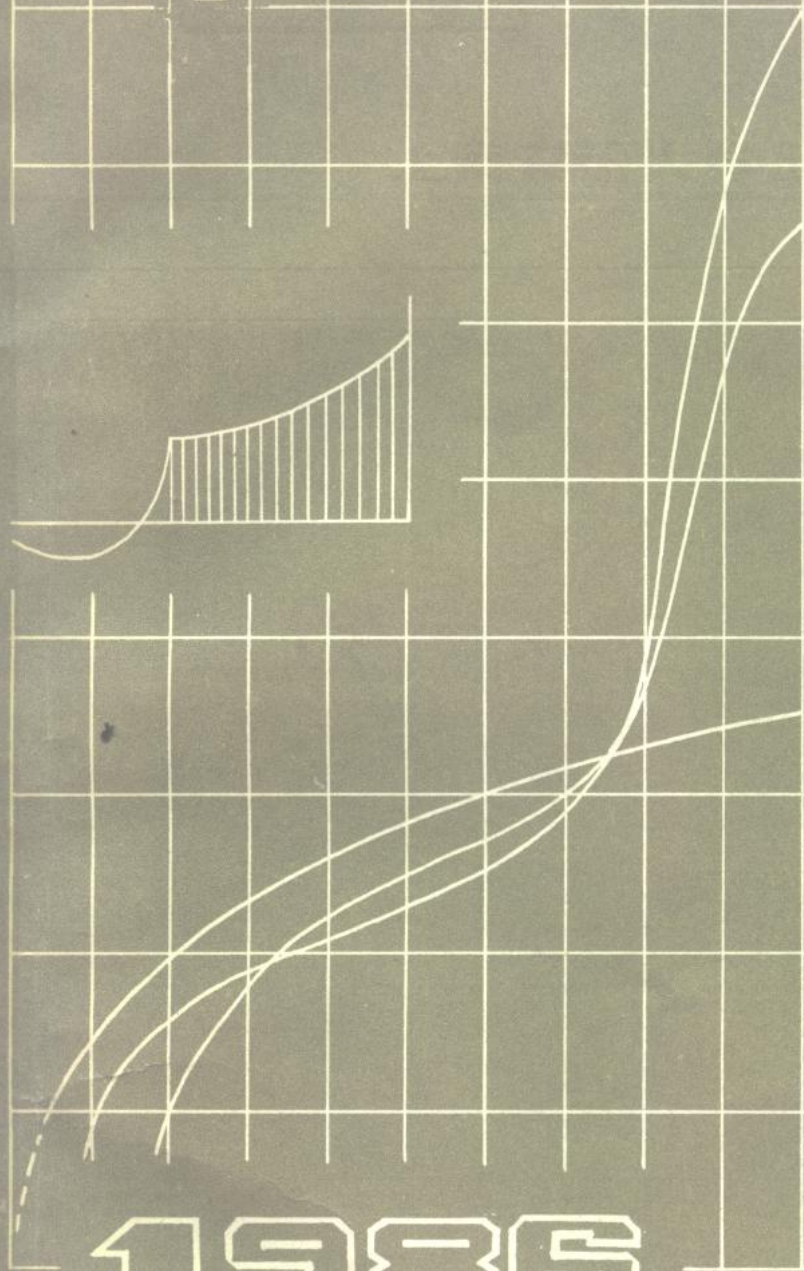


· 1 ·



M
U

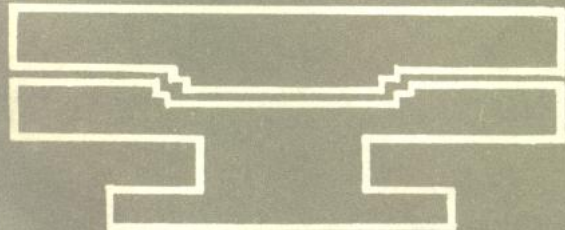
J
U

J
I

S
H
U

模具技术

1986



上海交通大学出版社

主 编：阮雪榆

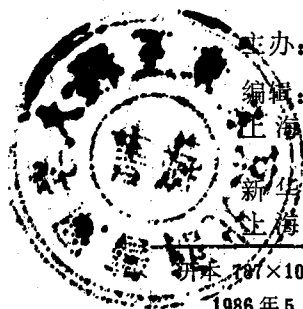
责任编辑：周水涛

封面设计：宗翼敏

2037/27
22

模 具 技 术

(1986 年 第 1 辑)



主办：上海模具技术研究所
上海交通大学出版社
编辑：《模具技术》编辑部
上海交通大学出版社出版
(淮海中路1084弄19号)
新华书店上海发行所发行
上海交通大学印刷厂印装

开本：787×1092 毫米 1/16 印张：8 字数 200000

1986 年 5 月第 1 版 1986 年 5 月第 1 次印刷

印数：1—3300 册

上海市期刊登记证第 430 号 定价：1.50 元

目 录

17 11^a
1986年 第1期

建立科研、教学、生产联合实体的探索	上海模具技术研究所 (1)
交流·促进·展望——第一届“中—日塑性加工学术座谈会冷锻学术专题讨论会”	
述评	夏 普 (5)

专 题 研 究

塑性成形过程中的金属流动模拟——UBET 应用研究之四	关廷栋、孙 胜 (10)
板料的合理下料和毛坯的最小面积包容矩形	胡亚民、范钦云、裘敏慧 (18)
薄刃口组合圆形凹模强度公式的探讨与试用	卢险峰、游 庆 (27)
反挤压和反挤压力计算的探讨	殷岱岳 (38)

工 艺 设 计

贝氏体钢板连续冲裁模的设计与制造	王海才、王建平、刘洪泉 (46)
黄铜接插件外壳挤压工艺	郑立人、李绍林 (51)
模具的硬质化合物涂覆技术	燕战秋 (57)
数控线切割中对称图形的编程和定位	吴 澎 (67)
注射成形模具冷却系统的设计	郑树勋 (71)
导滑管结构斜齿轮注塑模	周平定、章夕珍、廖金堆、张清辉、张 华 (81)
八角形壳体一次拉伸成形工艺	胡海龙 (84)
宽凸缘件拉伸的变通方法	张元惠、郑祥瑞 (88)

国 际 交 流

用“二次弯曲工艺”减小U形件的回弹	[美] C. 利乌 (91)
如何强化小孔冲头	[美] 费德里克·斯特拉瑟 (98)
模具的表面处理(2)	[日] 内藤博夫、平原民雄、高野 正 (101)
温锻实践	[英] T. A. 迪安 (106)
板料精冲技术条件的确定	[苏] I. O. 阿历克赛耶夫 (113)
轴对称金属板零件的旋压成形图	[英] R. B. 诺伊斯 (117)
读者来信选编	本刊编辑部 (123)
征稿简则	本刊编辑部 (125)

建立科研、教学、生产联合实体的探索

上海模具技术研究所

中共中央“关于科学技术体制改革的决定”明确指出，我们应当按照经济建设必须依靠科学技术，科学技术工作必须面向经济建设的战略方针，“促进研究机构、设计机构、高等学校、企业之间的协作和联合，并使各方面的科学技术形成合理的纵深配置”，“对国家主关项目实行计划管理的同时，运用经济核算和市场调节，使科学技术机构具有自我发展的能力和自动为经济建设服务的活力”。上海模具技术研究所的建立和发展，是符合上述精神的一次探索。

1982年初，上海市科学技术委员会委托上海交通大学阮雪榆教授组织上海市有关单位制订上海市模具工业第六个五年计划的技术攻关规划。上海市科学技术委员会与上海市经济委员会提出，第六个五年计划期间的模具技术攻关，不仅要出成果、要出人材，更要形成一个研究基地。这一决策对于改革上海市及至国内模具技术的落后面貌是十分必要的。集中人力和资金，建立一个高起点的，有引进、消化、发展国外先进技术能力的模具技术研究基地，在当时已是势在必行。

上海市手工业局有620家企业、26万名职工，专业生产家用电器、日用五金、塑料制品、玩具等各类产品，1985年年产值为64亿元。1980年，该局出口产品产值居全市第二位。手工业局经济实力雄厚，但技术力量十分薄弱，有技术职称的人员仅占职工总人数的3%，其中模具技术人员更少，仅占职工总人数的0.6%。近年来，由于模具跟不上产品的更新换代，迫切 need 加强模具技术的智力开发工作。上海交通大学是一所科研、教学力量较强的综合性理工科大学，有开展多学科协作研究的优越条件，但缺少面向工业生产的课题来源，更没有足够的经费开展科研。仅仅依靠上海交通大学或上海市手工业局来单独承担建立模具科研基地的任务都是不可能的，但如果把这两个单位的力量联合起来，就可以扬长避短，形成很大的优势。

这个设想一经提出，立即得到手工业局、上海交通大学和上海市科委、经委及市委教育卫生办公室、上海市编制委员会的重视和支持。1983年4月，经上海市科委、经委和教卫办公室批准，成立了由上海市手工业局和上海交通大学合办的上海模具技术研究所。上海模具技术研究所打破了部门所有制，既属于手工业局，也属于交通大学，同时接受上海市科委和经委的领导。这一科研机构为事业单位，实行企业管理。研究所实行董事会领导下的所长负责制。董事会由手工业局和交通大学双方组织推荐的九名董事组成。



二、

根据工业生产发展的实际需要,研究所决定以模具技术及其相关技术的研究为主,把工作的重点放在有直接经济效益的研究课题上,讲究实效,使成果尽快转化为生产力。为此,研究所将三分之二以上的力量投入了有直接经济效益的课题,两年半以来,已完成 23 项取得了较大经济效益的项目。例如,研究所承接的上海餐具厂“F001 餐刀锻模热处理及辊锻技术研究”的课题,不仅使模具寿命由原来的 1 千次提高到 2.7 万次,每年还可以节约 70 吨不锈钢。又如,为上海绘图仪器厂研制成功的摆座精密模锻工艺,可以使材料利用率提高一倍以上,加工时间缩短四分之三,零件造价降低一半以上,从而增强了产品在国际市场上的竞争能力。研究所为上海飞乐电声总厂研制成功的“导磁体磁极芯一次锻挤成形复合工艺”,材料利用率由旧工艺的 66% 提高到 95% 以上,加工工序由原来的 11 道缩短为 4 道,产品的电声性能大有提高。仅以该厂一家企业计算,每年即可创造经济效益 100 万元以上。“轴承套圈温热挤压成形”不仅可以节约大量轴承钢,还可以减少三分之二的能源消耗。上海轴承锻造厂采用了该成果,每年可节约 80 万~100 万元。“锌基合金快速制模技术”具有制模周期短、成品率高、成本低等特点,十分适合于小批量生产或新产品的模具制造,此项成果在上海明光灯具厂、上海电影机械厂、上海玩具二厂等单位应用后已取得明显的经济效益。研究所与上海打火机厂合作研制的“冲床紧急制动安全装置”经轻工业部组织鉴定,在制动时间上达到了国际先进水平,仅在一次展览会上就有 247 家用户订购。

三、

研究所充分发挥了“联合体”的优势,在上海市手工业局、上海市科委、经委、计委的支持下,积极筹集资金,一方面通过上级的拨款、贷款和银行信贷,另一方面也通过科研合同和结合科研进行生产以及经营开发的横向收入,先后共筹集各类资金近 700 万元,向国内、国外购置并订购了先进的科研设备,使研究所在物质上初步具备了高起点的良好条件。

四、

上海模具技术研究所现有专职工作人员共 145 名,其中,中、高级科技人员 54 名,包括 2 名教授,8 名副教授。所内分设模具计算机辅助设计与辅助制造(CAD/CAM)、冲模技术、塑料模技术、锻模技术、电加工技术、模具材料及热处理、模具强度及测试技术等 8 个研究室,还设置了经营开发部、实验中心、教学办公室等部门。研究所现已拥有包括美国 APPLICON 公司的 CAD/CAM 系统、日本 SODICK 公司的计算机数控(CNC)电加工机床、CNC 电脑数控四座标铣床在内的各类精密机械设备、仪器 250 台。建所以来,共承接各类课题 87 项,已鉴定和完成了 23 项,其中 9 项获得了上级领导部门的嘉奖;在此期间,研究所共发表论文 56 篇,其中 5 篇在国际学术会议上发表、宣读。为了及时反映国内外的最新进展和成果,研究所还负责主编了《模具技术》丛刊(由上海交通大学出版社编辑出版),这份刊物已被公认为国内模具技术界水平最高的期刊之一,发行量达 1 万份。最近,又另外创

办了《国际模具信息》，专门译介国外模具技术。

五、

上海交通大学的压力加工专业，从1953年成立到1982年建所的三十年间，只有固定资产60万元，实验设备陈旧落后，不能承担现代化的教学的任务。研究所建立后，为提高教学质量提供良好的基础。压力加工专业现在是国务院学位委员会批准有博士学位授予权的单位，目前在学的本科生155名，硕士研究生29名，博士研究生3名，此外，每年还为上海市手工业局培养40名模具专业的大专生。现在，本专业的每个学生都有充分的机会运用计算机，1985年毕业的30名本科生每人平均上机机时累计已达150小时以上，学生的实际工作能力有了显著提高。学生的研究课题面向生产实践，综合性强，有利于加强多学科的渗透交流，同时也促进了研究所人员知识的更新、扩大与深化，为更有效地出成果、出人材创造了条件。

国际知名的压力加工学者、美国LEHIGH大学B. AVITZUR教授在同在校的研究生进行了讨论后说：“你们研究生提出讨论的问题都是十分重要的、深刻的，给我留下了深刻的印象。”当他看到了两份研究生的硕士学位论文时，希望能立即得到论文的英文本。事后，他又来信提出要与模具研究所建立合作研究的关系。

一个有生命力的研究所，要着眼于当前的经济建设，同时还应当以足够的力量进行应用技术的研究和理论的研究，为日后的腾飞作好技术储备，为今后的发展打下扎实的基础。为了适应新技术革命的发展形势，研究所组织了“模具的计算机辅助设计与计算机辅助制造(CAD/CAM)”这一重点课题的研究，投入了31名专职人员、10名研究生以及100万美元的资金，并已取得了阶段性的成果。其中，通用交互式微机CAD系统的二维软件已经投放技术市场。此外，还对复合挤压的极限分析、塑性变形的刚塑性有限元分析、挤压模模具结构参数的优化与强度、声发射技术在塑性成形技术中的应用、塑性加工摩擦学、用于测定挤压模模壁受力的压电晶体传感器的应用技术、温热挤压变形体的模拟技术等进行了实验研究与理论分析。

六、

建所初期，除了手工业局委派参加筹建工作的干部外，主要人员是上海交通大学压力加工教研室的教师，虽然有一定的科研、教学力量，但专业学科单一，年龄趋向老化，许多富有经验的中、老年教师缺少助手，需要各学科合作的项目难以开展，因此迫切需要聚集一批新生力量。在各个单位的大力支持下，前后已有八十余人调入研究所工作，此外，也经交通大学以及其他大学保留和调配了一些各专业本科和研究生部的优秀毕业生，从而汇集了机械制造、压力加工、铸造、热处理、计算机科学、自动控制、激光、数学、力学、热学、精密测量等14个学科的一大批专业人材，全所145人目前的平均年龄为33.6岁，其中既有经验丰富的工程师、技师，也有擅长学术理论研究的教授、讲师，既有高级模具技工，也有从事精密测量的技术人员。由于科研人员和技术工人比例合理，素质良好，整个集体能较好地协调和互相配合，研究所的科研和生产很有生气，呈现了百舸争流的局面。

七、

上海模具技术研究所成立以后，按照“对外开放”的方针，积极开展国际交流，先后派出10人对美国、瑞士、意大利、日本、法国5个国家的五十余个模具工厂以及与模具技术有关的工厂进行了实地考察，访问了这些国家的9个研究所、12所大学，还派出了优秀的科研人员前往联邦德国、日本和美国的一些大学和公司进修。模具所的科研人员近年来五次参加国际学术会议宣读论文。今年九月所长阮雪榆教授作为中国模具工业代表团团长率团赴日本参加国际模具技术学术会议。国外专家、学者来所进行学术交流更是频繁，仅1985年的十个月内，即有10个国家和地区的六十余人先后到模具技术研究所访问，6个国家的专家、学者来所讲学或进行技术交流。

美国著名的MOORE特殊工具公司总裁来研究所参观，并就在上海模具技术研究所建立“MOORE特殊技术研究室”与模具研究所草签了协议。美国APPLICON公司的代表参观了研究所，发表观感说，“你们是中国效率最高的单位”，在洽谈购买该公司的CAD/CAM系统时他主动提出，除模具所所购买的两个计算机终端之外，另外再免费赠送三个终端，并表示愿意向模具研究所赠送塑料模设计软件等多种软件包。日本SODICK公司总裁在参观模具研究所以后主动将一台10万美元的先进设备免费提供给模具研究所作开发研究之用，目前这一台设备已正式投入使用。此后该公司又向上海模具技术研究所提出了在上海进行经济合作与技术合作的具体建议。为了建立国际信息窗口并开发模具技术模具研究所与香港东懋公司以及康力集团签订了在香港进行经济合作和技术合作的协议。

今年5月和9月，上海模具研究所还先后举办了国际精冲技术讨论会和中、日冷锻学术讨论会。国际工模具协会(ISTA)、美国国家工模具协会(NTMA)、国际冷锻学会(ICFG)、日本模具协会(JDMA)、日本塑性加工学会(JCTP)等组织近年来都同研究所建立了联系。日刊《工业新闻报》在今年9月阮雪榆教授访问日本时作了专题报导。日本东京大学中川威雄教授在访问上海模具技术研究所后回国对日本模具界人士说：“你们到中国，一定要到上海模具技术研究所去看看”。

由于广泛的对外交往，过去闭塞的状况得到了改变，同时也及时地掌握了国外模具工业发展的动态，为建立合作关系创造了条件，为模具技术研究所的进一步发展提供了借鉴。

以上所述，是对上海模具技术研究所建所至今这一发展过程所作的回顾，这一过程是探索的过程，有成功的经验，也有并不尽如人意之处。随着“改革、开放”的进一步开展，肯定还会遇到新的问题，还要进行新的探索。我们相信，只要坚持党的十二届三中全会制订的方针和政策，上海模具技术研究所前程就必定是灿烂的。

交流·促进·展望

——第一届“中—日塑性加工学术 座谈会冷锻学术专题讨论会”述评

夏 普

由中国机械工程学会锻压学会和日本塑性加工学会锻造分科会联合主办的第一届“中—日塑性加工学术座谈会冷锻专题学术讨论会”，于1985年10月23日至24日在上海交通大学隆重举行。

中、日两国锻压学术界这样大规模的接触还是首次，可以说是“少长咸集，群贤毕至”，从两国代表在会议期间宣读的三十一篇论文，便足以显示其阵容之恢宏。这些论文比较真实地反映了两国在这一专业领域的最新进展，纵观这些论文，无疑有助于我们了解两国冷锻学术界的选题动向，对工业界在应用技术开发方向上的选择也不无启发。

这些论文的篇目是：

日本

- 日本冷锻工业的发展.....泽边弘
- 动态冷锻力测定器校正方法的方案.....高桥裕南、丹野显、工藤英明
- TOYO 碳化钛镀层在冷锻中的应用.....平原民雄
- ✓用刚塑性有限元法分析锻造过程.....小坂田宏造
- ✓上限元法在锻造加工模拟技术中的应用.....木内学、唐户彰夫、今井敏博
- ✓冷锻模边界无法应力分析.....落合芳博、和田林良一
- 应用有限元法进行模具材料强度计算的实例.....村松劲、加藤樟三
- 最近的冷锻及温锻的开发实例.....铃木康夫
- 铝合金的冷锻及其关键.....丸茂隆千
- 变形热对反挤压尺寸精度的影响.....户泽康寿、加藤隆、中西广吉
- 日本冷锻用材料的发展动向.....盐崎武
- 冷锻模最佳设计的研究.....赤松宪一、平井恒夫、片山伝生、村上敏英
- 多次成形机快速换模及加工实例.....松井正广
- 冷锻用钢线材的磷化处理流水线.....福田隆、荻田兵治、西村彰二、永江久吉
- 形变热处理在温锻中的应用.....小坂田宏造、关口秀夫、小富耕二
- 考虑了充填率的冷锻模设计在螺母多次成形机中的应用.....
-平井恒夫、片山伝生、野野村泰三、赤松宪一

中国

- 冷锻技术在中国的发展.....阮雪榆、李社钊、俞子晓、吴公明

不同型线凹模挤压过程的变形力和变形状态的实验研究·····	王祖唐、谢水生
冷挤压力与合理的变形程度·····	康达昌
怀一怀型复合挤压变形力和流动的上限解·····	张鸿光、王学文、阮雪榆
轴对称杯型复合挤压时的金属流动方式·····	吴诗淳、朱志文
用云纹法分析杯形件冷态反挤时的变形状态·····	林治平、花江、文涛
用滑移线和特征线法研究轴对称挤压·····	蔡道荣
锥形件冷锻·····	杨长顺
锌合金等温成形工艺参数研究·····	吴公明、俞子骁
变截面厚壁筒形件冷挤压内表面点状空洞疵病的研究·····	戴可德
强力旋压薄壁筒形件的残余应力及其对产品性能的影响·····	李先禄、周吉全、洪奕
新型复合材料冷锻凸模的研究·····	王耀祖、张振纯、李成纲、曾悦坚、赵裕民、张炳范
冷挤压技术向小批生产发展的几个问题·····	吴光邦
正挤实心件挤压余料的计算和选用·····	洪深泽
粉末烧结坯冷锻工艺研究·····	李传瑾、李社钊、金志强、刘锡儒

日本冷锻技术的发展,大约开始于1950年前后。当时,冷锻技术主要用于汽车、纺织机械行业0.1公斤以下小零件的加工,零件材质也限于低碳钢,加工所用的压力机大多在200吨以下。到1955年至1960年期间,日本出现了以冷锻加工为专业的企业,这就为冷锻零件的大批量生产创造了条件。冷锻加工于是乎成为汽车工业中零件自动化生产的有效手段,零件重量增加到0.3公斤,材质扩大到中碳钢及低合金钢,所使用的压力机吨位达400吨。经过十余年的探索,冷锻零件的加工精度到1962年至1965年才得到工业界的承认,从而在更大范围内取代切削加工,结合温锻技术的介入,把多种强韧钢(SCM3、SCM4、SCR3等)和轴承钢纳入了加工对象的行列。六十年代末的几年是日本冷锻技术处于转折点的几年。在此期间,冷锻技术理论方面的研究趋于成熟,体系较为完整的专著被列为高等工科大学相应专业的教材。在应用领域,冷锻技术已经渗透到照相机、高压容器、工程机械、农业机械大型零部件的加工,同时也有了吨位高达800吨至1000吨的压力机。七十年代,日本冷锻技术在兼顾理论深度方面研究的同时,进入了向广度上发展的时期,在模具强度分析、模具设计的系统理论、通过模具材料的研究和表面处理研究两方面的努力来提高模具寿命等方面做了大量工作,电子计算机技术和激光技术在冷锻加工领域大显身手。八十年代的特点是冷锻技术在高精度复杂形状零件加工方面的应用。图1所示为日本近年来冷锻技术的一些应用实例。

中国的冷锻技术起步于1958年,经过十年发展,即到六十年代末、七十年代初,低碳钢和中碳钢的冷锻便在汽车、拖拉机、轻工、机械、仪器仪表及电子元件等行业得到了广泛的应用,铜、铝及铝合金的冷锻技术更趋成熟。在这以后,奥氏体不锈钢、轴承钢等高强度材料的冷锻加工在这一技术领域里崭露头角,用于实施斜齿、斜花键类零件冷锻加工的特种方法更是独树一帜。图2所示为中国近年来冷锻技术应用的部分实例。

相对欧、美而言,日本冷锻技术的起步不能算早(如德国,是在四十年代),中国比日本又更晚了近十年,其间的差距是十分客观的。但是,中国冷锻技术这二十七年来发展势头之猛也同样是十分客观的。在中国,目前应用冷锻技术加工的零件最小为0.23克,最大为

14公斤；加工零件的材质，有色金属有铝及其合金、铜及其合金、银、镍、镁、锌镉合金、可伐合金等，黑色金属除碳钢、合金结构钢、轴承钢之外，还有若干品种的高速钢。

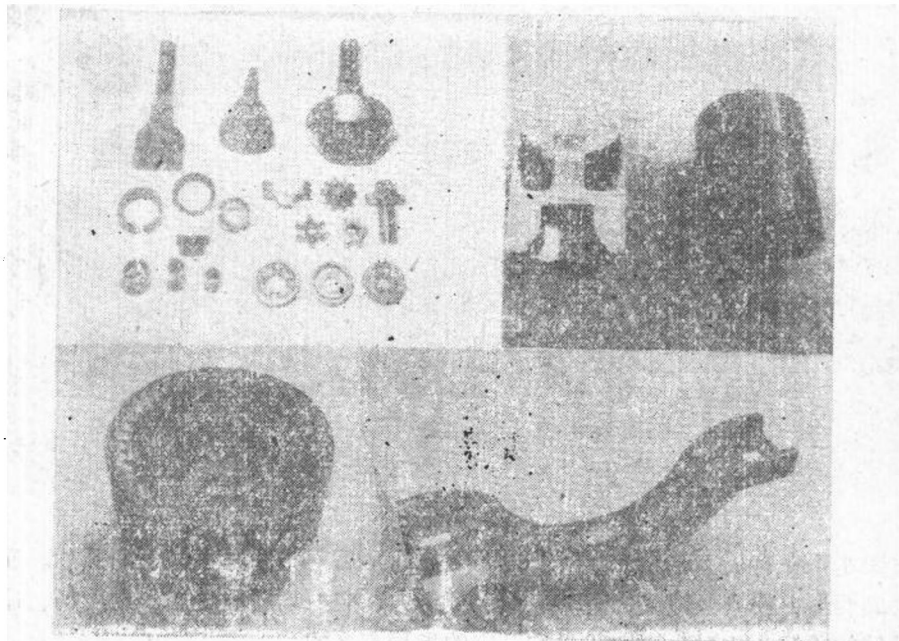


图 1

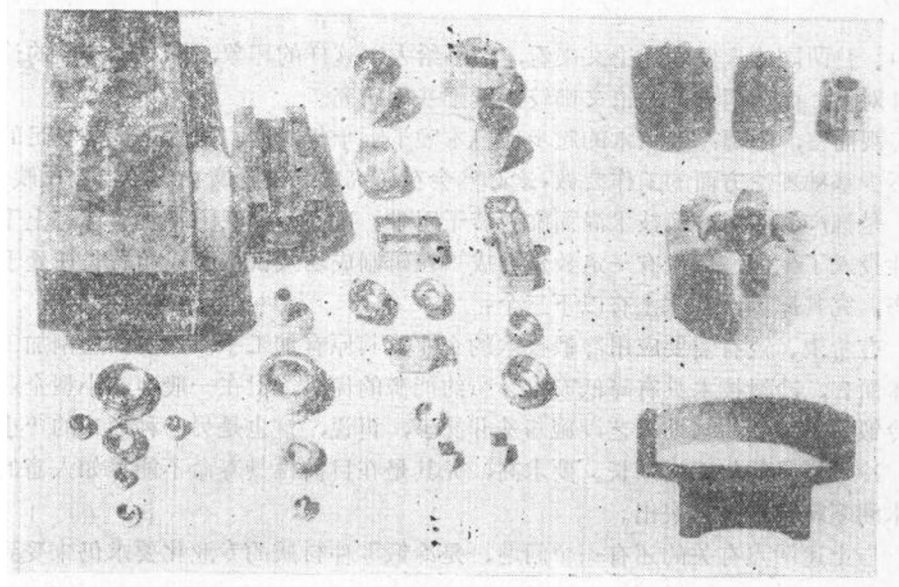


图 2

在冷锻技术理论研究方面，尤其是通过这次讨论会的宣读论文可以看到，差距虽然还存在，但显然已经大为缩短。在清华大学、西安交通大学、哈尔滨工业大学、西北工业大学、山东工业大学、江西工业大学、天津大学、上海交通大学等许多高等院校和不少研究院、所，分别进行了范围广泛而又各具特色的理论研究，其中有上限法、有限元法、边界元法、滑移线场、特征线法等，实验检测手段有压电石英晶体测力、光刻网格法、密栅云纹法、声发射法等，近年来相继取得了不少很有意义的成果。图 3 所示为清华大学王祖唐教授及其博

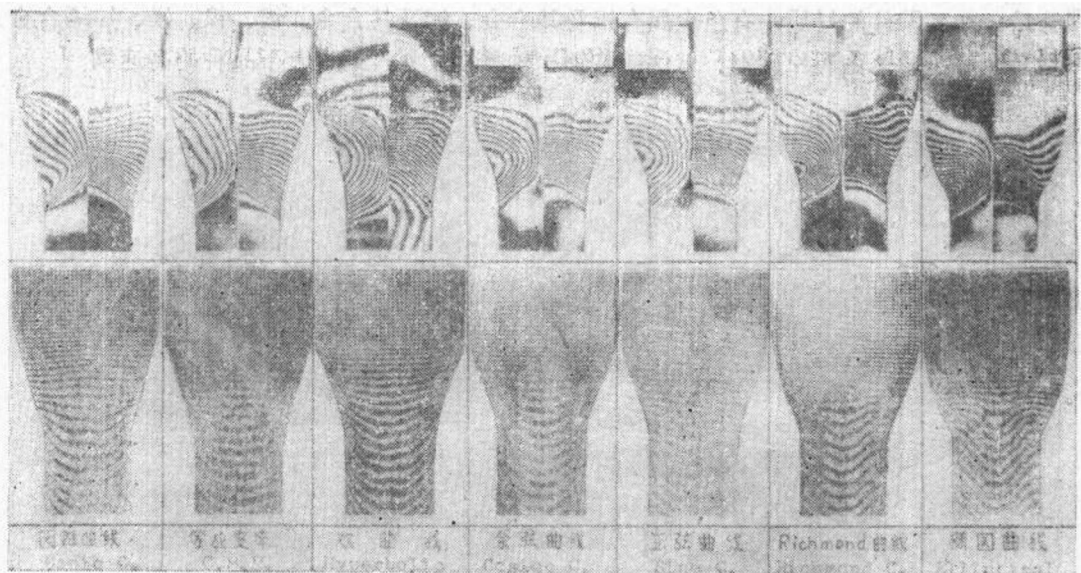


图 3

士研究生谢水生在有关实验研究中所获得的金属变形后网格和密栅云纹的照片。通过这些研究，对金属变形主要典型模式的流动规律、变形力、应力场、应变场、温度场、速度场等有了比较系统的了解，这对生产实践是有一定的指导意义的。

从中、日两国这次发表的论文来看，似乎给人以这样的印象，即日本方面的论文更有实践性、针对性，而中国方面的论文则较侧重于基础研究。

从客观而言，中国冷锻技术的起步比日本晚了近十年时间，虽然进步是长足的，但事实上还有不少基础理论方面的工作要做，这必然会在研究成果的论文内容中得到反映。问题的另一方面，是推广、应用冷锻技术尚面临着若干困难。确实，在我国工业界已有上千个品种的冷锻零件投入了生产，但也有一定数量的成果在研制成功或试生产成功后长期处于“陈列样品”状态。究其原因，基本上有以下三个：

1. 有希望、或有需要应用冷锻技术的企业，其原有加工手段大多以切削加工为主，虽然就整体而言，冷锻技术具有降低成本、节约能源的优势，但在一般中、小型企业，要配备一整套冷锻加工所需的辅助工艺设施却殊非易事，再说，这也是另一种形式的“小而全”。

2. 冷锻模具的加工周期长、要求高，尤其是在目前模具寿命不能尽如人意的情况下，模具成本问题就显得更为突出。

3. 与上述两点有关的还有一个问题，是冷锻零件材质的专业化要求仍未受到必要的重视。

以上三个原因看来都与冷锻零件加工的专业化有关，有了专业化的冷锻加工，冷锻的辅助工艺设施利用率就能大幅度提高，模具的使用寿命、加工周期、利用率也有可能得到根本解决，无疑，冷锻的经济效益就会相应获得改观。同样道理，冷锻零件材质的专业化要求也可望得到满足。对照日本冷锻技术发展的历程，日本在冷锻技术起步的头十年里就出现了专业化的冷锻加工企业，这可以说是至关重要的一步。中国航空精密机械研究所吴光邦的论文已开始就这一问题从小批量生产的角度作了研究。

日本从七十年代初开始以较大的力量解决模具的寿命问题，十余年来势头未见减弱，大致是从三个方面来进行的：(1) 为提供更为有效的工艺设计和模具设计参数体系进行了较为详尽的理论研究和实验；(2) 开发了品种繁多、性能优越的模具钢种；(3) 以更多的精力研制了一系列模具强化工艺，特别是各种新颖的表面处理技术尤为令人瞩目。在上述工作的基础上，日本冷锻技术在七十年代的第二个五年里推进到与其他加工手段如切削、热锻、焊接、钣金等复合进行的阶段，以最大限度地扬长避短，提高效益。

上文中提到，日本在六十年代已将 800 吨至 1000 吨的压力机用于冷锻加工。到八十年代，开始大力开发数控压力机等自动设备，这次讨论会上介绍的快速换模多工位压力机便是一例（图 4）。

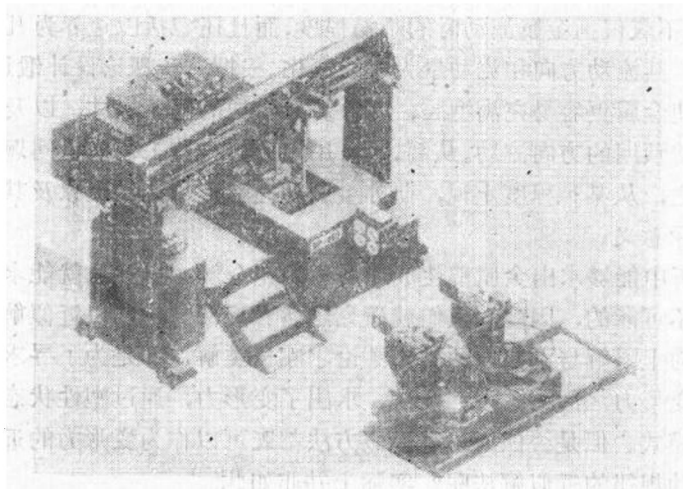


图 4

这次学术讨论会是中、日两国冷锻技术的一次盛大检阅，为两国学者和专家进行交流、切磋提供了一个十分宝贵的机会。日本冷锻技术的 CAD/CAM/CAE 已先行了一步，中国的同行也大有迎头赶上之势。日本的一些学者在家里配备了微机作辅助研究，而上海模具技术研究所最近则引进了先进的大型电子计算机投入研究。日本出席这次讨论会的代表中有三十几岁的教授，而中国代表中也不乏三四十岁的博士。可以展望，在八十年代的第二个五年里，在下一届讨论会上，中、日两国学术界都将会以更新的面貌推出一大批更新的成果。

塑性成形过程中的金属流动模拟

—UBET 应用研究之四

山东工业大学 关廷栋 孙 胜

在金属塑性成形工艺中,掌握金属流动的规律,对工艺设计与实践都具有十分重要的意义。所谓流动规律,不仅仅指金属流动时的难易程度,而且还包括以边界为几何约束的金属整体随着变形的进行,其流动方向和流动量大小的变化。根据这一理论设计锻造工艺中预、终锻模腔的形状,可以使金属更容易充满型腔,并计算最合理的毛坯尺寸,以及选择最适宜的模具参数,使材料向着预期的方向流动。从而,也可用以分析一些工艺质量问题,如充不满、塌角、折叠等等。总之,从某种程度上说,研究金属塑性变形的流动现象及其规律,比研究变形力的大小更有实际意义。

如果在理论分析中能够求出金属塑性成形问题的完全解,自然也就能求出金属流动规律。但求完全解是不可能的,因此,人们就研究出各种近似方法,以近似解来代替完全解。近似解可概括地分为上限解与下限解两类。不论求哪一类解,都是为了寻求建立真实变形力与理论计算的近似变形力之间的关系。当然,求出了变形力,通过塑性状态的本构关系也可能得到金属流动的模式。但是否任何一种近似方法都既可以作为变形力的近似解法,同时又可作为金属变形流动规律的近似解法呢?实际上并非如此。

用近似法求解变形力,几乎都是以变形过程中变形力最大的瞬时作为研究对象,如对模锻过程,则研究终锻时的变形力,对挤压过程,则研究稳定流动时的变形力等等。这样处理对于研究金属塑性成形过程所需要的变形力来说是正确的,因为只有考虑最大变形力,才能为设备选择、模具强度设计等等提供最安全的数据。但对金属流动的研究,更有意义的往往不是某一瞬时的流动模式,而是从开始变形到变形结束作为整个过程的流动模式,或者说是某一瞬时流动模式与上一瞬时以及下一瞬时流动模式关系。如果将整个变形过程分为若干个“瞬间”,则可以分别计算出各个瞬间的变形力,联系起来则能得到变形力与时间(实际上也就是与压下量)的变化规律。但是,如何将各个瞬间的模式联系起来,却是十分困难的。

滑移线法、切块法、上限法以及有限元法都是塑性加工力学分析中常用的几种理论近似方法,但如用于分析上述所要求的金属流动规律,则有的过于复杂,有的过于依赖于研究者的经验,有的甚至根本无法进行流动规律分析。上限元法,即 UBET 法,不但适用于分析变形力,而且可以预测金属流动的规律,模拟整个金属变形过程。其最重要的优点是方法简单、易于运用,这是其它方法无法与之相比的。

UBET方法,即是从变形体的初始瞬时(或某一瞬时)的边界交点引一组与坐标轴平行的直线,将变形体分成若干规范单元,然后计算出变形边界的移动速度,这样便可得到下一瞬时变形体的外形几何形状,再从新形状的边界交点出发,引新的正交线,将变形体再次划分,再计算新边界的移动速度,依次类推,就能描绘出一个连续变形的过程。如图1所示,

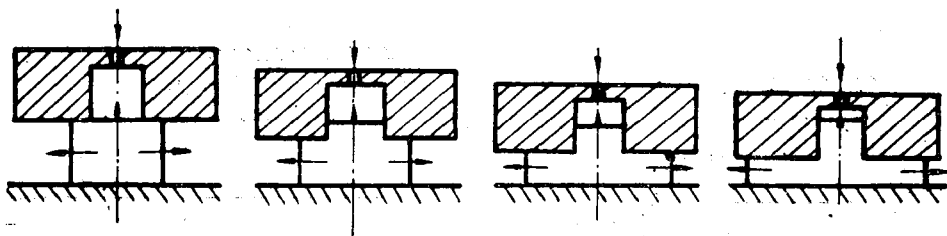


图 1

系金属挤压过程的几个瞬时的变形过程示意图。

采用 UBET 方法模拟金属流动问题有两个要点：

1. 在计算某一瞬间变形体边界流动速度时，要以该瞬间所需变形的总上限功率最小为依据，如图 2 所示。

$\dot{w}_1$ 和 $\dot{u}$ 为变形体的边界速度。 $\dot{w}_1$ 为已知，而 $\dot{u}$ 为未知，一旦确定 $\dot{w}_2$ 的大小，则也就确定了 $\dot{u}$ 的数值。因此，变形体边界速度 $\dot{u}$ 究竟应取何值，也就意味着变形体内的单元边界速度 $\dot{w}_2$ 应取何值。这一值必须通过对这一瞬时整个金属变形中总上限功率的优化来求得。再如，图 3 中 $\dot{w}_1$ 、 $\dot{w}_2$ 、 $\dot{u}$ 都是变形体边界速度， $\dot{w}_1$ 为已知， $\dot{w}_2$ 、 $\dot{u}$ 为未知。金属变形时，

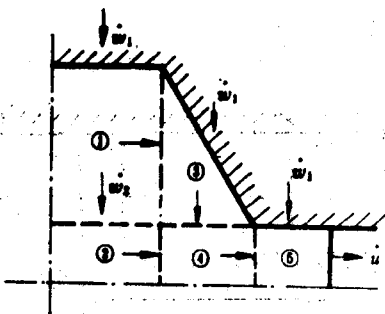


图 2

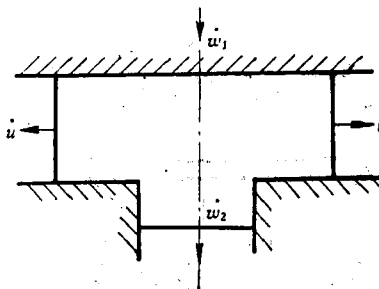


图 3

边界有两个可能的自由流动方向，究竟应当向哪一方向流动、流动速度的大小又是多少，这个问题也必须通过对这一瞬间全体金属变形的总上限功率优化来解决。

2. 用 UBET 描述金属流动时要着眼于变形体边界的流动速度，而不在于变形体内部的速度场。换言之，如果用实验来验证理论分析结果，则在实验时一般并不必用直观塑性法或坐标网格法来观察网格的变化是否与理论相符，而只须测定变形体某几处的边界流速或位移量，验证其是否与理论分析结果一致。因此，不论在实验测定或理论分析上，都必须采取一定的近似处理。

如图 4 所示，材料在模腔内流动时，自由边界 23、34 分属于不同的单元。用 UBET 进行理论分析时，必须假定 23 与 34 以同一速度流动，以保持变形体边界形状的连续、平滑。（至少在目前研究阶段上，应采取这样的简化）。又如图 5 中，在变形的某一瞬时，毛坯边界 ab 以 $\dot{w}_1$ 向上移动，因模具边界的约束，故下一位置成为 a_2b_2 ，而不能成为 a_1b_1 ，并且 aa_1b_1b 的面积必须等于 aa_2b_2b 的面积。

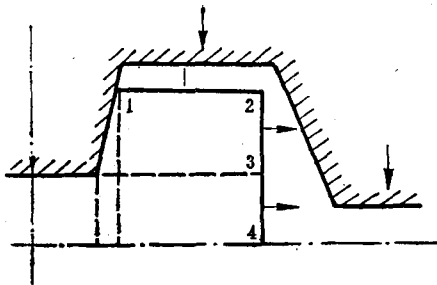


图 4

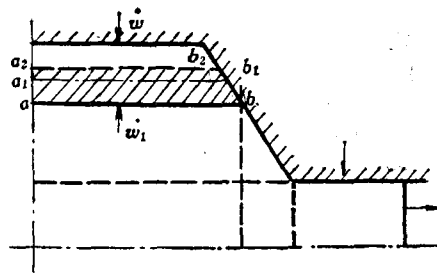


图 5

再如图 6 所示, A 面和 B 面是金属边界流动面, 可以预料, 由于材料本身性质的不均匀性、摩擦的影响等原因, 使同一边界上各个点流动的速度因而也不一致。但在做实验时, 应取同一边界各点速度的平均值来代替该边界的实测值, 并以此值与 UBET 的理论分析值相比较。

除了上述两个要点外, 在用 UBET 分析金属流动规律时, 一般还采用以下做法:

1. 在许多金属塑性成形工艺中, 坯料变形的任一瞬时, 都存在一个竖直方向的变形分流层(面)。如图 7 中圆环镦粗时的 D_0 , 变形体的边界有两个相反的流动方向, 因而在变形体中必然存在静止不动的一层金属。分流层的位置必须通过总上限功率的优化来确定。但在用 UBET 进行分析时, 通常采用竖直方向的变形分流层。

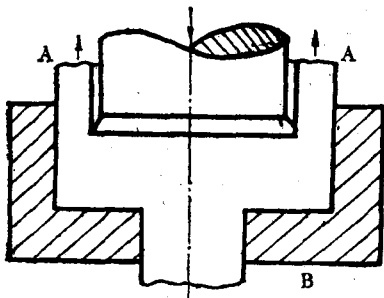


图 6

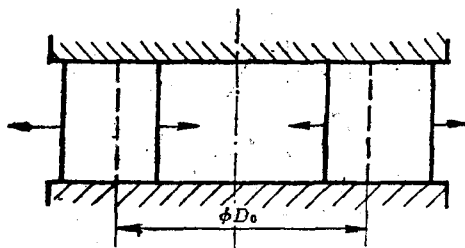


图 7

2. 对于与水平中线对称的零件, 在变形的任一瞬时, 则以变形体的高度之半作为水平方向的变形中性层, 从而可以将金属受力变形的单方向作用转变为双方向作用。如图 8 中 oo 为变形体高度方向的中线, 在正常情况下, 如果上模以 $\dot{w}$ 下压, 下模静止不动, 则可以认为 oo 这一层下移的速度为 $\dot{w}/2$ 。按相对运动原理, 如果是 oo 静止不动, 则上、下模便要同时以 $\dot{w}/2$ 的速度向着 oo 移动。这样分析, 完全是为了提供一个“对称”的条件, 而对理论分析的结果并无影响。

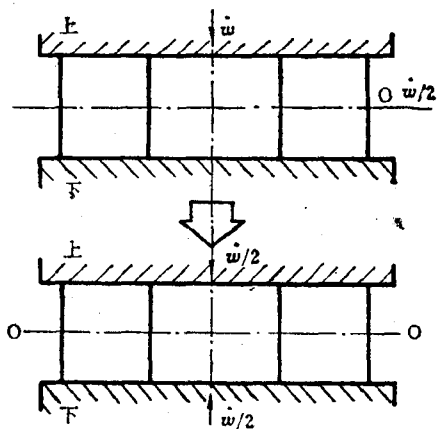


图 8

为了对 UBET 在金属流动模拟的应用上能有概括的了解, 现就复合挤压、敏挤、模锻三种塑性成形工艺的流动特点作一阐述。

1. 复合挤压

共划分为六个单元(图9), ϕD_0 为分流层直径。选取一系列不同的正、反挤断面收缩率的比值, 研究其对稳定阶段的 $\dot{v}_b/\dot{w}$ (或 $\dot{v}_f/\dot{w}$) 的影响, 它表示主要变形过程属于何种形式的挤压。或者可以针对一种正、反挤压断面收缩率的比值, 研究整个挤压过程中 $\dot{v}_b/\dot{w}$ (或 $\dot{v}_f/\dot{w}$) 的变化。当然, 改变模具设计参数(如凸模圆角、凹模底角等), 也可以分析和观察其对变形流动规律($\dot{v}_b/\dot{w}$, 或 $\dot{v}_f/\dot{w}$) 的影响。

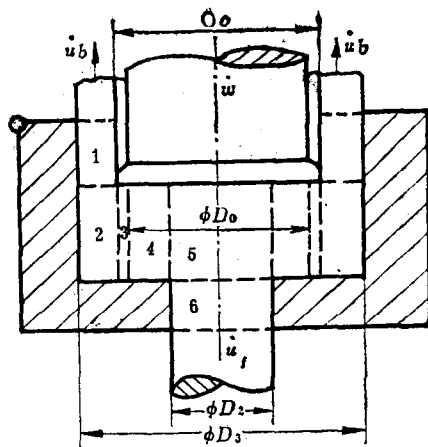


图 9

2. 敏挤

划分了四个单元(图10), 取毛坯尺寸为 $\phi D \times h_0$, 如图10(a)所示, h_f 为敏挤件的总高度, 如图10(b)所示。 h_f/h_0 表示从挤压出口流出金属的多少, 称为全高比; $(h_0 - t)/h_0$ 表示已经参与变形金属的多少, 称为变形比。对于一定的 ϕD_1 (挤出口直径), 选取一系列的变形比来分析观察变形比的增加所引起的全高比的变化, 显示出金属从挤出口流出量随着变形程度的增动而发生的变化。根据体积不变关系, 了解了挤出口金属流出量的变化, 则可了解敏粗量金属的变化。改变挤出口尺寸, 重复上述过程, 就可以研究不同的敏挤模具设计参数对金属在挤、敏分配中的影响。图中 ϕD_0 为分流层。

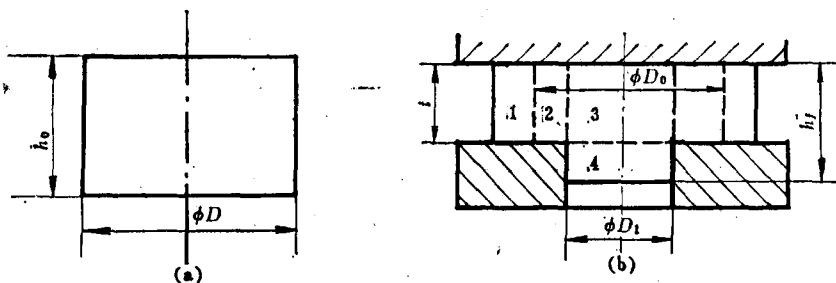


图 10

3. 模锻

图11只是最典型的一种模锻件的示意图, 采用双作用原理, 只分析1/4毛坯的流动规律。假设上、下模闭合时 A-A 面相重合, 则可计算出模腔实有的容积(包括一部分飞边桥) V_0 。然后根据体积不变关系选择毛坯尺寸, 例如, 可选断面为 H 型、体积为 V_0 毛坯。随着上、下模的闭合, H 型毛坯的边界向模腔内、外、上、下移动, 待到上、下模闭合时, 必然有一部分金属被挤入了飞边桥, 令其体积为 V_f , 则计算得出比值

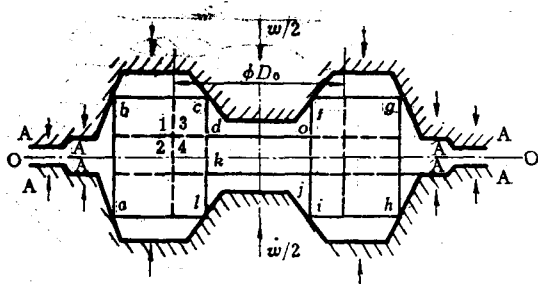


图 11

图 11 中的 H 型毛坯，共划分为四个单元（1/4 部分）， ϕD_0 为分流层。

用 UBET 模拟金属流动，完全可以由电子计算机自动进行，因为，在每一变形瞬间，将变形体划分为单元、计算上限总功率及至优化，都是比较规范的，不需要特殊的经验和判断。整个计算机计算框图如图 12。

$$f = \frac{V_0 - V_f}{V_0}$$

称为模腔充满系数。如果毛坯断面尺寸选定合适，则充满系数大，进而表明模锻时金属流动状态良好。用这一方法，可以研究毛坯尺寸与充满系数的关系。若改变模具设计参数（锥角、飞边桥尺寸等），则还可以研究这些参数对同一尺寸模腔充满系数的影响。

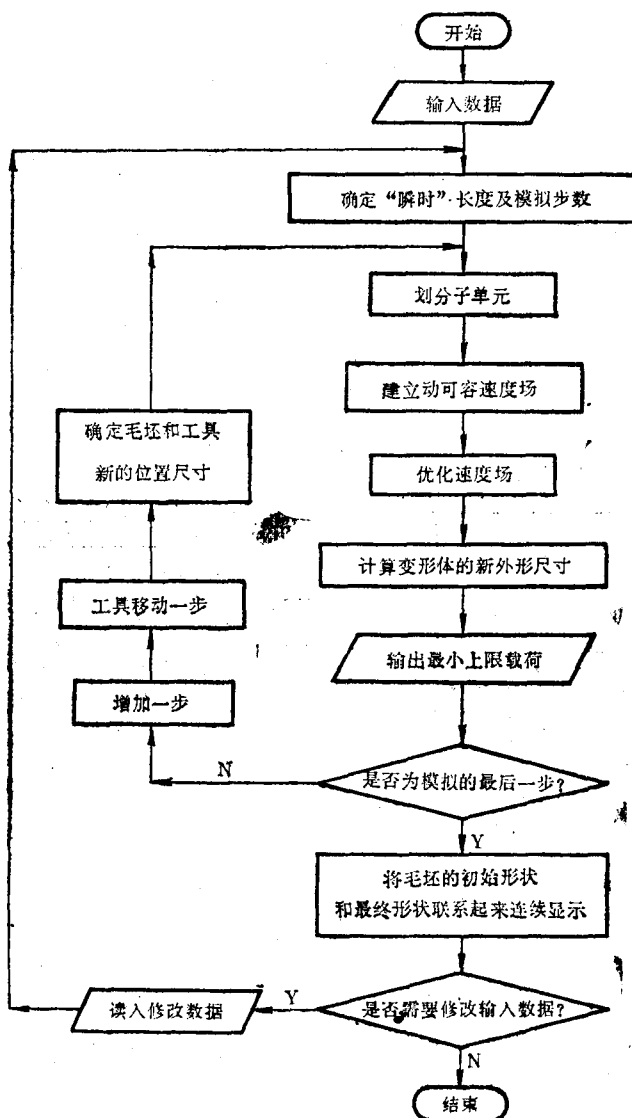


图 12