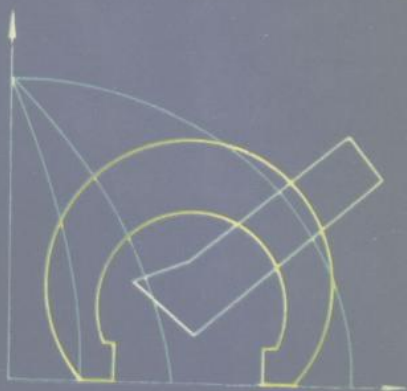


孙一唐编著

机械工业出版社



工具钢及其 热处理

GONGJUGANG JIQI
RECHULI

工具钢及其热处理

孙一唐 编著



机械工业出版社

本书全面地叙述了工具钢及其产品的工作特点、对性能的要求，包括机械性能、热稳定性和回火抗力、导热性、形状和尺寸稳定性以及工艺性能；介绍了工具钢中合金元素对临界点、组织形成、回火过程和性能的影响。详细地阐述了工具钢热处理的理论基础和热处理方法；列举了常用各种工具的热处理实例，并通过实例进行工艺分析。对工具钢热处理时的尺寸变化、热处理缺陷及其防止措施也作了说明。这些内容对现场生产都具有指导意义和实用价值。

本书取材新颖、实际，理论与实践并重，内容深入浅出，并提供了大量工具钢及其热处理有关图表数据。

本书不仅适用于热处理工人和工程技术人员阅读，也可供从事工具生产和研究的有关人员以及大、中专学校金相专业学生参考。

李湘多、郑堤同志参加了本书第一、二、六章的编写。

工具钢及其热处理

孙一唐 编著

机械工业出版社出版（北京阜成门外百万庄南街一号）

（北京市书刊出版业营业许可证出字第117号）

中国农业机械出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经销

开本 787×1092 1/32·印张 7 7/8·字数 172 千字

1986年12月北京第一版·1986年12月北京第一次印刷

印数 0,001—5,400·定价 1.90 元

统一书号：15033·6391

目 录

第一章 工具的类型及其工作条件	1
一、冷成形工具	1
二、热成形工具和铸造工具	7
三、切削工具	12
四、合成材料加工工具	17
第二章 工具钢的性能要求	19
一、工具钢的主要性能	19
二、硬度	20
三、强度	25
四、韧性	29
五、热疲劳抗力	32
六、热稳定性	34
七、耐磨性	37
八、导热性	42
九、形状和尺寸的稳定性	44
十、工艺性能	49
1. 过热敏感性	49
2. 淬透性	50
3. 裂纹形成倾向	51
4. 脱碳(去碳)	52
5. 热态和冷态加工性	53
6. 切削加工性	54
7. 磨削性	55
8. 研磨性	56
第三章 工具钢中合金元素的影响	57
一、合金元素在相中的分布	58

二、工具钢中的碳化物	60
1. 碳化铬	65
2. 碳化物 Cr_{23}C_6 (M_{23}C_6)	66
3. 碳化物 M_6C	66
三、工具钢的生产工艺对碳化物的分布和其他性能的影响	71
四、合金元素对钢的转变温度(临界点)的影响	74
五、工具钢中的马氏体	78
六、合金元素对回火过程和弥散硬化的影响	81
1. 回火的第一阶段($80\sim 100^\circ\text{C}$)	82
2. 回火的第二阶段($150\sim 300^\circ\text{C}$)	83
3. 回火的第三阶段($300\sim 400^\circ\text{C}$)	84
4. 回火的第四阶段($> 400^\circ\text{C}$)	84
七、合金元素对工具钢的性能的影响	87
第四章 工具钢的热处理	89
一、工具钢热处理的目的和理论基础	89
1. 珠光体转变(共析转变)	91
2. 贝氏体转变	92
3. 先共析转变	93
二、热处理的方法	95
1. 奥氏体化	95
2. 退火	98
3. 正火	103
4. 淬火	105
5. 冷处理(零下处理)	107
6. 回火	108
三、加热、保温和冷却	110
1. 加热时的热应力	110
2. 加热时间	112

3. 加热时的保温时间	117
4. 加热介质	117
5. 冷却介质	128
6. 冷却时的热应力(淬火应力)	134
7. 特殊的冷却方法	136
四、工具热处理实例	138
1. 手用切刀	138
2. 锉刀	138
3. 冷轧轧辊	139
4. 拉延模圈(大尺寸)	140
5. 拉延模圈(小尺寸)	141
6. 铆钉镦头用凹模(压缩空气驱动)	141
7. 麻花钻头(小尺寸)	142
8. 麻花钻头(大尺寸)	142
9. 手用铰刀	143
10. 机用铰刀	144
11. 圆板牙	145
12. 车刀	146
13. 圆盘铣刀	146
14. 齿轮滚刀	147
15. 挤压冲头	148
16. 拉刀	149
17. 冲裁凹模	150
18. 热锻锤模(大尺寸)	151
19. 模板	152
20. 压制餐具用压模	153
21. 压铸模	153
22. 凹模	154
23. 硅钢片冷冲压模	154

24. 冲制圆柱形容器(贮槽)用冲模	155
25. 冲制塑料用工具	156
26. 高速钢工具的真空热处理	156
五、工具钢热处理时尺寸的变化	157
六、工具钢热处理时产生的缺陷及其防止措施	169
第五章 工具钢的化学热处理	174
一、气体氮化	175
二、碳氮共渗(软氮化)	178
三、氮硫共渗	180
四、渗硫软氮化	182
五、氧碳氮共渗	183
六、氧化处理	184
七、渗硼	187
八、渗铬	189
九、碳化钛沉淀硬化	192
第六章 工具钢按使用条件的选择	194
一、金属切削工具用钢的选择	195
二、热成形模具用钢的选择	199
三、冷成形模具用钢的选择	205
四、塑料压模用钢的选择	209
第七章 常用工具钢推荐的热处理规范	210
一、碳素工具钢	210
二、合金工具钢(标准钢号)	212
附录 我国工具钢钢号与国外钢号对照表	241

第一章 工具的类型及其工作条件

在工业生产中一刻也离不开工具，例如用钢锯把钢材锯断，用车刀、铣刀或其他刀具把工件切削成形，用冷锻模或热锻模锻制出各种大小不一的毛坯等等。各种工具的技术条件和性能要求因用途不同而有很大差异，但一般地说，这些要求包括高的硬度以抵抗变形，为达到经济的工具寿命，要有耐磨性以及尺寸稳定性等。此外，不同的工具还有它各自的特殊性能，如红硬性、耐冲击、耐震、抗热疲劳性等

工具在工作过程中所受的载荷是不同的，载荷的大小及其作用真是千变万化极为复杂，主要取决于成型的工艺过程——冷成形、热成形、压铸成形、切削成形。为适应不同工具的使用要求，生产了多种用以制造各种工具的工具钢，并通过适当的热处理，来获得各种不同的性能，以满足生产上的需要。

根据工具不同的成形过程，可把工具分为：

冷成形工具——冷作模具；

热成形工具和铸造工具——热作模具和压铸模具；

切削成形工具——切削刀具。

一、冷成形工具

冷成形工具用于不需明显加热而进行成形的工艺操作，工具的工作温度一般不超过 $200\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。对冷成形工具的要求是：具有较高的塑性变形抗力，高的硬度和耐磨性，高的疲

劳强度和尽可能高的韧性；热处理时变形较小，尺寸稳定性好。

由于冷成形条件不同，在成形过程中模具的应力状态差别很大。因此，必须根据模具的用途、形状和尺寸来选择模具钢。

冷成形工具主要有以下几种类型：

冷切工具、凿切工具、拉伸工具、挤压工具、冷冲工具、弯曲工具、冷轧工具。

1. 冷切工具 主要用于钳工作业。工具的切削刃在工作过程中经受冲击载荷和弯曲载荷，同时也受到压缩和强烈的磨损作用。由于冲击和弯曲载荷的作用，冷切工具发生脆断的危险性很大。

风动工具（平头刀、风镐、敛缝锤、钢钉窝子等）是安放在由压缩空气驱动的锤中使用的。工作时，工具受到拉伸和压缩交替循环载荷的作用；此外，由于锤工作位置的偏斜，使工具额外地受到弯曲载荷的作用。风动工具的尾部承受活塞的冲击，而刀刃部分在凿切过程中经受强烈的磨损作用。

切刀在工作过程中完成类似于锯、劈这样的操作，但不形成切屑。切刀的锋利刀口不断地与被切割材料接触，受到磨损作用。切刀的质量决定于它的切削能力和耐用度。切削能力在很大程度上取决于刀刃（刀口）的形状：刀刃越薄，切刀的切削能力越好。但刀口太薄，往往易引起崩刃。

圆盘剪断机用于冷切铜锭、板材和各种型材。根据被切割材料的质量、强度和尺寸，以及其工作间隙的大小，切刀的刀部将受到很大的压力；切刀同时还经受磨损、弯曲，有时也受到冲击动载荷的作用。

当切割的材料很薄、但又非常硬时，磨损作用是最危险

的；切割厚材料时，则多向应力状态最危险。

2. 凿切工具和冲孔（穿孔）工具 用凿切、冲孔、深拉、弯曲等方法可以制造表面质量很高、外形又很复杂的各种零件。

凿切时，凸模和凹模沿模腔边把板材切断。板材的厚度可由零点几毫米到10毫米。凸模是块状或柱状的，刀刃就是工作部分。凹模是一不太厚的板，上面有与所加工零件的形状和尺寸或与所穿孔相对应的通孔。材料中产生的应力和变形在很大程度上与刀刃的状态有关。凿切时先是将凸模的表面压在被切材料上，然后凸模的刃口切入材料。凿切时产生的剪切力使凸模经受压缩和纵向弯曲，凹模则受到压缩和横向弯曲（见图1）。

工具的受力状态是很复杂的，而且都是三向的。刀刃若受到很大的压力会使刃口变钝；若受到拉力，则造成崩刃。此外，还经受循环载荷和交变载荷，这些载荷大多是引起材料疲劳的动载荷。凹模经受的动载荷最大。同时，由于压力机滑块的振动，还产生额外的重复载荷。一般情况下，小直径凸模受的载荷最重。

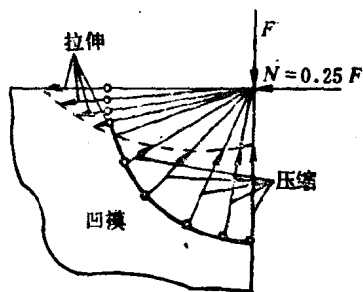


图1 凹模的受力分析

F —剪力 N —凹模沿径向的合成应力

作用在凹模刃沿上的轴向压力的大小，与被切材料的抗剪强度有关。刃沿上受到的轴向压力为平均压力的两倍，也就是有可能达到被切材料抗剪强度的五倍（3000~5000牛/毫米²）。在这样大的表面压力的作用下，材料与模子的各个

4

元件发生摩擦,引起明显的磨损作用。

这种循环载荷在随后凸模从凹模中脱出时,由于压力机滑块的振动,也可能产生。

强烈的摩擦和一部分变形功转变成热,使刃口的温度达到 $150\sim 300^{\circ}\text{C}$ 。

凿切工具的形状一般是很复杂的,淬火后不可能进行校正;因此,保持形状和尺寸的稳定性是这种工具钢的一种极重要的性能。

3. 拉伸工具 拉伸工具可分为两类:深拉工具和线材、棒材、管材的拉伸工具。

深拉工具 在深拉过程中拉伸凹模(延伸环)和拉伸凸模将板材拉制成空心件。成形时,凸模以巨大的压力,把板材顶向延伸环,使板材进入其中,并通过延伸孔而拉延成形。

板材越薄,材料的强度越低,所需的拉伸力就越小。还必须指出,延伸环的刃沿保持最小的倒圆半径,是防止形成皱纹的一个重要条件。因此,使延伸环和拉伸模的刃沿保持最适宜的倒圆,同时规定相应的拉伸间隙是非常重要的。

在拉伸过程中以及在空心件从拉伸凹模中退出时,工具和工件的接触面之间产生了摩擦,引起显著的磨损。磨损的结果,使延伸环的尺寸增大;拉伸凸模的磨损要轻得多,但促使空心件的表面上形成划痕和凹坑。

使用表面光滑和耐磨的工具,可减少摩擦和磨损;板材的表面加以处理和涂润滑油,也能减少摩擦。拉伸时,在延伸环中除了径向压缩应力,还产生切向循环拉应力;这些应力挤裂了延伸环(见图2)。因此,延伸环的材料还应具有抵抗重复拉应力的能力。为了保证最有利的压缩状态,可采取不同的方法对延伸环施加预应力(图3)。

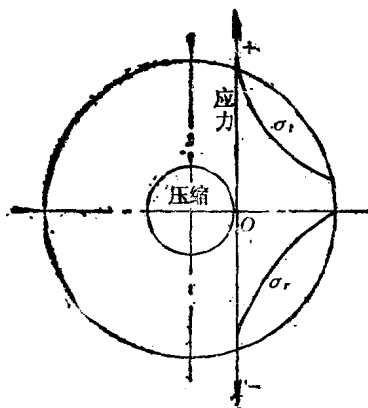


图2 拉伸模中应力的分布

σ_r —径向应力 σ_t —切向应力

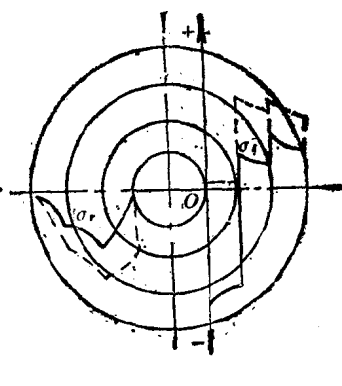


图3 在两次施加预应力的
拉伸模中应力的分布

——无内压力有内压力

σ_r —径向应力 σ_t —切向应力

线材、棒材、管材拉伸工具的空心部分是锥形的，被拉制的材料通过截面不等的延伸环在冷态下拉成规定的较小直径。材料和工具间的摩擦导致极为强烈的磨损作用，并引起粘附。延伸环处于三向应力状态。

4. 挤压工具 材料的挤压成形是一种生产率很高的方法，用于制造要求尺寸精度高、表面质量好的杆件和空心件。

在挤压过程中，板材或棒材等毛坯的横截面减小到相应的尺寸和形状，或形成空心件。

毛坯在凹模的闭合模腔内受到凸模施加的压力；使处于近似流体静压缩状态下的金属从凹模的锥形孔中挤出（正挤压），或从凹模和凸模之间的空隙中挤出（反挤压）。

根据理论分析，挤压工具各部分所受的载荷是很大很复杂的。工作时，模腔受到高达1000~3000牛/毫米²的巨大压

力, 这样大的压力也作用在凸模上。如果凸模稍不对心, 则将产生额外的弯曲载荷和拉伸载荷。挤压材料和工具之间的巨大压力所造成的摩擦作用, 不仅加剧了工具的磨损, 而且使工具受到强烈的加热, 表层温度可达到 $300\sim 400^{\circ}\text{C}$ 。为了减少摩擦, 工具应进行抛光, 并在工作时加以润滑。挤压用凹模除了经受由摩擦引起的强烈磨损作用外, 还受到复杂的、每一工作循环重复一次的多向载荷。

采取预加应力的办法, 根据施加应力的程度, 可以改变凹模的受力状态, 使凹模承受纯拉伸应力、拉伸-压缩应力和纯压缩应力(见图2和图3)。工具所受的压力增大时, 采取预加应力的办法是必要的。

5. 冷冲工具(冷锻工具) 锻锻时把冷态金属一次冲击使之成形, 被加工材料是处于高强度状态。通常, 工具的两半部分都参与工作; 可移动的凸模把材料压入固定不动的凹模中。对于行程短、工作速度低的压力机, 工具所受的动载荷要比高速压力机所受的小得多。在锻锻过程中, 凹模由于内压力的作用, 产生复杂的应力状态(见图2)。每锻锻一次, 这种复杂的应力状态就重复一次。在凹模工作表面和加工材料间还产生强烈摩擦, 使工具磨损。

冷锻工具在锻锻螺帽、铆钉、螺钉时也经受这种多向的动载荷。这类工具的损坏表现在模孔胀大、凹模下垂和变位, 主要是工具材料的抗压屈服极限值不足的缘故。此外, 还出现疲劳、工作表面剥落和磨损等现象。

精压硬币、奖章的工具也同样经受巨大的表面压力($2500\sim 3000\text{牛/毫米}^2$)和磨损作用, 表现出更为强烈的复杂应力状态。由于操作时多次的猛烈冲击, 工具的刃口发生加工硬化和剥落。

生产餐具和珠宝的精压模，经受的载荷要比锻模小。在这类模具的表面应覆以耐磨层，其厚度相当于制品的浮雕深度。

滚花轧光工具的刃口部分也经受表面压力，同时还产生强烈的磨损。

6. 弯曲工具 弯曲凸模和凹模的成形面具有所加工零件的形状。弯曲时，将平板喂入由弯曲工具的工作面所构成的模腔内。由于材料在凹模面上移动或滑动，产生了强烈的摩擦，使工具的工作刃受到磨损，而且凹模的磨损更厉害。此外，工具还经受巨大的压缩载荷和弯曲载荷。

弯曲工具常常有长达几米的，因此必须防止工具的翘曲。

7. 冷轧轧辊 冷轧时毛坯从两个同向旋转的轧辊(平面轧辊，成型轧辊)中间通过，轧制成各种不同截面(圆的、方的、六角形的等等)的棒材、管材和板材。

轧辊表面经受巨大的压缩应力和磨损作用，同时还承受弯曲应力和扭转应力；矫正辊所受的载荷小些。孔型和测量工具与被测零件相摩擦，因此受到磨损作用，但其形状和尺寸在长时间(若干年)工作过程中不应发生变化。

二、热成形工具和铸造工具

热成形工具专供钢、轻金属和有色金属加工用，可完成下列一些工艺操作：模锻、冲压、去毛边、挤压、剪切（切割）、压铸等等。

这类工具所受的载荷是非常复杂的，而且不论哪道工序，热成形工具都要与温度很高的毛坯保持一定时间的接触（接触时间的长短根据所要完成的工艺而定），这样，可使工具加热到几百度(摄氏度)。随着温度的升高，钢的性能照例将发

生明显的变化，当毛坯从工具中取出，并开始冷却时，工具的温度便下降，就这样循环地加热和冷却。因此，热成形工具及其表面的温度是不断地变化的，这就引起了热疲劳现象。除了不断变化的温度负荷，热成形工具还受到很大的机械负荷。

1. 锻模和压模 将加热到高温因而具有良好塑性的材料填入或压入型腔，施加的压力($0\sim 1000$ 牛/毫米²) 在凹模中引起不断变化的复杂的应力状态。

金属在高压锤击作用下，力图填满凹模的型腔，并被强制地沿着型腔的轮廓以很高的速度(达50米/秒)流动。

凹模的角、尖刃、搭接处、毛边槽等等都起着很大的阻力，妨碍金属的流动。

表面覆有氧化皮的金属和型腔壁之间的摩擦，导致了模具的磨损。同时，模具的薄刃和尖角处，在工作时以极高的速度($1000\sim 2700^{\circ}\text{C}/\text{秒}$)迅速地加热到高温，而在零件取出后又迅速地冷却下来。模具材料的导热性越好和热量向模具内部传导越快，模具表面的温度就越低。温度的这些变化和由此引起的压缩和膨胀，随着模具的每次操作，不断地反复交替发生。这样，由于热疲劳结果，使模具的表层产生龟裂。如果炽热毛坯和型腔壁的接触时间增加，有可能引起局部过热($700\sim 830^{\circ}\text{C}$)，导致模具材料的退火。

各种锻造机和压模机的工作原理和操作速度都各不相同，因此，凹模受到的热负荷和机械负荷也有明显差异。有的承受高温，而且温度是波动的；有的承受动载荷(冲击)。图4是水压机、摩擦压力机和自由落锤工作时，凹模所受的机械负荷和热负荷。

在操作过程中，由于反复压缩、变形等作用产生的疲劳；

冲击作用引起的脆断；材料流动造成的磨损；加热和冷却交替作用导致的热疲劳等等，引起凹模的侵蚀。

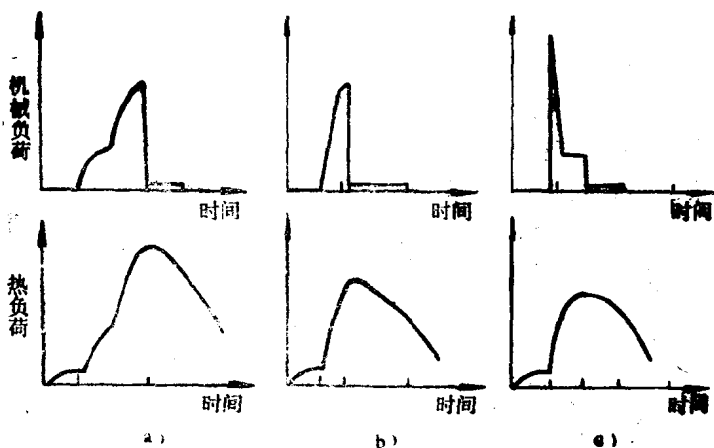


图4 在不同机器上凹模所受的机械负荷和热负荷

a) 水压机 b) 摩擦压力机 c) 自由落锤

图5是凹模不同部位上形成的典型缺陷。

上述现象在很大程度上不仅取决于凹模材料的性能，而且取决于型腔的形状、复杂程度、尺寸，以及安装精度和操作条件（润滑、模具温度、冷却条件等）。

一般来说，形状简单的小型模具的使用寿命要比形状复杂的大型模具的长。锻锤越重，两次检修间所能锻造的零件数就越少。

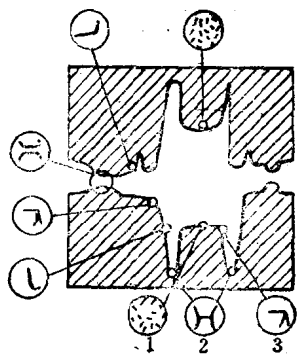


图5 凹模上各典型缺陷的部位

1—热疲劳 2—疲劳 3—磨损

切边工具所受的载荷与加工零件的尺寸有关。零件的尺寸越大,冷得就越缓慢,毛边厚度一般就大。切边机的刀刃除经受很大压力,还应考虑热负荷的作用。当毛边不大时,切边机所受的载荷和冷冲裁模的相类似。

2. 挤压工具 为了减小形变阻力,将钢、重金属和轻金属在热态下进行挤压。与冷挤压工具所受的载荷相比,热挤压时的压力要小些,但工具的温度很高;为了使温度降低,就必须进行冷却,于是引起温度的波动。

不同类型合金的热挤压温度如下:

铝	约450℃
铝合金	420~480℃
铜及其合金	800~900℃
钢	900~1150℃

选择工具的材料时必须考虑下面两个因素:影响材料强度的模具受热情况和由温度变化引起的热疲劳。

对工具材料的要求取决于被挤压材料的性能、挤压的温度和持续时间、压力的大小和工具的冷却条件。

3. 金属铸造工具 高精度的和表面光滑的金属铸件只有用金属型(冷铸模)和压铸法进行生产。后一种情况,液态金属是在巨大压力下进入金属型的。

冷铸模是一种永久的金属型,注入的液态金属在自重(重力)作用下充满与铸件外形相一致的型腔,并在其中冷却。

生产空心铸件时,形成铸件内孔的型芯也是用金属制成的;有时是用泥心砂制成的。冷铸模材料在生产过程中受到强烈加热,加热的程度取决于液态金属的铸造温度。例如,铝合金铸造时冷铸模的温度可达450℃;细薄的凸出部分和型芯的温度有可能更高。在取出铸件时以及由于冷却的结果,冷