

锻件质量分析

《锻件质量分析》编写组 编著



机械工业出版社

锻件质量分析

《锻件质量分析》编写组 编著

机械工业出版社

本书较系统地总结了我国解决锻件质量问题的大量先进经验，并着重从理论上阐明了影响锻件内部质量的因素。

全书共六章，第一、二章是影响锻件内部质量的一般规律和几个主要问题；第三章是典型锻件质量分析；第四章是各类金属材料锻件质量的共性问题；第五章是锻件质量分析实例；第六章是新型锻压工艺对提高锻件质量的影响，介绍了一些提高锻件质量的新途径。书末列有大量的实物及其组织照片。

本书供从事锻压生产的技术人员和锻件质量检验人员使用，也可供大专院校锻压专业的师生参考。

锻件质量分析

《锻件质量分析》编写组 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)

机械工业出版社印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·新华书店经售

*

开本 787×1092¹/₁₆·印张 29³/₄·插页 4·字数 727 千字

1983年1月北京第一版·1983年1月北京第一次印刷

印数 0,001—6,700·定价 5.20 元

*

统一书号：15033·5287

前 言

锻造在工业生产中占有很重要的地位。凡是对组织和力学性能要求较高的重要零件，一般都需经过锻造。锻件质量的优劣直接影响到产品的性能和寿命。因此，提高锻件质量对我国许多重要工业部门的发展有重大的意义。

为了促进锻压生产技术的迅速发展，我们根据锻造行业同志们的要求，在全国七十多个单位的大力支持下，组织编写了这本书。

本书不仅总结了我国解决锻件质量问题的大量先进经验，而且着重从理论上进行了概括和提高，全面而较深刻地论述了影响锻件内部质量的一般规律。对于书中的每一个实例，按照原始情况、质量问题、质量分析和改进措施等四个方面进行了叙述。这对正确制定锻压工艺，提高锻件质量有一定的指导意义。

本书的编写工作由哈尔滨工业大学锻压教研室、金属学教研室和哈尔滨市机械工程学会锻压专业委员会主要负责，参加编写的单位有：三机部 621 研究所、五机部 52 研究所、大冶钢厂钢研所、庆华工具厂、东北轻合金加工厂、伟建机器制造厂、东安机械厂、黎明机械厂、上海柴油机厂、3035 厂、群力铸锻厂、内蒙古第一机械制造厂、第一汽车制造厂、哈尔滨第一工具厂、上海重型机器厂、一机部机电研究所、中国科学院沈阳金属研究所，上海交通大学、太原重型机械学院和东北重型机械学院等。

在编写过程中有五十多个单位的八十五名代表进行了审查，在定稿前张祖荫同志又进行了认真审阅，都提出了很多宝贵意见。

除上述参加编写的单位外，一机部洛阳轴承研究所、上海市机械制造工艺研究所、冶金部有色金属研究院、沈阳市机电理化检验站、山东工学院、洛阳拖拉机厂、四〇七厂、北京内燃机总厂、北京重型电机厂、哈尔滨汽轮机厂、上海汽轮机厂、江南造船厂、卫东机器制造厂、哈尔滨轴承厂、上海工具厂、哈尔滨量具刃具厂、哈尔滨电表仪器厂、西安红旗机械厂、峨眉机械厂、新都机械厂、湘江机械制造厂、庆安公司、哈尔滨第一机械制造厂、长江机械厂、望江机械厂、无锡动力机械厂、青岛四方机车车辆厂、5704 厂、沈阳重机厂、沈阳矿山机械厂、北京重型机器厂、南昌齿轮厂、上海粉末冶金厂等五十多个单位提供了大量宝贵的资料。借此机会对这些单位和有关同志的热情支持表示深切的感谢！

参加本书主编和编写的有：吕炎、石宏欢、钱存济、李绍善、刘润农、王仲仁、雍冬宝、刘润广、王尔德、姜秋华、王真和郭殿俭同志。参加编写的还有杨金凤、朱法义、曾凡昌、王仁智、曹春晓、张菊水、齐芸馨、**许昭仁**、陈仁泰、郭会光、刘助柏、苗通村、赵荣歧、赵春明等同志。

锻件质量问题是一个复杂的问题，涉及到的学科比较多，特别是针对具体问题由于影响因素多，不易准确分析。限于编者水平，错误之处在所难免，请读者批评指正。

编者

目 录

前言

第一章 概述	1
一、原材料和锻造工艺过程对锻件组织和性能的影响	1
二、锻造过程中常见的缺陷	6
三、锻件质量检验的内容和锻件质量分析的方法	12
第二章 有关锻件质量的几个主要问题	18
一、氧化与脱碳	18
二、晶粒度	22
三、过热与过烧	31
四、异相	37
五、锻比	47
六、金属纤维组织（流线）	54
七、折迭	59
八、白点	64
九、裂纹	68
十、断口	76
第三章 典型锻件的质量分析	93
一、连杆	93
二、齿轮	97
三、汽轮发电机和汽轮机转子	103
四、汽轮机叶轮	107
五、护环	110
六、滚动轴承套圈	117
七、冷冲模	120
八、涡轮叶片	123
第四章 各类金属材料锻件质量的共性问题	128
一、莱氏体高合金工具钢锻件	128
二、高温合金锻件	132
三、耐热不锈钢锻件	134
四、铝合金锻件	137
五、镁合金锻件	142
六、铜合金锻件	146
七、钛合金锻件	148
第五章 锻件质量分析实例	155
一、碳钢及合金结构钢锻件质量分析实例	156
例1 35CrMo 钢锭裂纹分析	156
例2 铜偏析引起铜脆	157
例3 锡脆	157

例 4	铁素体异金属	158
例 5	机身大梁夹杂裂纹	158
例 6	原材料折迭	159
例 7	原材料缩管残余	159
例 8	裂纹分析	160
例 9	20吨电弧炉主轴断裂	160
例 10	气割下料引起的裂纹	161
例 11	摇臂折迭	161
例 12	20Cr2Ni4A 钢锻坯过热对碳氮共渗后马氏体的影响	161
例 13	18Cr2Ni4WA 钢锻坯过热对碳氮共渗后网状碳化物的影响	162
例 14	链条侧环强度低	163
例 15	铜脆	163
例 16	齿轮锻件表层的增碳缺陷	164
例 17	锻件表层的增碳及熔坑缺陷	164
例 18	千分卡架锻件的加热增碳缺陷	165
例 19	摇臂断裂	165
例 20	40CrNiMoA 钢曲轴过热断口	166
例 21	半轴锻造过热	167
例 22	50 A 钢辊锻件锻造加热过烧	168
例 23	车轮轴过烧断裂	168
例 24	连杆弯头部分龟裂	169
例 25	硅铁腐蚀	169
例 26	模锻件软点	170
例 27	维氏硬度块硬度不均	170
例 28	轴锻件端面裂纹	171
例 29	吊钩锻件的轴向裂纹	172
例 30	高压容器管板裂纹	172
例 31	GCr15 钢球纤维分布的改进	173
例 32	纤维分布对 GCr15 轴承套圈寿命的影响	173
例 33	大型柴油机曲轴采用弯曲锻改善性能	174
例 34	锻件的对称性折迭	176
例 35	弹壳底部折迭	177
例 36	锻件的横向裂纹	178
例 37	柴油机连杆断裂	178
例 38	中间轴的中心横向裂纹	179
例 39	60号钢扩孔裂纹	181
例 40	螺钉扩张性麻点	181
例 41	螺母表面裂纹	182
例 42	钢板冷弯时产生开裂	182
例 43	滑轨锌脆	183
例 44	二号轴树枝状组织	183
例 45	GCr15 锻件网状碳化物	184

例46	GCr15 轴承套圈锻 (轧) 后直接水冷细化碳化物	185
例47	叶轮白点	185
例48	打标记引起的裂纹	186
例49	转向节臂断裂	187
例50	支杆冷弯开裂	187
例51	工业纯铁锻造开裂	188
二、高速钢及模具钢锻件质量分析实例		188
例52	原材料内裂、缩孔引起的锻裂	188
例53	钼锻对剃齿刀内部质量的改善	189
例54	W18Cr4V 锻件十字裂纹	189
例55	W18Cr4V 锻件中心轴向裂纹	190
例56	W18Cr4V 锻件中心裂纹	191
例57	键槽拉刀表面纵向裂纹	192
例58	W18Cr4V 车刀锻后冷却裂纹	192
例59	W18Cr4V 铣刀热处理时内孔淬裂	192
例60	W18Cr4V 指形铣刀热处理时淬裂	193
例61	W18Cr4V 滚齿刀崩刃	193
例62	齿形铣刀齿根断裂	194
例63	镰刀夹钢处裂纹	194
例64	中心疏松 (由碳化物剥落引起的) 对锻裂的影响	195
例65	冷冲模锻比不够工作时压裂	196
例66	冷冲凹模断裂	196
例67	M12六角螺栓切边模 刃口崩裂	197
例68	Cr12 小型冷轧辊硬度、光洁度低	198
例69	滚丝模冷滚折迭	198
三、高温合金及耐热不锈钢锻件质量分析实例		199
例70	GH37 合金原材料分层引起的涡轮叶片开裂	199
例71	GH135 合金涡轮盘点状偏析	199
例72	GH36 合金涡轮盘夹杂裂纹	200
例73	GH33 合金原材料粗晶的消除	200
例74	GH33 合金拉杆低倍粗晶	201
例75	GH37 合金原材料粗晶引起叶片锻件晶粒粗大	201
例76	GH135 合金锻坯加热时炸裂	202
例77	GH135 合金涡轮盘轮缘中心裂纹	202
例78	GH37 合金涡轮叶片低倍粗晶	203
例79	GH88 合金增压器叶片粗晶	204
例80	打标记引起的粗晶	205
例81	1Cr18Ni9Ti 轧制锻环过热	205
例82	1Cr18Ni9Ti 环形件锻造裂纹	206
例83	1Cr18Ni9Ti 管接头裂纹	206
例84	4Cr14Ni14W2Mo 排气阀过热	207
例85	4Cr14Ni14W2Mo 排气阀粗晶	208

例86	3Cr13Ni7Si2 进气阀粗晶	209
例87	9Cr18 不锈钢轴承的链状碳化物	209
例88	2Cr13 钢锭锻造加热过烧	210
例89	2Cr13 锻造裂纹	211
例90	2Cr13 叶片锻件裂纹	213
例91	1Cr13 高速锤挤压叶片叶背折迭	213
例92	挤压叶片弯曲变形	214
例93	2Cr13 叶片叶根根角部位掉块	215
例94	1Cr11Ni2W2MoV 转子叶片组织性能的改善	216
例95	1Cr11Ni2W2MoV 转子叶片折迭	217
例96	1Cr14Ni13W2VB 压气机叶片模锻件折迭	218
例97	叶片辊轧折迭	218
例98	Cr17Ni2 压缩机转子叶片折迭	219
例99	Cr17Ni2 整流叶片冲切裂纹	219
四、有色金属锻件质量分析实例		220
例100	铝合金接头锻件的氧化膜缺陷	220
例101	铝合金锻件表面气泡	221
例102	铝合金活塞模锻件裂纹	222
例103	铝合金环形件过烧	223
例104	LY2 铝合金大叶片局部过烧	223
例105	LF6 铝合金锻粗裂纹	224
例106	提高锻造加热温度, 改善 LF3 铝合金的工艺塑性	224
例107	LF6 铝合金环形锻件内壁裂纹	225
例108	LF6 铝合金模锻件穿筋折迭	226
例109	LC4 铝合金框架形模锻件折迭	226
例110	铝合金摇杆的折迭	227
例111	三角架模锻件折迭	228
例112	槽型梁模锻件折迭	229
例113	框形模锻件折迭	229
例114	流线切断	230
例115	铝合金模锻件穿流对性能的影响	230
例116	流线不顺(涡流)对大梁模锻件性能的影响	232
例117	LC4 铝合金支臂孔穴裂纹	233
例118	铝合金机匣模锻件的低倍粗晶	234
例119	LD2 铝合金模锻件低倍粗晶	234
例120	LC4 铝合金模锻件变形不足机械性能不合格	236
例121	镁合金锻粗裂纹	236
例122	镁合金杠杆模锻件裂纹	237
例123	杠杆模锻件折迭	238
例124	镁合金模锻件飞边裂纹	238
例125	镁合金框架形模锻件折迭	239
例126	紫铜触头开裂	239

例127	铝铁青铜锻造裂纹	240
例128	锆青铜滚焊轮的形变时效强化	241
例129	偏析裂纹	242
例130	低铝低钒偏析	242
例131	夹杂裂纹	243
例132	铸造组织残留	243
例133	TC4 钛合金叶片锻坯局部过热	243
例134	TC4 钛合金叶片由于原材料选择不当引起室温塑性不合格	244
例135	TC4 钛合金叶片由于挤压工艺不当引起室温塑性不合格	244
例136	钛合金叶片剪切带	245
例137	TC4 钛合金压气机盘模锻件过热	245
例138	TC4 钛合金压气机盘模锻件表面撕裂	246
例139	TC4 钛合金高速挤压叶片榫头剪裂	246
例140	TC4 钛合金叶片叶身表面粘模和横向裂纹	246
例141	顶锻折迭	247
第六章 新型锻压工艺方法对提高锻件质量的作用		248
一、	精密模锻、冷挤压和辊轧	248
二、	粉末锻造	251
三、	表面预压应力法	258
四、	超塑性模锻	269
五、	静液挤压	274
六、	形变热处理	281

第一章 概 述

锻件质量的优劣对机械零件，特别是对许多重要零件的性能和寿命影响极大。例如，国内外航空发动机的涡轮盘、涡轮叶片、压气机叶片的炸裂和折断事故，电站主轴叶轮发生的爆炸事故，汽车发动机和高速柴油机连杆在运行中的折断事故等，都与其锻件的内部质量有极为密切的关系。又如，锻件质量优良的铬12型钢冷冲模可冲压300万次以上，而质量低劣的同样模具寿命却不足5万次；采用压力加工方法提高了表面质量的涡轮叶片寿命在一千小时以上，而通常涡轮叶片的使用寿命仅为200小时，前者较后者高五倍以上。上述事实说明，提高锻件质量对许多重要工业部门的发展有着重大的意义。

因此，生产锻件时，除了必须保证所要求的形状和尺寸外，还必须满足零件在使用过程中所提出的性能要求，其中主要包括：强度指标、塑性指标、冲击韧性、疲劳强度、断裂韧性和抗应力腐蚀性能等，对高温工作的零件，还有高温瞬时拉伸性能、持久性能、抗蠕变性能和热疲劳性能等。而锻件的性能又取决于其组织和结构（以下简称为组织）。不同材料，或同一材料的不同状态的锻件，其性能不同，归根到底都是由其组织决定的。金属的组织与材料的化学成分、冶炼方法、压力加工过程和热处理工艺等因素有关。其中，压力加工过程对锻件的组织有重要的影响，尤其对那些在加热和冷却过程中没有同素异构转变的材料；例如，奥氏体和铁素体耐热不锈钢、高温合金、铝合金和镁合金等，主要依靠在压力加工过程中，正确控制热力学工艺参数来改善锻件的组织和提高其性能。

采用压力加工方法，还可以改善零件的表面状态和建立表面预压应力，提高零件的使用性能。

由于锻件的质量与原材料质量、锻造工艺及热处理工艺有关，所以要保证获得高质量的锻件，必须从以上几个方面进行分析和研究。

本章概要介绍三方面的问题：（1）原材料和锻造工艺过程对锻件组织和性能的影响；（2）锻造过程中常见的缺陷；（3）锻件质量检验的内容和锻件质量分析的方法。

一、原材料和锻造工艺过程对锻件

组织和性能的影响

（一）原材料对组织和性能的影响

锻造用的原材料为铸锭、轧材、挤材及锻坯。而轧材、挤材及锻坯分别是铸锭经轧制、挤压及锻造加工后形成的半成品。对铸锭来说，炉料成分、冶炼方法及铸造工艺是决定其质量的重要环节。而轧制、挤压及锻造加工过程，则是决定相应半成品质量的又一环节。

原材料在进入锻造过程之前，需经尺寸、表面质量、化学成分、高倍组织、低倍组织及机械性能的检验，符合技术条件要求后方能投入生产。

原材料的化学成分、高倍组织、低倍组织及机械性能是保证锻件组织性能的基础，而原材料的尺寸和表面质量直接影响锻件的工艺塑性及成形。此外，原材料的可锻性及其再结晶

特点是确定锻造工艺参数的基础。

因此，原材料的良好质量是保证锻件质量的先决条件。

但是，原材料的质量检验具有一定的局限性（例如，漏检和取样不具有代表性等等），原材料的技术条件规定的检验方法，不可能把钢材内部的所有质量问题都暴露出来，例如，内部的成分与组织偏析等。因此，原材料存在的各种缺陷，势必影响锻件的成形过程及锻件的最终质量。

原材料对锻件组织和性能的影响，主要有以下几个方面：

1. 化学成分及杂质元素的影响

在原材料的技术条件中，对化学元素皆规定了相应的成分范围，对杂质元素 S、P、Cu、Sn、Pb 等也有一定的限制。化学元素超出规定的范围和杂质元素含量过高对锻件的成形和质量都会带来较大的影响。

S、B、Cu、Sn 等元素易形成低熔点相，使锻件易出现热脆。

含 Al 量对合金结构钢的本质晶粒度有一定影响。为了获得本质细晶粒钢，钢中残余铝含量需控制在一定范围内（例如 Al_总 0.02~0.04%）。含铝量过少，起不到控制晶粒长大的作用；含铝量过多，压力加工时在形成纤维组织的条件下易造成木纹状断口、撕痕状断口等，这些都会降低锻件的机械性能和使用性能。

在 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢中，Ti、Si、Al、Mo 的含量越多，则铁素体相越多，锻造时越易形成表面裂纹，并使零件带有磁性。

原材料中的共晶相对锻件的成形及锻件质量有很大的影响，它使材料在锻前加热时容易过烧和降低材料的塑性指标等。例如，莱氏体工具钢中的一次共晶碳化物，铝合金挤压棒材中的树枝状共晶化合物，镁合金中的共晶化合物等。而钛合金原材料中的粗大 β 相直接影响锻件的常规机械性能。

2. 原材料内部缺陷的影响

原材料内部的缩管残余、皮下气泡、严重碳化物偏析、粗大的非金属夹杂物（夹渣）等缺陷，易使锻件产生裂纹。

原材料内部的树枝状晶、严重疏松、非金属夹杂物、白点、翻皮、氧化膜、分层、偏析带及异金属混入等缺陷，易引起锻件性能下降。微量的非金属夹杂物对冷轧辊及轴承钢的寿命也有较大的影响。

3. 原材料表面缺陷的影响

原材料的表面裂纹、折迭、结疤、粗晶环等易造成锻件的表面裂纹。

4. 原材料流线的影响

供锻造和模锻的轧材、挤材及锻坯均具有纤维组织，因此其性能都具有方向性，这也是造成锻件性能呈方向性的基本原因。其方向性的严重程度，既取决于原材料中 S、P 及其他杂质的含量、又取决于原材料的锻比。因此，选择锻件的锻造方案时，应根据零件的受力情况，注意流线的正确分布。

原材料的可锻性及再结晶特点对锻件成形和锻件质量也有很大的影响。可锻性良好的材料成形性好。一般来说碳钢和合金结构钢的工艺塑性较高，变形抗力较低，可锻性好。而高合金钢及高温合金的工艺塑性低，变形抗力大，可锻性差。铝合金居中，各种合金都有一定的临界变形范围，当变形程度在此范围内时，晶粒特别粗大，使锻件的机械性能降低，锻造

时应避开这个临界变形范围。

(二) 锻造工艺过程对锻件组织和性能的影响

为获得良好组织性能的锻件，除了需要保证良好的原材料质量外，还需要有合理的锻造工艺过程和热处理工艺。

锻造工艺过程一般由以下工序组成，即下料、加热、成形、锻后冷却、酸洗（腐蚀）及锻后热处理。成形工序包括自由锻、模锻、切边和校正；自由锻包括镦粗、拔长、冲孔、弯曲及扭转等；模锻包括拔长、滚挤、预锻、终锻和顶镦等。

从上述工序来看，锻造工艺过程对锻件组织和性能的影响，最终可以归结为热力学因素的影响。

所谓热力学因素就是指变形温度、变形程度、变形速度、冷却速度和应力状态等等。

选择合理的热力学因素，可以通过下列几方面来改善原材料的组织：

(1) 打碎柱状晶，改善宏观偏析，把铸态组织变为锻态组织，并在合适的温度和应力条件下，焊合内部孔隙，提高材料的致密度；

(2) 铸锭经过锻造，形成纤维组织，进一步通过轧制、挤压、模锻，使锻件得到合理的纤维方向分布；

(3) 控制晶粒的大小和均匀度；

(4) 改善异相（例如，莱氏体钢中的合金碳化物）的分布；

(5) 使组织得到形变强化或形变一相变强化等。

由于上述组织的改善，使锻件的塑性、冲击韧性、疲劳强度及持久性能等也随之得到了改善，然后再通过零件的最后热处理就能得到零件所要求的硬度、强度和塑性等良好的综合性能和组织。

以下具体讨论热力学因素对锻件组织性能的影响。

1. 变形温度的影响

锻造加热不仅是为了保证锻造成形时有良好的塑性和低的变形抗力，而且对锻后的组织和性能也有很大影响。对钢而言，由于锻造时的加热温度一般皆比零件的最终热处理温度高，因此高温下形成的晶粒大小及随后的组织转变对锻件的质量会带来一定的影响。而不合适的加热温度总是给锻件造成种种缺陷。

若加热温度过高和加热时间过长，会引起脱碳、过热、过烧（尤其是高合金钢及含Si钢最易脱碳），例如，合金结构钢产生过热断口，马氏体不锈钢出现 δ 铁素体，奥氏体不锈钢出现铁素体，9Cr18轴承钢碳化物沿孪晶线析出，耐热合金出现晶粒粗大，钛合金出现 β 组织粗化等。而渗碳钢的锻造过热，则使渗碳后出现粗大针状马氏体和网状碳化物。上述各种组织缺陷使锻件的机械性能特别是韧性和疲劳性能下降。

锻造加热温度对 $\alpha + \beta$ 钛合金组织和性能的影响特别明显。锻造温度对 $\alpha + \beta$ 钛合金 β 晶粒大小和室温机械性能的影响见图1-1。

若加热温度过低，不仅易引起变形不均，使耐热合金及铝合金淬火加热后易出现粗晶或晶粒粗细不均现象，使亚共析钢形成带状组织，而且在锻造时还会引起各种形式的裂纹。

2. 变形程度和变形方式的影响

钢锭的锻比是影响锻坯机械性能的主要因素。锻比对钢锭中的孔隙度、非金属夹杂物和韧性的影响如图1-2所示。由图可见，横向韧性开始有一定增加，然后逐渐减少，其原因是由

于形成了纤维组织的结果。有纤维组织的钢材继续变形时，由于纤维分布发生了改变，纵、横向的性能也将随之而改变。图 1-3 和图 1-4 所示为沿钢材原来纤维方向的横向和纵向压缩时性能指标发生变化的情况。热挤压的铝合金棒材的韧性具有很明显的方向性，纵向韧性最大而横向韧性最小。如果模锻时产生横向或侧向流动，则横向韧性得到改善。

采用合适的锻造工艺，可以使金属纤维沿零件的最大受力方向分布。流线均匀而连续地沿锻件的外形分布，能使锻件的机械性能特别是疲劳性能和抗应力腐蚀性能得到提高。

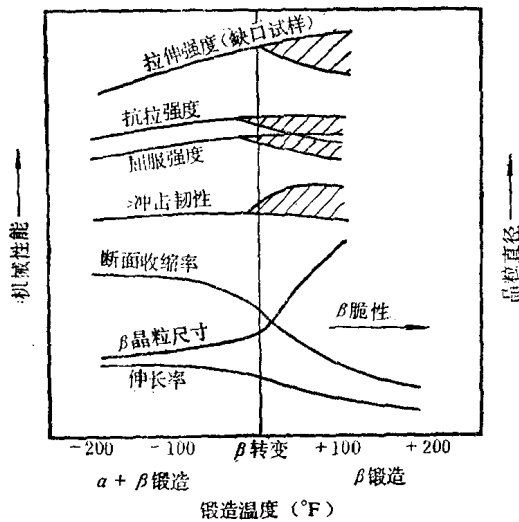


图1-1 锻造温度对 $\alpha + \beta$ 钛合金锻后的 β 晶粒尺寸和室温性能的影响

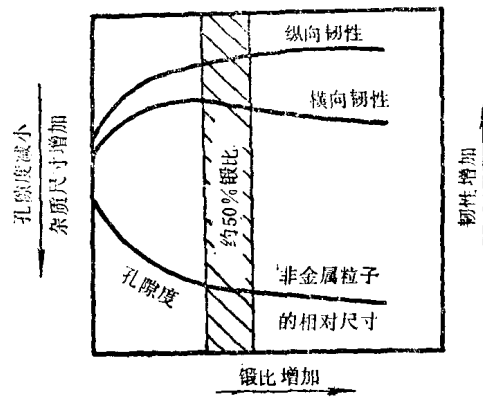


图1-2 锻比对孔隙度、杂质尺寸和韧性的影响

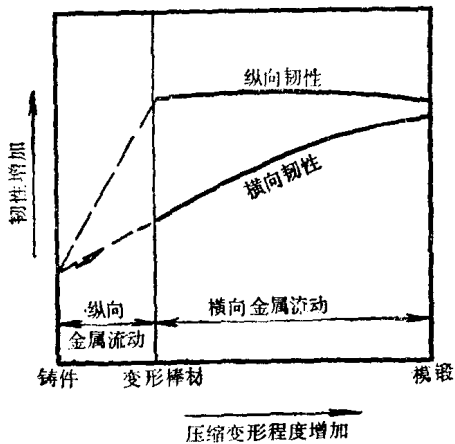


图1-3 横向压缩对钢的纵向和横向韧性影响的典型曲线

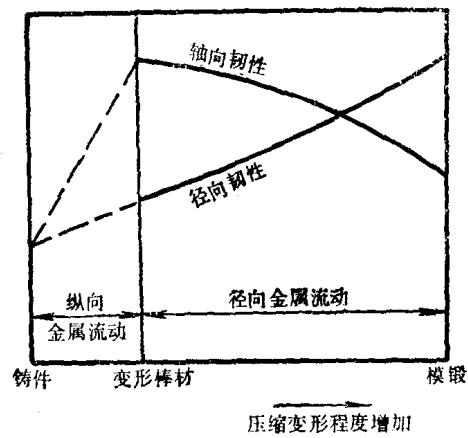


图1-4 纵向锻粗对钢的轴向和径向韧性影响的典型曲线

最终成形工序的变形程度是影响锻件晶粒度的重要因素，这对于无同素异构转变的材料更是如此。当最终工序的变形量处于临界变形区时，锻件的晶粒特别粗大，其机械性能下降。一般来说，变形程度大于临界变形，可以获得细小晶粒。但是，变形程度过大所引起的织构现象，将使铝合金锻件产生粗大晶粒；某些高温合金锻件因变形程度过大，使晶界碳化物破碎，也可能出现粗大晶粒。

采用反复锻拔的变形方式（单向锻拔，十字锻拔、双十字锻拔）和足够大的变形程度可

以达到如下目的：

- (1) 细化和均布高速钢、铬12型钢、3Cr2W8V钢中的碳化物，提高其使用性能；
- (2) 消除铝合金、钛合金中组织和性能的方向性，提高组织和性能的均匀性。

3. 变形速度的影响

一般来说，提高变形速度将使可锻性降低，即使金属的塑性下降，变形抗力增加。

变形速度还将影响到锻透性。在大变形程度下，变形速度越小，则锻透性越好，越有利于晶粒细化和再结晶的进行，因而也有利于工艺塑性的提高。

4. 加热速度的影响

对于断面尺寸大及导热性差的坯料，若加热速度太快，保温时间太短，往往使温度分布不均匀，引起热应力，并使坯料发生开裂。例如，高合金钢、高合金工具钢、高温合金等钢锭和锻坯常常因加热不当发生开裂。坯料温度不均，还会引起变形和组织不均，产生附加应力，造成内部开裂等。

5. 冷却速度的影响

冷却速度不当，往往使锻件产生热应力、组织应力及第二相的析出。马氏体不锈钢、莱氏体钢（高速钢和铬12型钢），若锻后冷却速度过快，往往由于马氏体组织转变引起组织应力，造成锻件表面开裂。但是，有些材料锻后缓冷，将有第二相沿晶界析出，引起性能下降。例如，轴承钢锻后缓冷将沿晶界析出网状碳化物等。

6. 应力状态的影响

应力状态对可锻性和金属流动有一定影响。三向压应力状态可以提高金属的塑性，但使变形抗力增加。这是由于压应力能阻止晶间联系的破坏，有利于晶内滑移变形的发展。作用于滑移面上的平均压应力，提高了材料塑性变形能力。

(三) 锻件组织对最终热处理后的组织和性能的影响

锻造生产是冶金（原材料）与最终热处理之间的中间工序，所以锻件质量的好坏对最终热处理后的质量和零件的使用性能有很大影响。

正常的锻件组织经过合理的最终热处理后，可以获得所要求的组织和性能。但是，由于锻造工艺不当引起的某些组织缺陷或原材料遗留的某些缺陷，对热处理后的锻件质量有很大影响。现举例说明如下：

1. 有些锻件的组织缺陷，在锻后热处理时可以得到改善，锻件最终热处理后仍可获得满意的组织和性能。例如，在一般过热的结构钢锻件中的粗晶和魏氏体组织，过共析钢和轴承钢由于冷却不当引起的轻微的网状碳化物等。

2. 有些锻件的组织缺陷，用正常热处理较难消除，需用高温正火、反复正火、低温分解、高温扩散退火等措施才能得到改善。例如，低倍粗晶，9Cr18不锈钢的孪晶碳化物等。

3. 有些锻件的组织缺陷，用一般热处理工艺不能消除，结果使最终热处理后的锻件性能下降，甚至不合格。例如，严重的石状断口和棱面断口、过烧、不锈钢中的铁素体带、莱氏体高合金工具钢中的碳化物网和带等。

4. 有些锻件的组织缺陷，在最终热处理时将会进一步发展，甚至引起开裂。例如，合金结构钢锻件中的粗晶组织，如果锻后热处理时未得到改善，在碳、氮共渗和淬火后常引起马氏体针粗大和性能不合格；高速钢零件中的带状碳化物，淬火时常引起开裂。

二、锻造过程中常见的缺陷

原材料质量不良和锻造工序不按正确规定进行时，往往引起锻件的各种质量问题。这不仅影响锻件的成形，而且影响锻件的组织性能。

表 1-1 ~ 表 1-7 按照锻造工序的顺序，分别列出锻造过程中各工序可能产生的缺陷，并概要地介绍了各种缺陷的主要特征及产生原因，更详细的内容见第五章和其他有关章节。

表1-1 原材料的主要缺陷及其引起的锻件缺陷

名称	主要特征	产生原因及影响	备注
毛细裂纹	位于金属表面，深约 0.5~1.5 毫米的细微裂纹	金属轧制时，将钢锭内的皮下气泡辗长后破裂形成的。锻造前若不去掉，可能引起锻件裂纹	—
折迭	在金属表层深达 1 毫米左右，在直径两端折缝方向相反。横向观察，折迭同圆弧切线构成一角度，折缝内有氧化铁夹杂，四周有脱碳	因轧辊上的型槽定径不正确，或因型槽磨损面产生的毛刺在轧制时被卷入，导致形成折迭 锻造前若不去掉，可能引起锻件折迭	见实例 6
结疤	轧材表面局部区域的一层可剥落的薄膜，其厚度约 1.5 毫米左右	浇铸时，由于钢液飞溅而凝结在钢锭表面，轧制时被压成薄膜而贴附在轧材表面，即为结疤 锻后经酸洗清理，薄膜剥落成为锻件表面缺陷	—
层状断口	断口或断面与折断了的石板、树皮很相似。这种缺陷在合金钢（铬镍钢，铬镍钨钢等）中较多，碳钢中也有发现	主要是原材料冶炼质量的问题，往往在轴心部分出现。一般认为，钢中存在非金属夹杂物，枝晶偏析以及气孔疏松等缺陷，在锻、轧过程中沿轧制方向被拉长，使钢材呈片层状 如果杂质过多，锻造就有分层破裂的危险。层状断口越严重，钢的塑性、韧性越差，尤其是横向机械性能很低，所以钢材如具有明显的层片状缺陷是不合格的	见照片 2-56，实例 70
亮线（亮区）	在纵向断口上呈现结晶发亮的有反射能力的细条线，多数贯穿整个断口，大多数产生在轴心部分	亮线主要是由于合金元素偏析造成的 轻微的亮线对机械性能影响不大，严重的亮线将明显降低材料的塑性和韧性	见实例 130
非金属夹杂	在轧材的纵断面上表现为被轧长了的或被破碎的非金属夹杂。前者如硫化物，后者如氧化物、脆性硅酸盐	非金属夹杂物主要是熔炼或浇铸的钢水冷却过程中由于成分之间或金属与炉气、容器之间的化学反应形成的。另外，在金属熔炼和浇铸时，由于耐火材料落入钢液中，也能形成夹杂物，这种夹杂物统称夹渣 严重的夹杂物容易引起锻造开裂或降低材料的使用性能	见实例 5、8、71、72
碳化物偏析	经常在含碳高的合金钢中发现（例如高速钢等），其特点是局部区域有较多的碳化物集聚	钢中的莱氏体共晶碳化物和二次网状碳化物在开坯和轧制时未被打碎和均匀分布造成的 碳化物偏析降低钢的锻造变形性能，易引起锻件开裂。锻件热处理淬火时容易局部过热、过烧和淬裂。制成的刀具使用时刃口易崩裂	见实例 60、61
铝合金氧化膜	一般多位于模锻件的腹板上和分模面附近。在低倍组织上呈微细的裂口，在高倍组织上	熔铸过程中敞露的熔体液面与大气中的水蒸气或其他金属氧化物相互作用时所形成的氧化膜在转铸过程中被卷入液体金属的内部形成的	见实例 100

(续)

名称	主要特征	产生原因及影响	备注
铝合金氧化膜	呈涡纹状, 在断口上的特征可分两类: 其一, 呈平整的片状, 颜色从银灰色、浅黄色直至褐色、暗褐色; 其二, 呈细小密集而带闪光的点状物	锻件和模锻件中的氧化膜对纵向机械性能无明显影响, 但对高度方向机械性能影响较大, 它降低了高度方向强度性能, 特别是高度方向伸长率、冲击韧性和高度方向抗腐蚀性能	见实例100
异金属夹杂物	与基体金属有明显的界限	熔炼时外来金属混入造成的。异金属的存在, 降低了零件的使用性能, 且易引起锻件各种形式的裂纹	见实例4
白点	在钢坯的纵向断口上呈圆形或椭圆形的银白色斑点, 在横向断口上呈细小的裂纹。白点的大小不一, 长度由1~20毫米或更长 白点在合金钢中常见, 普通碳钢中也有发现, 是隐藏在内部的缺陷	白点是在氢和相变时的组织应力以及热应力的共同作用下产生的, 当钢中含氢量较多和热压力加工后冷却(或锻后热处理)太快时较易产生 用带有白点的钢锻造出来的锻件, 在热处理时(淬火)易发生龟裂, 有时甚至成块掉下。白点降低钢的塑性和零件的强度, 是应力集中点, 它象尖锐的切刀一样, 在交变载荷的作用下, 很容易变成疲劳裂纹而导致疲劳破坏	见第二章第八节和实例47
粗晶环	经热处理后供应的铝及其合金的挤压棒材, 在其圆断面的外层常常有粗晶环。粗晶环的厚度, 由挤压时的始端到末端是逐渐增加的。若挤压时的润滑条件良好, 则在热处理后可以减小或避免粗晶环。反之, 环的厚度会增加	粗晶环的产生原因与很多因素有关。但主要因素是由于挤压过程中金属与挤压筒之间产生的摩擦。这种摩擦致使挤出来的棒材横断面的外表层晶粒要比棒材中心层晶粒的破碎程度大得多。但是由于筒壁的影响, 此区温度低, 挤压时未能完全再结晶, 淬火加热时未再结晶的晶粒再结晶并长大吞并已经再结晶的晶粒, 于是在表层形成了粗晶环 有粗晶环的坯料锻造时容易开裂, 如粗晶环保留在锻件表层, 则将降低零件的性能	见实例119
缩管残余	缩管残余附近区域一般会出现密集的夹杂物、疏松或偏析。在横向低倍中呈不规则的皱折的缝隙	一般是由于钢锭冒口部分产生的集中缩孔未切除干净, 开坯和轧制时残留在钢材内部而产生的	见实例7

表1-2 坯料剪切和切割时产生的缺陷及其引起的锻件缺陷

名称	主要特征	产生原因及影响	备注
切料	坯料端面与轴线倾斜, 超过了规定的允许值	剪切时棒料未压紧造成的	—
坯料端部弯曲并带毛刺	切料时部分金属被带入剪刀间隙之间, 产生尖锐的毛刺	剪刀片之间的间隙太大, 或刃口不锐利, 因此坯料在被切断之前已有弯曲, 结果部分金属被挤入刀片之间, 形成端部下垂毛刺 有毛刺的坯料, 加热时易引起局部过热过烧, 锻造时易产生折迭和开裂	—
端部金属被拉掉	坯料端面金属被拉掉	刀片之间的间隙太小, 金属材料不是剪切断裂, 而是撕裂的, 结果部分金属被拉掉 这样的坯料锻造时易产生折迭和开裂	—
端部裂纹	主要产生在剪切大断面坯料时, 如冷状态下剪切合金钢和	由于刀片的单位压力太大, 使圆形断面的坯料压扁成椭圆形, 这时材料中产生了很大的内应力。而压扁的端	—

(续)

名称	主要特征	产生原因及影响	备注
端部裂纹	高碳钢时也会产生。通常是在剪切后3~4小时才发现	面力求恢复原来的形状,在内应力的作用下则在切料后的几小时内出现开裂。材料硬度过高、硬度不均和材料偏析较严重时也易产生剪切裂纹 有端部裂纹的坯料,锻造时裂纹将进一步扩展	—
气割裂纹	一般位于坯料端部	由于气割前原材料没有预热,气割时产生组织应力和热应力引起的 有气割裂纹的坯料,锻造时裂纹将进一步扩展	见实例10
凸芯开裂	一般位于原坯料端面的中心部位	车床下料时,在棒料的端面往往留有凸芯。锻造过程中,由于凸芯的断面很小,冷却很快,因而其塑性较低,但坯料基体部分断面大,冷却慢,塑性高。因此,在断面突变交接处成为应力集中的部位,加之两部分塑性差异较大,故在锤击力的作用下,凸芯的周围容易造成开裂	—

表1-3 加热不当产生的缺陷

名称	主要特征	产生原因及影响	备注
过热	一般是指金属由于加热温度过高引起粗大晶粒的现象。碳钢(亚共析钢或过共析钢)以出现魏氏组织为特征。工模具钢(或高合金钢)以一次碳化物角状化为特征。一些合金结构钢过热后除晶粒粗大外,沿晶界还有析出物,而且用一般热处理办法也不易消除(见第二章过热过烧一节)	加热温度过高,或在规定的锻造与热处理温度范围内停留时间太长,或由于热效应而引起的 过热组织由于晶粒粗大,将引起机械性能降低,尤其是冲击性能	见实例12、13、14、20、21、81、84、133、135、137
过烧	过烧严重的金属,锻粗时轻轻一击就裂,拔长时在过烧处出现横向裂口 过烧部位的晶粒特别粗大。裂口间的表面呈浅灰蓝色。过烧的铝合金锻件,表面呈黑色或暗黑色,并且表面形成鸡皮状气泡。从高倍组织看,一般以晶界出现氧化和熔化现象为特征。对碳钢来说,晶界出现氧化和熔化;工模具钢(高速钢、铬12型钢)过烧时晶界因熔化而出现鱼骨状莱氏体;铝合金过烧往往出现晶界熔化三角区域或复熔球等	加热温度过高或高温加热时间过长引起的。炉中的氧及其他氧化性气体渗透到金属晶粒间的空隙,并与铁、硫、碳等氧化,形成了易熔的氧化物的共晶体,它破坏了晶粒间的联系	见实例22、23、77、88、103、104
铜脆	锻造时锻件表面龟裂。高倍观察,有淡黄色的铜(或铜的固溶体)沿晶界分布	炉内残存氧化铜屑,加热时氧化铜还原为自由铜,熔融的铜原子在高温下沿奥氏体晶界扩展,削弱了晶粒间的联系。另外,钢中含铜量较高(>2%)时,如在氧化性气氛中加热,在氧化铁皮下形成富铜层,也引起铜脆	见实例2、15