，表层容易形成所谓的“白层”，这是应该避免的。白层是多孔的脆性层，在热应力或者机械应力作用下，白层的存在会极大增加模具开裂的风险。



## 锻造应用产品介绍

一胜百钢种	特性 / 应用
DIEVAR	DIEVAR兼具优异的韧性和高温强度,是一种对热应力开裂和整体开裂抵抗力优越的热作模具钢。专门提高了抗热应力开裂性能,其性能优于其他商业钢种。即使在很大的截面上,DIEVAR能保持均匀的性能。DIEVAR具有独特的性能,非常适合作高要求的热作模具,如压铸、锻造和挤压。
UNIMAX	UNIMAX是一种非常通用的模具钢,因为它结合了良好的韧性和硬度。由于性能独特,UNIMAX可作冷作模具钢、塑胶模具钢和热作模具钢。典型的锻造模具应用包括——温锻和连续锻造。UNIMAX也是修边模的良好选择(如压机和模具),可用于热修边加工和冷修边加工。
ASSAB 8407 2M	ASSAB 8407 2M 一种具有良好高温强度和热磨损抗力的H13类模具钢种。棒材规格齐全,ASSAB 8407 2M 采用特殊工艺生产 (microdised),具有高纯净度和良好的组织,因此性能优异。
ASSAB 8407 SUPREME	ASSAB 8407 SUPREME 是一种电渣重熔钢材,组织纯净,组织细小,达到NADCA #207-2008要求。ASSAB 8407 SUPREME 属于优质 H13,各向同性与普通 H13 钢种相比有明显的改善,使其特别适用于高应力工作场合。
QRO 90 SUPREME	QRO 90 SUPREME 具有良好的高温强度、回火抗力和导热性。QRO 90 SUPREME 在钢铁和黄铜制品的锻压中有出色的应用,尤其是作为中小尺寸的模具镶件。它也特别适合应用于连续锻造 (progressive forging)、顶锻 (upset forging)、挤压锻造、粉末锻造和其他有强冷却水的设备上。
Formvar	FORMVAR是H11/H13钢锻模的一个可靠的升级选择,其具有良好的回火抗力和热屈服强度。
ASSAB PM 23 SUPERCLEAN ASSAB PM 30 SUPERCLEAN	ASSAB PM 23 SUPERCLEAN 和 ASSAB PM 30 SUPERCLEAN 是粉末冶金高速钢种,具有很高的抗压强度、淬火硬度、良好的韧性、抗磨损性能、热处理尺寸稳定性和回火抗力,适合作抗磨损性能要求高的锻造模具。

## 化学成分

一胜百钢种	AISI (WNR)	主要成份 %							出厂硬度 Brinell
		C	Si	Mn	Cr	Mo	V	其他	
DIEVAR	-	0.35	0.2	0.5	5.0	2.3	0.6	-	~160
UNIMAX	-	0.50	0.2	0.5	5.0	2.3	0.5	-	~185
ASSAB 8407 2M	H13 (1.2344)	0.39	1.0	0.4	5.3	1.3	0.9	-	~180
ASSAB 8407 SUPREME	H13 (1.2344)	0.39	1.0	0.4	5.2	1.4	0.9	-	~180
QRO 90 SUPREME	-	0.38	0.3	0.8	2.6	2.3	0.9	微量合金	~180
FORMVAR	-	0.55	0.2	0.5	5.0	2.3	0.6	-	<229

模具材料抵抗不同失效机理能力比较图

一胜百钢种	热磨损	塑性变形	整体开裂	热应力开裂
DIEVAR				
UNIMAX				
ASSAB 8407 2M				
ASSAB 8407 SUPREME				
QRO 90 SUPREME				
FORMVAR				

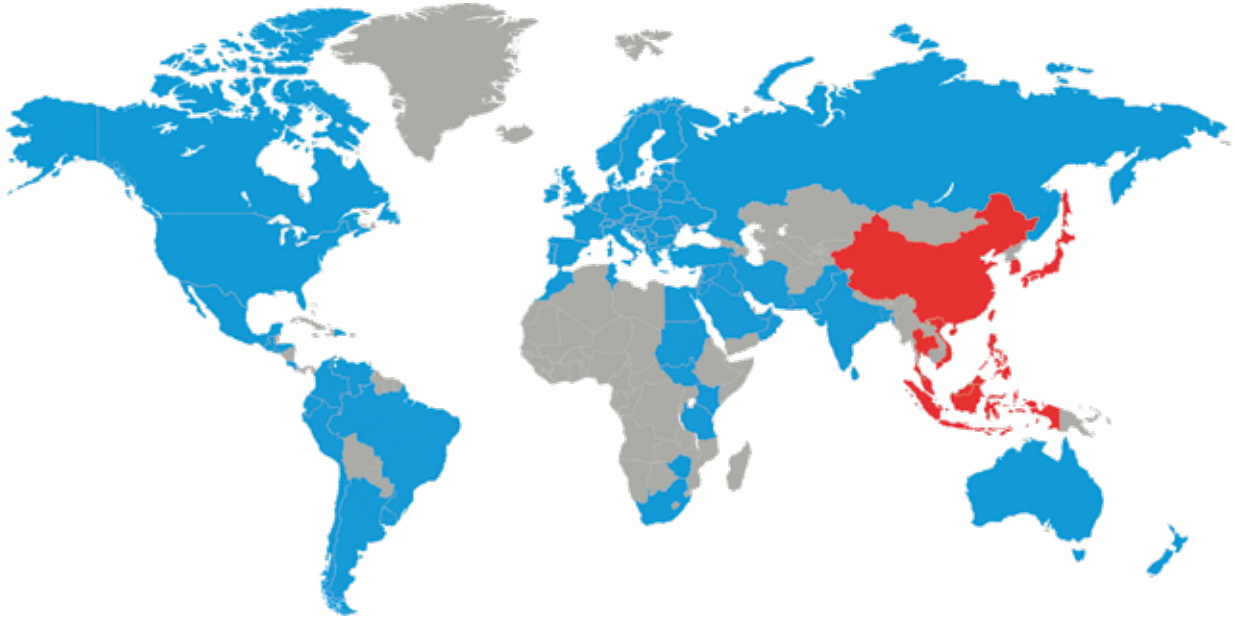
横条越长, 性能越好.

## 钢材和硬度选择

### 总体建议

应用		一胜百钢种	硬度
落锤锻造	镶件	DIEVAR	44 - 52 HRC
		ASSAB 8407 SUPREME	40 - 50 HRC
		ASSAB 8407 2M	40 - 48 HRC
加压锻造	模具	DIEVAR	44 - 52 HRC
		QRO 90 SUPREME	44 - 48 HRC
		UNIMAX	52 - 57 HRC
		ASSAB 840 SUPREME	40 - 50 HRC
		ASSAB 8407 2M	38 - 48 HRC
温锻	模具钢	UNIMAX	53 - 58 HRC
		DIEVAR	50 - 52 HRC
级进锻造	模具钢	QRO 90 SUPREME	42 - 52 HRC
		UNIMAX	52 - 58 HRC
		DIEVAR	45 - 52 HRC
热压/热冲压	铜和铝锻造模具或者镶件	QRO 90 SUPREME	46 - 50 HRC
		UNIMAX	52 - 56 HRC
		DIEVAR	46 - 52 HRC
		ASSAB 8407 SUPREME	44 - 52 HRC
		ASSAB 8407 2M	44 - 50 HRC
顶锻	模具钢	UNIMAX	52 - 56 HRC
		DIEVAR	49 - 52 HRC
修边	热修边	UNIMAX	52 - 58 HRC
		ASSAB 8407 2M	45 - 52 HRC
	冷修边	UNIMAX	54 - 58 HRC
		CALMAX	52 - 58 HRC
		ASSAB 88	56 - 62 HRC

一胜百粉末钢可作模具镶块, 可以提高硬度。



正确选择钢材至关重要。一胜百工程师和冶金学家可以随时辅助您，针对不同应用选择最合适的模具钢种，以及最佳的处理方式。一胜百不仅提供卓越品质的模具钢材，还提供世界最先进的机加工，热处理和表面处理服务，增强模具钢性能，满足最短交货期的需求。一胜百不只是一个模具钢的供应商，而且是提供一站式整体化解决方案的可靠的合作伙伴。

一胜百和Uddeholm遍布全球，不论您身处何地，确保您可以获得高品质的模具钢和当地支持。同时，我们继续确保作为模具钢的世界领导地位。

如需要更多信息，请浏览

[www.assab.com](http://www.assab.com)



一胜百  
微信账户二维码