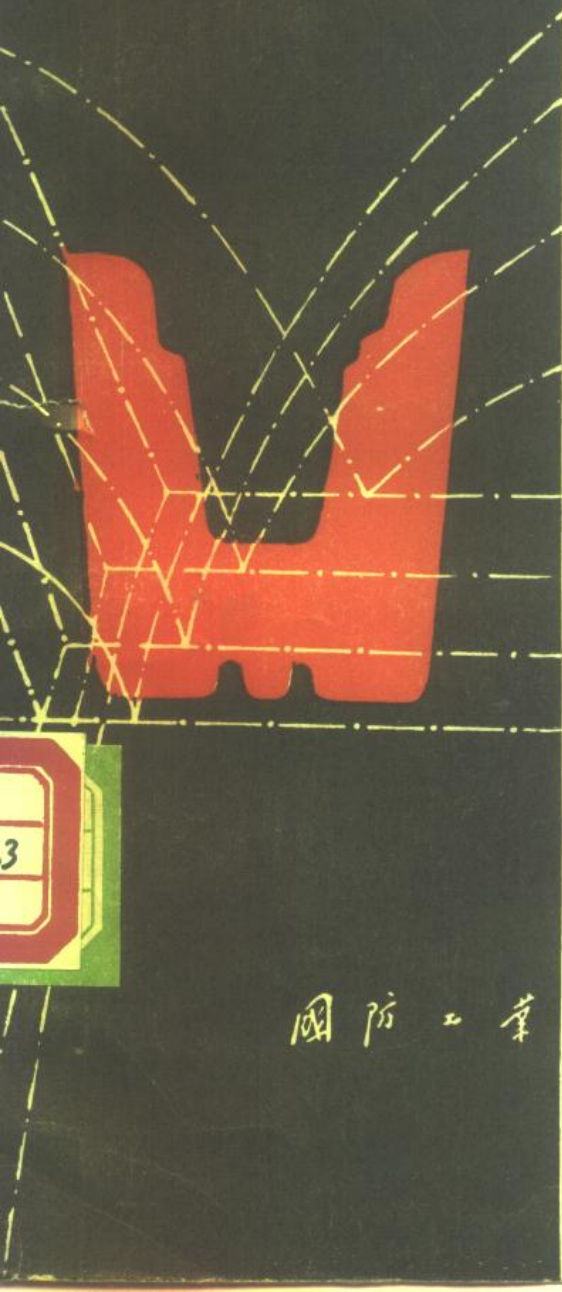


上海交通大学
锻压教研组编

液态模锻

国防工业出版社



液 态 模 锻

上海交通大学锻压教研组编

国防工业出版社

内 容 简 介

本书介绍了液态模锻的有关基础理论、模具设计及所用设备、典型零件工艺。并以铝合金活塞为例,介绍了液态模锻件的金相组织和机械性能,以及工件缺陷和防止办法。

本书可供锻压专业的技术人员、工人及本专业师生阅读。

液 态 模 锻

上海交通大学锻压教研组 编

*

国防工业出版社 出版

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

国防工业出版社印刷厂印装

*

787×1092 1/32 印张2¹³/16 58千字

1981年2月第一版 1981年2月第一次印刷 印数:0,001—4,500册

统一书号:15034·2107 定价:0.25元

前 言

利用液态金属进行模锻是金属成型的一种先进工艺。在五十年代末期，我国科技人员已开始对液态模锻工艺进行研究。进入七十年代，该工艺获得较迅速的发展。国内已有不少单位从事该项新工艺的研究，并在生产中加以应用，取得很大成绩。目前已试制成活塞、铜合金模具、蜗轮、仪表零件、阀体等液态模锻件。就材料而言，大都是有色金属，也有部分黑色金属。在四个现代化的建设中，液态模锻工艺在我国必将获得更大的发展。

本书就液态模锻各个方面进行了综述。介绍了液态模锻的有关基础理论、模具设计及所用设备、典型零件工艺。并以铝合金活塞为例，介绍了液态模锻件的金相组织和机械性能，以及工件缺陷和防止办法。为了交流和推广这方面的经验，书中采用了有关单位的一些实例，在此向他们表示感谢。

本书由上海交通大学锻压教研室编写。毛良桢、徐祖录负责审定。参加本书编写工作的有计伟志（第一章）、许昭仁（第二、五章）、吴安（第三章）、毛良桢（第四章）。徐志昌参加了本书的有关工作。

由于水平有限，欢迎读者对书中的缺点错误提出宝贵意见。

编 者

目 录

第一章 液态模锻概述	1
§ 1 简介	1
§ 2 液态模锻理论基础	9
第二章 金属液态模锻工艺	16
§ 1 工艺流程	16
§ 2 金属液态模锻的基本参数	20
第三章 液态模锻用模具与设备	29
§ 1 液态模锻用模具	29
§ 2 液态模锻用设备	47
第四章 液态模锻件性能与废品分析	54
§ 1 液态模锻件性能检验	54
§ 2 液态模锻件的废品及防止措施	65
第五章 液态模锻工艺实例	68
§ 1 有色金属棒料的液态模锻	69
§ 2 铝合金活塞的液态模锻	70
§ 3 铜合金模具的液态模锻	72
§ 4 镍黄铜 (HNi56-3) 高压阀体的液态模锻	74
§ 5 仪表零件的液态模锻	77
§ 6 带支耳圆柱形工件的液态模锻	79
§ 7 载重汽车减速器铜蜗轮的液态模锻	82
§ 8 钢质工件的液态模锻	85

第一章 液态模锻概述

§ 1 简介

一、历史和现状

液态模锻的实质是把液态金属直接浇入金属模内，然后在一定时间内以一定的压力作用于液态（或半液态）金属上，使之成形，并在此压力下结晶和塑性流动。利用液态金属进行模锻，是制造工件的一种先进工艺，它是在研究压力铸造的基础上逐步发展起来的。

近些年来，液态模锻发展很快，目前已成为无切削、少切削、精化毛坯的一种重要新工艺。

液态模锻在各国的名称各不相同，常称为“挤压铸造”或“锻打铸造”以及“溶汤锻造”等等。

液态模锻工艺的发展在各国经历了不同的阶段。1937年，苏联为了改进压铸工艺而开始研究液态模锻，二次大战期间已用于铜合金轴承衬套的大量生产。目前苏联已采用这种工艺生产多种工件，其中单件重量有的达 300 公斤以上，其材料包括有色金属及其合金、铸铁、碳钢和不锈钢等。

近数年来，日本民间企业对这项新工艺也都重视起来了。可是从发表的资料来看，重点还在有色金属及其合金方面。日本采用此工艺所生产的活塞，其直径达 400 毫米。

美国在 1969 年由设在芝加哥的伊利诺斯工艺研究所开始着手这项工作，自行设计和制造了一台液态模锻用液压机，



图 1 部分液态模铸产品实例

并生产了一批样品，1974年已应用于部分的工业生产。

我国自1958年就开始进行了液态模锻的研制工作，在进入七十年代后此项工作发展得更快一些。我国采用这项工艺制成了大型铝合金活塞、镍黄铜高压阀体、气动单元组合的仪表外壳、铜合金蜗轮等产品，其中大型铝合金活塞，产品性能良好，满足了设计要求。图1为部分液态模锻产品实例。

液态模锻实际上是铸造加锻造的组合工艺，它兼有铸造工艺简单、成本低，又有锻造产品性能好、质量可靠等优点。因此在生产形状较复杂的工件、而在性能上又有一定要求时，液态模锻更能发挥其优越性。

二、工艺过程及应用范围

液态模锻的工艺过程是：把一定量的金属液浇入下模（凹模）型腔中，然后当熔液还处在熔融或半熔融状态（固相加液相）时便施加压力，迫使金属充满型腔的各个部位形成工件。在整个凝固过程中，对工件保持压力，以便压实工件内部在金属凝固时产生的缺陷，并产生塑性变形；工件凝固及塑性变形后，借助顶杆或其他方法把它推出，然后为下一次操作做好准备。

金属在凝固过程中受到高压作用，使熔液和金属模壁紧密接触，并有很大的压力存在，因而传热快，凝固时间仅为普通铸造的 $1/3 \sim 1/4$ 。因此，工件表面光滑，能较好地反映型腔表面光洁度。同时凝固以后的组织致密。又因为金属熔液在凝固过程中受到高压作用，增加了金属的成核率，因此可以获得细晶粒组织。此外，由于工件是在压力下结晶，可以减少或消除工件内部疏松、气孔、缩孔等缺陷，又因冷却得快，可以减少化学成分偏析，从而改善内部组织，达

到改善机械性能的目的。

对于铸铁，液态模锻工艺还有促进石墨球化和细化、改善分布、改善基体组织等作用。

液态模锻工艺按加压方式来分，有三种形式：

(1) 凸模加压凝固法：图2是凸模加压凝固法的基本形式。熔化的金属浇入凹模1中，凸模2下行与凹模形成封闭型腔，待熔融的金属逐渐凝固时施加压力。这种方法仅适用于铸锭或形状简单的厚壁件。在凸模压力作用下液态金属不产生向上的移动。

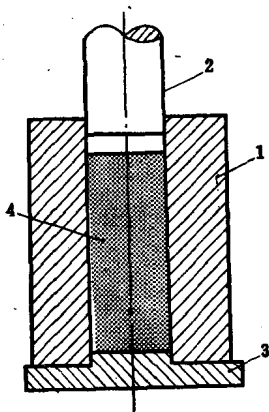


图2 凸模加压凝固法

1—凹模；2—凸模；3—底板；
4—金属熔液。

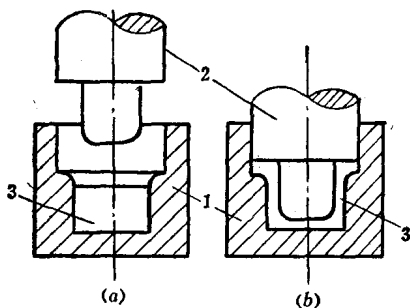


图3 直接液态模锻法

a—加压前；b—加压后；
1—凹模；2—凸模；3—金属熔液(工件)。

(2) 直接液态模锻法：图3所示为直接液态模锻法的基本形式。熔融的金属浇入凹模1中，凸模2下行与凹模形成封闭型腔，同时将液态金属压成一定形状。型腔中液态金属在一定压力作用下向上流动，逐渐冷却、凝固。如果事先没有使多余金属熔液溢出的措施，则凸模的最终位置便由注

入熔液的量来决定，并在工件底部和顶部厚度的变化上反映出来。杯状和空心法兰状工件常采用这种方法。

(3) 间接液态模锻法: 图 4 是间接液态模锻法的基本形式。熔融的金属浇入下模 2 中, 上模 1 先与下模 2 组成部分型腔, 待凸模 3 下行时将液态金属挤出形成一定形状。间接

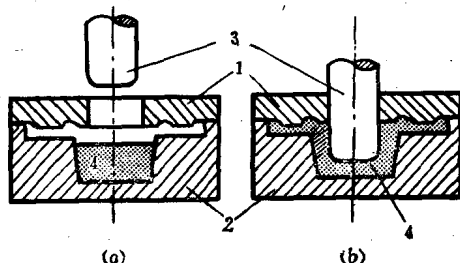


图 4 间接液态模锻法

a—加压前; b—加压后。

1—上模; 2—下模; 3—凸模; 4—金属熔液(工件)。

液态模锻常采用组合模具, 它的特点是除凸模作用于工件外, 上模也参与加压作用。在金属流动方面和直接液态模锻法相似。由于金属熔液是以较低的速度连续流动的, 所以不会产生喷流或涡流现象, 型腔内的空气也比较容易排出, 加压效果显著。

目前国内液态模锻基本上是在液压机上进行。因为摩擦压力机的压力和速度无法控制, 冲击性很大, 而且无法保压, 故很少使用。液压机的压力和速度可以控制, 操作容易, 施压平稳, 不易产生飞溅现象。

液态模锻工艺的应用范围, 从国内外实际应用情况以及它的结晶特点来看, 主要是:

(1) 在材料种类方面适用性较广, 可用于生产各种类型

的合金，如铝合金、锌合金、铜合金、镁合金、灰口铁、球墨铸铁、碳钢、不锈钢等。至于为什么也可以适用于一些脆性材料，如锡青铜和灰口铁，那是因为金属在上模的压力下挤向模壁，同时受到模壁的反压力，其变形是在各个方向只产生压应力而没有拉应力的情况下进行的，因而消除了脆性开裂的现象。

在黑色金属液态模锻方面，由于受到模具材料的限制，因而进展得较慢。

(2) 对于一些形状复杂、且性能上又有一定要求的产品，采用液态模锻则较为合适。因为形状复杂的工件，采用一般模锻方法成形是困难的，如果采用铸造方法，则在产品性能上又达不到要求。而采用液态模锻方法，则可以顺利成形，同时又能保证产品性能的一定要求。

(3) 在工件壁厚方面，一般来讲，液态模锻产品不能太薄，否则在结晶和成形方面均会带来一些问题。如某些有色金属的电器工件，当壁厚在5毫米以下，采用液态模锻成型，则组织不均。反之，如果用压铸方法来生产薄壁件则较为有利。但由于压铸方法的局限性，它不能生产出合格的厚壁件产品。

三、与其它工艺相比较

液态模锻是介于压力铸造和模锻之间的一种工艺，它的工艺过程包含了压力铸造和模锻的若干特点，因而综合了两种工艺的优点。

液态模锻与压力铸造相比具有如下特点：

(1) 压力铸造时，液体金属在极短的时间内以高速(约15~70米/秒)压入闭合的型腔。在这样高的速度下，型腔内

的空气不可能及时完全排出,因而残留的气体极易进入铸件,形成皮下气泡。壁越厚,气孔也越大越多,且易产生缩孔或裂缝。所以,对于厚壁的工件用压力铸造是不适宜的。同时压铸件不太适宜使用需要经热处理的合金,因为铸件一经热处理,其内部的气体便受热膨胀,产生鼓泡或变形等现象。

液态模锻时,可不必过多地考虑排气条件。因为在这种工艺中,液体金属系直接注入型腔内。由于浇注速度低,而且上模的下降速度缓慢而稳定,气体大部可以从型腔排出。液态金属在高压下结晶,不致因体积收缩而产生缩孔。另外,溶于金属液的少量气体能在很高的单位压力下留存在固体中,不会在工件内形成气孔。对于厚壁件,液态模锻比压铸更显出其优越性;

(2) 压力铸造时,金属是借助浇注系统传递压力,这一压力虽然也较大(一般在 $3 \sim 5$ 公斤/毫米²),但当液态金属被压入型腔后,由于浇道较长,而且浇道里的金属比铸件冷却得快,凝固得早,压力不可能作用在铸件上直到结晶完毕。因此,型腔里的金属在压力不够充分的条件下结晶,得不到补缩地方会形成缩孔,晶粒也较粗大。

液态模锻时,由于没有浇注系统,当上下模闭合后,金属便在充分的压力下结晶成形,因而组织致密均一、晶粒细化;

(3) 压力铸造所需的浇口、浇道及模具结构复杂,加工费用高。浇注系统耗用的金属量相当大。

液态模锻的模具比较简单、紧凑,不需要浇口套、喷嘴、浇注系统等结构。模具的加工费用大大低于压铸模,使用寿命也较长。因无浇冒口系统,金属利用率也较高;

(4) 压力铸造时, 金属多从侧面进入型腔, 很难避免正面冲击和产生涡流现象, 这就会影响尖棱铸件或夹芯铸件的质量。

液态模锻因为没有浇道, 也就没有产生涡流的条件, 金属液按工件整个截面向上移动, 平行于模底而无正面冲击问题;

(5) 压力铸造需要专门的压铸机, 而液态模锻既可用专用设备, 也可用普通的压力机。这对于推广应用液态模锻工艺是一个有利的因素。

液态模锻与模锻相比具有如下的特点:

(1) 液态模锻工件的强度指标可以接近或达到锻件的水平, 原因是金属液在充足的压力下凝固结晶, 其组织很致密, 工件在纵向和横向所具有的性能, 比模锻的毛坯要均一;

(2) 由于液态模锻是在封闭的模具内成形, 使液态金属充满型腔要比固态的金属变形容易得多, 故成形所需能量低, 所需的设备吨位只相当于模锻的 $1/5 \sim 1/8$;

(3) 液态模锻可以一次成形, 不像模锻那样多型腔, 因而能提高劳动生产率, 且又减轻劳动强度。此外, 液态模锻还可节约模具钢及其加工费用;

(4) 液态模锻工件外形准确, 表面光洁度高, 有时可以不必再机加工, 而模锻件要达到这样的精度是相当困难的。

但模锻件的室温塑性指标比液态模锻件要好, 所以一些在动载荷下运动的部件以模锻件为好。

液态模锻工艺发展历史虽久, 但在很长的时间里, 却不被人们所充分认识。最近一个时期以来, 这一工艺正在机械、舰船、航空、光学仪器 and 兵器工业各个领域迅速扩大应用。

随着工农业生产的飞速发展,已出现和将出现新的金属学理论、即高压金属学以及新型的专用设备。同时将积极研制液态金属定量浇注装置、联动机构和自动控制装置等辅助设施,以便更好地保证工件质量和提高生产率。

§ 2 液态模锻理论基础

目前有关液态模锻理论研究得还不多,资料较少。现仅就加压力所带来的一些基本问题加以讨论:

一、铸造缺陷

如图 5 所示,通常的重力铸造和液态模锻时的凝固方式有很大差异。重力铸造时从与模具接近的表面开始凝固,上部最后凝固。为了少产生铸造缺陷,必须有充分大的冒口。

但是,加压力下的凝固情况就不同了。这时熔液的四周与模具接触,因而从四周进行凝固,最后凝固部分是铸锭中心。为了使最后凝固部分不集中产生铸造缺陷,需要施加充分的压力。图中 t_3'' 、 t_2'' 、 t_1'' 表示不同的温度区。

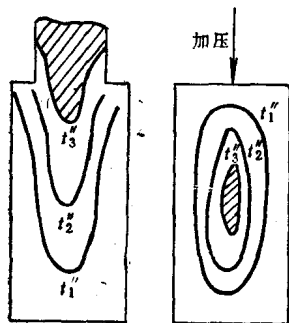


图 5 液态模锻和铸造不同的凝固方式 (斜线部分代表最后凝固的液体) ($t_3'' > t_2'' > t_1''$)

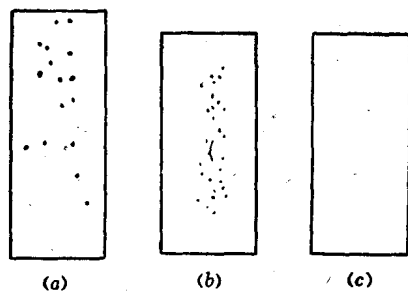


图 6 Al-7%Si 的显微疏松度
a—不加压; b—加压 1.25 公斤/毫米²;
c—加压 5 公斤/毫米²。

如果加压不足时比不加压的缺陷还要大。图 6 示出加压力与内部缺陷的关系。无压力的铸件，在上面部分看来没有很大的缺陷，但在整个铸件上可看到缩孔。加压 1.25公斤/毫米^2 的铸件显出加压不足的例子，缺陷集中在中央部分。

但是，加压 5公斤/毫米^2 的工件，由于加压压力充分，缩孔等缺陷完全消除。

二、凝固组织

通常情况下，为使 Al-Si 共晶组织晶粒细化，要进行钠变质处理或磷处理。所谓钠处理或磷处理，即熔炼后期向熔液内放置钠化合物或磷化物。当加入这些变质剂后，可使 Si 的析出温度及共晶点下降。较低温度结晶的 Si，其产物是细密的。但是加压下凝固时，即使不进行钠处理或磷处理，初晶硅和共晶硅也可显示出细致的组织。图 7 示出 Al-15%Si 合金通过加压得到细微化组织的例子。

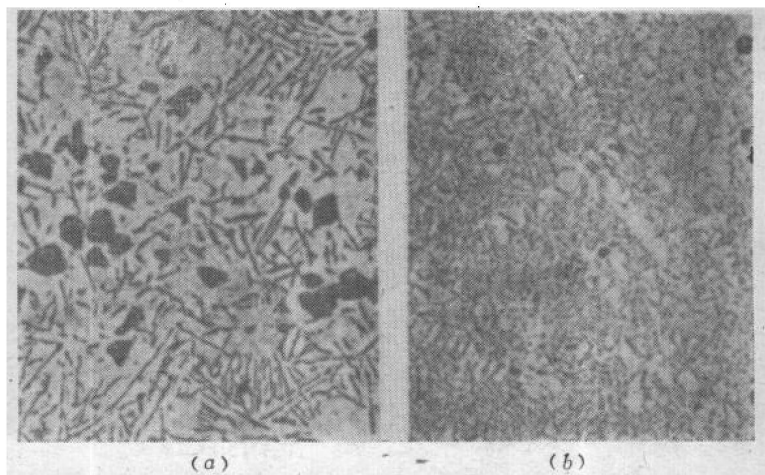


图 7 过共晶 Al-15%Si 合金的显微组织 (磷处理), $\times 200$
a — 无加压; b — 加压压力 10公斤/毫米^2 。

因此，可以认为，组织细微化是由于经过加压、模具与工件的接触状态良好、工件的冷却速度快、经过加压熔点上升引起过冷等原因所造成的。

三、偏析

由于液态模锻件是在压力下结晶，故在一般情况下，减少了化学成分偏析。其化学成分的偏析度只有普通铸造的 $1/2 \sim 1/3$ 。

但对某些有色合金来讲，情况就不同了，即出现在压力作用下，却会有低熔点金属在铸件中心聚集的异常偏析。

而 Al-4% Cu 合金和 Al-2~5% Si 合金中，最后凝固的铸锭中心部分的共晶产生集中的异常偏析。接近共晶组织的 Al-Si 系合金或 Al-5~10% Mg 系合金这种倾向没有那样显

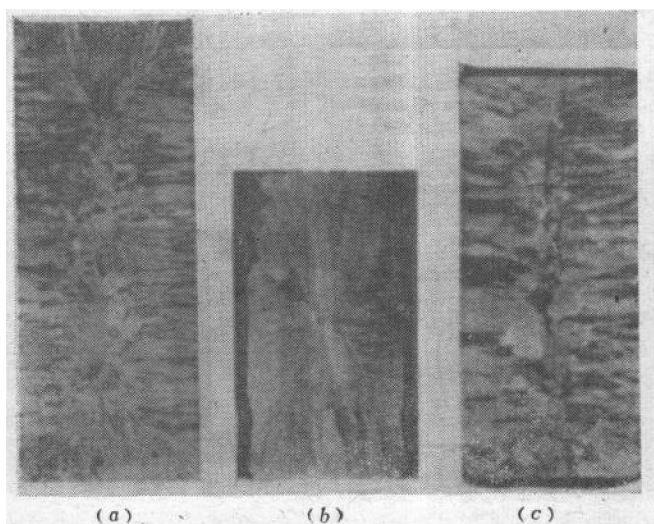


图8 加压情况下(10公斤/毫米²)的Al-4%Cu合金异常偏析的宏观组织
a—不绝热； b—侧壁绝热； c—上下绝热。

著。而在 Cu-Sn 合金中铸锭中心部位却有同样的偏析。至于为什么有这种不同现象，目前尚未得到充分解释。

图 8 示出 Al-4% Cu 合金的偏析发生状况：(a) 图是通常的加压成形（不绝热）；(b) 图是侧壁用石棉隔热；(c) 图是上下用石棉隔热。因为绝热条件的不同，故有不同的偏析情况发生。

在直接液态模锻时，如果推迟加压开始时间，也就是金属液凝固一段时间后再加压，则未凝固的共晶成分其中有偏析发生。如果适当地提早加压开始时间，就会减少上述现象。

四、相平衡

关于高压下的相平衡问题，到目前为止，测定从液相开始的凝固过程的精确状态图还没有制成。图 9～图 10 是通过超高压研究工作所得到的状态图。

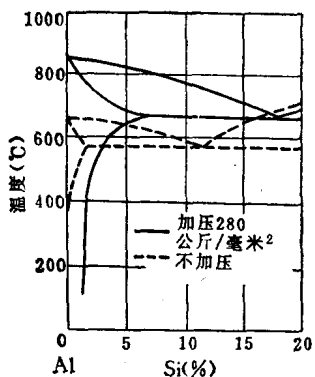


图 9 加压压力为 280 公斤/毫米² 时 Al-Si 合金的状态图

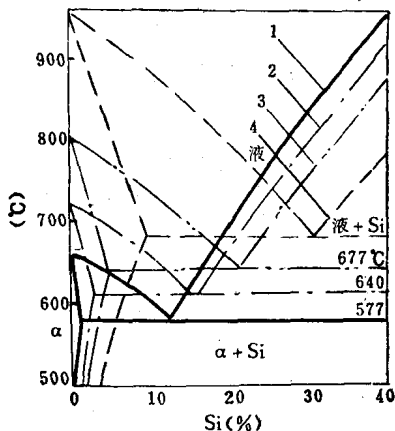


图 10 不同压力作用下 Al-Si 系合金状态图
1—0.01 公斤/毫米²；2—100 公斤/毫米²；
3—250 公斤/毫米²；4—500 公斤/毫米²。