

我所在压力加工方面三十年来的研究概况

张 作 梅

建所三十年来，我们在压力加工的理论和生产实践上做了不少工作，许多研究成果已在国内外的学术刊物上发表，不少还在生产上推广应用。现在把这些研究工作的概况介绍如下：

一、球墨铸铁的研究

在五十年代初期，球墨铸铁是一种新型的机械制造材料。由于有优良的机械性能，可以用来代替可锻铸铁和一部分铸钢、锻钢，所以当时我国和世界各国都展开了研究工作。由于球墨铸铁的性能和铸钢很相似，便引起了能否进行压力加工的问题。我们首先在不同温度下进行球墨铸铁的冲击性能的试验，得出了变脆温度范围和比较具有韧性的温度范围，并考查了试样的断口情况和断裂时的弯曲角度，结果写成论文发表在《物理学报》^[1]上。同时我们对球墨铸铁的锻造、压延和机械性能进行了系统的宏观和微观组织的研究，得出了系统的结果，证明了球墨铸铁的可加工性，和得出了加工时的工艺条件，结果写成论文发表在1955年的《机械工程学报》^[2]上。随后我们又对加工前后的球墨铸铁的机械性能进行系统详细的研究，特别是在压延后板材的方向性、加工前后的疲劳性能，热处理、切口和压力加工对不同温度下的冲击性能的影响等，以便更广泛地利用这一优良的新型材料提供数据。这些结果也写成论文发表在1957年的《机械工程学报》^[3]上。与此同时，我们特别对球墨铸铁的可塑性进行了系统的研究，对铸态和铸态经墨化处理后的球墨铸铁在不同温度下进行了抗张试验、抗压试验、冲击弯曲试验、捻扭试验、顶锻试验和小型压延试验，得出了详细结果。此外，由于球墨铸铁中石墨的形状在压力加工和各种材料试验中发生了变化，对这些工艺和材料试验性能指标的影响较为敏感，所以这些试验也可以用来衡量材料的可塑性试验方法的敏感性和实用性。我们把这一系统的试验结果写成论文发表在1956年的《金属学报》^[4]上，1957年苏联便把这一论文全部翻译成俄文，发表在苏联《现代冶金问题》杂志^[5]上。从此可见，我们当时的这些研究成果是具有国际先进水平的。这一文章也发表在《中国科学 (Scientia Sinica)》1959年第8卷第1期^[6]上，和在1957年民主德国佛莱堡矿冶学院成立100周年纪念会上我进行了宣读并发表在该校的院报^[7]上。

二、钢三中板机械性能的研究

五十年代初期，我国生产的钢三中板机械性能不能满足我国重工业部标准。据1954年6月至9月统计，我国某钢厂生产的钢三中板能满足该标准的板材最高为18.5%，最低为零。我们与该厂合作，首先我们在实验室内进行宏观和微观试验，得出系统实验结果，然后在工

厂进行生产试验,结果把合格率提高到83%。我们把成果推广到生产中应用,并把研究结果写成论文,发表在1956年出版的《中国金属学报》第1卷第1期^[8]上。苏联的《现代冶金问题》杂志亦把该论文于1957年全部翻译成俄文发表^[9]。从此可见该工作当时也是具有国际先进水平的。

三、锋钢锻压比和1为13钢的塑性、热处理和莫锻蒸汽轮机叶片的研究

在五十年代初期,我国工业正处于恢复和建设时期,当时对于制造刀具的锋钢要求很多,但是我国锤子较小,一般文献上都认为锋钢锻压比要在10以上才能制造刀具。为此,大连钢厂由于不能满足用户需要便提出是否可以减少锻压比的问题。为此,我们便与该厂合作,由该厂进行冶炼、铸锭、锻造和压延,而由我们进行性能试验、金相检验以及进行铣切和镟切试验。研究内容包括锻压比对锋钢机械性能和组织的影响,着重研究碳化物的分布以及对镟切和铣切性能的影响。试验结果表明镟切试验中,锻造比4以上,表面与中心材料的切削性能基本上一致,铣切试验中则锻造比3以上锋钢的性能基本上已达到一般水平。但是上述试验结果只能用于300公斤以下的铸锭。研究结果已应用到生产中去,大大提高了生产率并写成论文发表在1954年的《机械工程学报》^[10]上。

在五十年代我们还对1为13不锈钢的高温塑性和热处理性能以及莫锻汽轮机叶片进行了研究。当时我国采用线切削加工方法来制造叶片,对不锈钢的利用率仅达20%左右,同时还需要大量的切削加工。此外还有金属流线被切断的缺点。我们的试样取自于某厂的500公斤钢锭中部,分成顺柱状结晶和与之方向相垂直的横向取样,在冲击试验机上进行高温冲击抗张试验。我们还选择了6000瓩蒸汽轮机的第七级叶片作为试验对象,用我们自己设计的锻莫在1吨夹板锤上进行莫锻。我们还利用铅棒中间截成两段,截面之一划上网络,然后再对合在一起以观察试验后网络的变形情况。试验结果证明按照我们的设计方案设计出的叶片锻莫和莫锻工步可以保证叶片各部成形良好和合理的流线分布。莫锻七级动叶片的金属利用率可以比线切削加工叶片的金属利用率提高66%。如果采用试验中特制的周期毛坯,不但可以省去制坯莫锻工步,只须经过预锻和终锻工步便能成型,而且使金属利用率提高41%。研究结果亦写成论文发表在1957年的《机械工程学报》^[11]上。

四、电热丝材料加工性能和铜线冒刺的研究

在五十年代由于工业上大量需要,我国进行试制X20 H80电热丝,但因缺乏比较系统和深入的参考资料,在压力加工过程中遇到了不少困难,成品率很低,而产品质量低劣。在当时文献中只有一般的数据,在孔型设计和冷拔方面则缺乏系统的资料。为了提高产品质量和成品率,降低宝贵的镍、铬的消耗,我们进行了此种合金的加工特性的系统研究工作,从可塑性、锻造、压延而至于冷拔和成品寿命的测量,作了比较深入的研究,部分研究成果已在工厂内推广,并已获得初步成效,并已写成论文发表在1957年的《金属学报》^[12]上。

当时我国线材厂冷拔铜线时普遍发生冒刺现象。要求较高的线材,冒刺的铜线即为废品。这是因为冒刺铜线制成的电动机、发电机和变压器等,由于刺尖可能引起放电,刺和凹痕也可能破坏绝缘,因此直接影响了这些电器设备的寿命和性能。本研究的目的是为探讨拔制

过程对冒刺的影响，同时观察具有槽道的铜线进行冷拔时凹痕的变形机构，从而确定改进拔制操作是否能够减少冒刺以提高成品合格率。结果表明：如果模子设计正确，研磨光滑、润滑良好，则可以获得均匀变形。虽然棒材表面不良，亦可以拔制良好的线材，把冒刺减至最少。在实验室的实验结果曾在工厂中进行实际的拔制试验，表明在良好的拔制条件下，冒刺是可以大大减少的。我们把研究结果写成论文发表在1957年的《机械工程学报》^[13]上。

五、金属轧制过程中机械性能变化的研究

这些工作都是系统地研究轧制条件对机械性能的影响。我们在控制热轧条件下曾制备了四种不同晶粒大小和显微结构的沸腾钢、镇静钢钢三的试样进行机械时效试验，采用了冲击、抗张、抗压和硬度四种试验以衡量机械时效处理后的效果。结果表明：控制热轧条件可以改进钢三的显微结构，从而改善钢三机械时效处理后的变脆倾向。同时发现衡量机械时效处理的效果以较刚性的冲击和抗张试验较为有效。这一工作已写成论文发表在1957年的《金属学报》^[14]上。

我们在研究钢三中板机械性能的基础上还进一步研究了热轧条件对纯铁、08号钢、钢三、钢6和M62号钢的奥氏体晶粒度和其对机械性能的影响，同时对压下的积累作用以及奥氏体晶粒的大小对热轧特征如塑性、变形阻力和冲击韧性的影响亦作了进一步的探讨。这些结果对于深入了解热轧过程中金属内部发生的变化以及这些变化对成品质量的影响和对热轧过程本身的影响是有帮助的。这一研究结果已发表在1959年的《金属学报》^[15]上。

同时我们结合鞍山钢铁公司生产的43公斤重轨进行3孔型设计对钢轨质量影响的各种因素，对轧制过程中每一道次机械性能的变化作了全面的比较分析并探讨了产生这些变化的原因。结果发现第二孔或第三孔的性能都有下降的现象，第六孔以后性能变化很少，在较快的冷却情况下加工温度对性能的影响不大，因此可以考虑提高加工温度、加工量和轧制速度，从而把孔型数目减少到7个或9个（原来采用十一个），以提高生产率和产品的合格率。这一研究结果亦写成论文发表在1959年的《金属学报》^[16]上。

六、纺织锭杆毛坯、钢-铝基轴承合金双金属板和 镍铬无磁性钢的轧制以及薄板粘结的研究

在50年代和60年代初期，我国在轧制新产品和一些特殊产品的生产中存在着不少问题。我们结合这些问题进行了较系统的实验室内的研究工作，得出了数据提供生产部门参考，一般对提高生产率和产品质量起了一定的作用。例如：在热叠轧薄板生产中，主要问题是粘结。50年代虽然有不少国家进行过研究，但尚未得到圆满的解决。我们研究了各种因素如化学成份、轧制条件、氧化铁皮和附加剂等对粘结的影响，并观察了粘结区的微观组织，对粘结机构进行了探讨。研究结果表明上述每一个因素对粘结的影响各有不同，因此要很好地控制比较主要的因素，同时也要尽量顾及比较次要的因素，才能减少粘结现象。本研究的部分研究结果已在生产上应用，并证明有初步成效，同时写成论文发表在1957年的《金属学报》^[17]上。

又如当时用于制造发电机护环的材料，要求有特别高的强度和较高的塑性。我们试验了含镍、铬、锰三元素的两种钢。由于这些钢种不能用热处理的方法来得到所要求的高机械性能指标，而在冷加工时变形抗力很高，除非有强大能力的锻压设备才能成型，因此这一研究

工作的主要目的是寻求用能力较小的锻压设备来制造这些护环的可能性，这便需要确定适宜的压力加工规范。实验结果证明通过中温压力加工，这二钢种有可能达到护环要求的高综合机械性能指标。这一试验结果亦写成论文发表在《机械制造论文汇编 I》^[18]上。

钢—铝轴承合金双金属板轧制研究对于解决大量生产汽车拖拉机轴承有着重要的意义。在60年代初期很少看到这方面的系统研究资料。为了寻找这一合金和钢双金属板的适宜轧制工艺及探讨各种因素（如温度、表面状态、压下率等）对粘结的影响，我们进行了系统的研究工作。结果发现温度是影响粘结的最重要因素之一。总压下率和金属的表面光洁度对粘结亦有很大的影响。我们试验得出的双金属板初步做成柴油发动机气缸曲轴轴承在实际柴油机车上作过运转试验，结果是令人满意的，并已写成论文发表在1963年出版的《机械制造论文汇编— I》^[19]上。

纺织锭杆是棉纺工厂精纺机的主要零件之一。这一零件首先是用切削加工制造，加工工序复杂，加工后材料利用率仅达45%。后来采用了周期横轧热轧法的先进工艺，材料利用率已达80%，劳动生产率较过去提高5倍。在60年代初期才应用于生产上。我们与上海交通大学协助上海纺织机械二厂及三厂总结了锭杆热轧的经验，并对锭杆在轧制时的变形、主要轧制工艺参数及锭杆常见的缺陷等进行了试验研究和理论分析，结果表明在三辊周期横轧时，沿轧件横断面的变形分布是比较均匀的，没有发现中心破裂或疏松的迹象。试验中还发现轧制温度在1000℃左右能获得较好的组织与性能。轧制后采取的冷却方式对产品质量亦有很大的影响。空冷所得的组织性能较好而水冷则较差。结果亦写成论文发表在1963年出版的《机械制造论文汇编— I》^[20]上。

除了上述轧制工艺外，黎俊结同志还对设计三辊横向螺旋轧机时若干参数如轧辊尺寸、轧辊辊型、设计角、压下系数、金属对轧辊的压力、轧制力矩等的计算公式和决定方法进行了分析，指出了文献资料中不完善或错误的地方，并提出了修正意见或补充和推导了新的计算公式。这些计算方法有些已实际应用于轧机的设计上。这些研究结果亦已写成论文发表在1963年出版的《机械制造论文汇编— I》^[21]上。

七、在不同温度、速度和均匀压缩下金属变形抗力的研究

我们在1960年开展了金属在均匀压缩下的应力应变关系的研究，因为在这之前一般压缩试验由于试样两端摩擦力的影响，试样中间鼓起，靠近两端，试样则变形很小，产生不均匀变形，这对金属在纯压缩下的应力应变关系便不能得到。我们利用试样两端带小沟槽并加润滑剂的方法得到了均匀压缩试验中的应力应变关系，并得到了规律性的应力应变关系，写成论文于1961年发表在《中国科学》^[22]杂志上。文中把我们的实验结果与当时国外文献中的资料加以比较。在这基础上我们又用九种不同的方法来验证我们试验中得到了均匀压缩。我们对压缩试验的真应力真应变曲线和抗张试验中的真应力真应变曲线加以比较，得出这两种试验得到的曲线在多数金属中都 very 接近或重合一致。这一试验结果已写成论文发表在1963年出版的《机械制造论文汇编— I》^[23]上。

在上述基础上我们又采用了凸轮式形变机，在压缩试验中保持应变率恒等，以得到应变率一定条件下的压缩真实应力应变的关系曲线，并与非均匀压缩的试验结果进行了比较。结果得出了应变速率和变形抗力间的关系公式，同时与当时国外的试验结果进行了比较。当时国外亦有用高速凸轮式形变机进行试验的，但压缩率多数小于50%，而我们的试验则达到76%

压缩率，而且是在均匀压缩下进行的，所以我们当时的试验结果是达到国际先进水平的。我们把试验结果用英文写成论文发表在《中国科学》杂志1964年第13卷第5期^[24]上和《金属学报》1963年的第6卷第2期^[25]上。

八、横锻及横轧的研究

在50年代横锻及横轧有不少学者进行了研究，有不同的看法。例如：有人认为坯料中心经受切应力的作用，破裂是切应力作用的结果；有人则认为中心是个弹性核，受三向均匀张应力的作用，破裂是张应力作用的结果，属于脆性破裂。有些则认为在横锻及横轧中中心可能产生塑性变形。但是由于实验数据不够充足，所以很难说那些观点是正确的。我们用铝棒铅棒进行了试验，用低熔点合金把端面刻有同心圆网格的两个铅棒焊成一个整体，横锻、横轧后把组合试样放入开水内分离，然后测定试样变形后的变形规律。例如：在一次横锻时，表面层的塑性变形最大，断面中心则变形最小。在旋转横锻时，则表面层和中心区的塑性变形较大，过渡区的变形较小。在横轧时，变形分布规律则与横锻时相类似，压缩率越大，断面中心的变形越发达，中心的破裂越严重。当横轧合金钢时比横轧碳钢难于产生中心破裂。同时我们还观察了沿端面和内截面的变形分布很相似，不过沿内截面变形分布的均匀程度要小一些，而且内截面中心出现塑性变形要早一些。这些研究结果对当时横锻和横轧时金属的变形与破裂提供了许多新的数据，对推广应用这些新工艺起了一定的作用。结果写成了论文发表在1964年的《金属学报》第7卷第1期^[26]上。

九、金属的塑性

金属的塑性很大程度上受着金属内在的化学成份、组织结构和外界的因素如温度、变形速度、周围介质等的影响。在现有文献资料中，虽然在金属的塑性或“可塑性”方面已做了很多工作，但是仍然有不少问题需要解决，如各种因素对塑性的影响、塑性指标问题、实验室的试验结果如何能有效地用于生产实践等问题。本文着重对上述诸问题系统地介绍文献资料和我们做过的工作，提出存在的问题和对我国今后开展这方面的研究工作提出建议。文中还结合我国资源特点，着重介绍了铜和稀土元素对塑性的影响以及在高温合金方面纯洁程度对我国富产的金属和其合金的塑性的影响。

由于金属塑性牵涉的面很广，塑性指标是相当复杂的问题。文中对常用的13种塑性指标进行了详细的分析讨论，指出了每一指标的性质和其适用范围以及对生产实践的指导意义。对Губкин等人提出的平均可塑性指标作了评述。最后根据前人的工作、国内外的发展趋势以及结合我国资源特点提出了12项研究课题。本文发表在《机械制造论文汇编—II》^[27]上。

在1979年第5期的《锻压技术》杂志上，我还把我国30年来在金属及合金的塑性方面的主要工作进行了总结介绍^[28]。

十、钢挤压的研究

钢挤压于1949年才正式成为一种工业生产方法。当时研究工作偏重于工艺和工具方面，系统的实验室数据不多，特别是关于挤压力的系统研究结果和测定数据更感缺乏。我们进行

了钢三和1为13钢的圆管和圆棒的挤压力测定,着重研究温度、速度、变形程度等因素对挤压力的影响,对采用机械压力机进行钢的热挤压的可能性提供了参考数据。我们采用了三个测力计,同时纪录了总挤压力、模子上的力以及挤压筒所受的力。我们还对管棒试样套上网格,用于研究挤压过程中金属的流动和变形区的分布情况。结果得出了五种类型的挤压力变化曲线,找出了这两种钢种的挤压力 P_M 随变形程度 $\ln\frac{F}{F_0}$ 的变化曲线。这些研究结果对于推广应用这些钢种用热挤压的方法来制造管材、棒材提供了系统的参考数据。这一工作当时在国内是领先的,同时也达到了国外的先进水平。我们把结果写成论文发表在1965年出版的《机械制造论文汇编—II》^[29]上。

文化大革命期间和以后直至1979年,由于林彪、“四人帮”的干扰破坏,我们在压力加工方面的研究工作差不多停止了,直到1979年我们才恢复了金属的超塑性和非晶态合金的研究。我们重点是研究Al—Zn—Mg—Zr合金的超塑性,在1980年吉林省金属学会年会上做了报告^[30]并被评选为优秀论文。同时在这一合金的吹塑成型试验中也总结出论文^[31],在全国第二次超塑性技术讨论会上进行过交流。

在非晶态合金研究方面,我们主要研究了软磁材料 $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$,用锻造法制出了厚度为0.04~0.05毫米,直径为20~25毫米的非晶态薄片,并对该合金的结晶温度及电磁特性进行了测试。结果写成论文在第二届全国非晶态材料及物理讨论会上进行了交流^[32]。同时还用单辊法来制造非晶态的合金带,结果把 $Fe_{40}Ni_{40}P_{14}B_6$ 合金制取了厚度为0.03~0.05毫米,宽度为10~42毫米、长达数十米的非晶态合金带。结果亦写成论文在上述会议上进行交流^[33],同时把锻锤的设计与联调实验写成论文发表在《长春机械》1981年第1期^[34]上。

参 考 文 献

- [1] 张作梅、徐有容,物理学报,1954,10(4),333~345.
- [2] 张作梅、郭胜泉,机械工程学报,1955,3(1),45~74.
- [3] 张作梅等;机械工程学报,1957,5(1),54~70.
- [4] 张作梅等;金属学报,1956,1(2),165~188.
- [5] Чжан Цзо—Мэй, и др; проблемы Современной Металлургии, 6(36), 1957, 127~148.
- [6] Chang Tso—Mci, et al.; Scientia Sinica, 1959, 8(1), 110~131.
- [7] Chang Tso—Mci et al., Freiburger Forschung Shefte, Heft B16, Juni, 1957, Seite 82~107.
- [8] 张作梅、李建华;金属学报,1956,1(1),87~126.
- [9] Чжан Цзо—Мэй, Ли Цзян—хуа, Проблемы Современной Металлургии, 1957, 4(34), 113~144.
- [10] 张作梅等;机械工程学报,1954,2(2),121~155.
- [11] 张作梅、孙麟治,机械工程学报,1957,5(4),329~348.
- [12] 张作梅等;金属学报,1957,2(1),35~37.
- [13] 张作梅、杨本祺;机械工程学报,1957,5(3),215~234.
- [14] 张作梅、李建华;金属学报,1957,2(3),249~260.
- [15] 张作梅、李建华;金属学报,1959,4(2),143~153.
- [16] 张作梅等;金属学报,1959,4(3),222~234.
- [17] 张作梅、李慧珍;金属学报,1957,2(4),335~348.

- [18] 张作梅等; 机械制造论文汇编— I, 科学出版社, 1963, 70~79.
- [19] 张作梅、林陶; 机械制造论文汇编— I 科学出版社, 1963, 80~89.
- [20] 黎俊结、张作梅; 机械制造论文汇编— I, 科学出版社, 1963, 38~52.
- [21] 黎俊结; 机械制造论文汇编— I, 科学出版社, 1963, 53~69.
- [22] Chang Tso—Mei, Shu U—Yung; *Scientia Sinica*, 1961, 10 (3), 377~375.
- [23] 张作梅、徐有容; 机械制造论文汇编— I, 科学出版社, 1963, 1~12.
- [24] Chang Tso—Mei, Chao Shih—Ta; *Scientia Sinica*, 1964, 13 (5), 824~836.
- [25] 张作梅、赵士达; 金属学报, 1963, 6 (2), 131~145.
- [26] 张作梅、黎俊结; 金属学报, 1964, 9 (1), 43~57.
- [27] 张作梅; 机械制造论文汇编— II, 科学出版社, 1965, 111~142.
- [28] 张作梅; 锻压技术, 1979, 第5期, 6~18.
- [29] 赵士达、张作梅, 机械制造论文汇编— II, 科学出版社, 1965, 143~152.
- [30] 吕萌福等; 吉林省金属学会1980年年会上的报告论文,
- [31] 金华等; 全国第二次超塑性技术讨论会宣读的论文, 1980年.
- [32] 王连义等; 第二届全国非晶态材料及物理讨论会交流的学术论文, 1980年,
- [33] 王连义等; 第二届全国非晶态材料及物理讨论会交流的学术论文, 1980年.
- [34] 王连义等; 长春机械, 1981年第1期 (总第17期), 26~33.