

金属压力加工的理论基础

M. B. 斯托罗热夫 主編

楊 鴻 勳 譯

ОСНОВЫ ТЕОРИИ
ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ
ДАВЛЕНИЕМ
МАШГИЗ, 1959

內 容 簡 介

本书是一本集体创作,它总结了各作者近年来的科研成果,同时也广泛采纳了各国关于压力加工方面的资料,是一部极有价值的压力加工理论书籍。本书内容主要是阐述塑性理论的现代状况,阐明塑性理论各基本方面(物理、物理-化学、数学-力学)的研究对象和目前所取得的重大成就。书中以较大的篇幅研究变形过程中各因素对变形的影响,分析各种锻造、冲压工序的变形性质,着重论述了各主要工序变形力的几种近代计算方法。

本书可供从事压力加工理论及塑性理论研究的工作者、生产单位的工程技术人员、设计师以及高等院校压力加工专业的师生参考。

金属压力加工的理论基础

М. В. Сторожев 主编

楊 鴻 勳 譯

*

科学出版社出版 (北京朝阳门大街117号)

北京市书刊出版业营业登记证出字第061号

中国科学院印刷厂印刷 新华书店总经售

*

1962年6月第一版	书号:2526 字数:650,000
1962年6月第一次印刷	开本:787×1092 1/18
印张:32 插页:3	

定价:4.60元

目 录

譯者序	ix
序言	xiii
第一章 塑性理論的現代狀況	1
1. 塑性理論的几个基本方面, 塑性的物理-化学原理	1
2. 应力状态图	12
3. 塑性变形机构	26
4. 塑性变形过程的条件	34
5. 脆性、塑性、可变形性、变形抗力及其指数	39
6. 提高塑性的途径	56
第二章 金属压力加工原理的力学基础	61
1. 计算方法的一般性問題	61
2. 物質的理想状态及实际状态, 固体結構的工作模型	64
3. 关于原始坐标及流动坐标的概念	65
4. 小变形	67
5. 应力状态	71
6. 变形速度及变形速度主分量	75
7. 应力状态分量与变形速度分量的关系	76
8. 变形进展的单调性条件	79
9. 总变形	82
10. 变形硬化	88
11. 应力状态分量和总变形分量的关系	96
第三章 金属压力加工原理中关于材料塑性变形抗力的计算方法	98
1. 材料塑性变形抗力的基本特点	98
2. 采用塑性变形抗力方法的例子	101
A. 軸对称零件于閉口鍛模中的热模鍛	101
B. 軸对称件的板料冷冲压	116
3. 金属压力加工过程中輔助計算表的应用	123

4. 金属压力加工原理中輔助計算方法的应用	135
5. 金属压力加工原理問題中材料抗力的計算方法	146
第四章 应力及力按近似平衡方程及塑性方程的計算方法	150
1. 計算方法的依据	150
2. 用于特殊情况下的近似平衡方程式	152
A. 平面粗糙平鈹之間稜柱体試样的鍛粗(直角坐标中的平面問題)	152
B. 平面傾斜粗糙平鈹之間楔形鍛件的鍛粗(极坐标中的平面問題)	153
B. 平面粗糙平鈹之間圓柱体鍛件的鍛粗(軸对称問題)	154
Г. 金属在筒形凹模中的挤压	155
Д. 金属在錐形凹模中的挤压及拉絲	156
3. 塑性条件的近似表达式	157
4. 边界条件	159
5. 在平面变形条件下的压縮过程	160
A. 平面平行鈹之間方鋼試样的鍛粗	160
B. 延伸	187
B. 平面傾斜鈹之間楔形鍛件的鍛粗	190
Г. 无寬展及张力的軋制情形	202
6. 圓柱体鍛件于平面平行鈹之間的鍛粗(軸对称問題)	205
A. 金属的流动情况	205
B. 接触面上应力的实验求法	206
B. 单位压力的理論分析及計算公式的推导	211
7. 在内压力作用下的厚壁圓环(圓柱形坐标中的軸对称問題)	217
8. 开口冲孔	222
9. 冲挤(挤压)(軸对称問題)	225
A. 一般情况	225
B. 錐形容器中的挤压	228
B. 复合容器中的挤压	231
Г. 管料型材的挤压	235
10. 体积热模鍛部分	239
A. 工艺过程的基本因素	239
B. 鍛件各部分模鍛力的确定方法	240
B. 毛边对模膛填充情况及单位压力的影响	246
第五章 借滑移綫方法确定力及应力的原理	250
1. 滑移綫方法的发展过程	250
2. 滑移綫的理論基础	251

3. 繪制滑移綫网的例子.....	256
4. 橫向尺寸与高度之比很大的毛坯的鍛粗工作.....	262
5. 橫向尺寸与高度之比很小的毛坯的鍛粗工作.....	267
6. 圓环的模鍛.....	270
7. 复杂零件的拉深.....	274
第六章 特征綫方法在复杂工件拉深理論中的应用.....	280
1. 基本原理及基本方程式.....	280
2. 合理毛坯的周边形状.....	283
3. 应力.....	295
4. 統一的拉深指数.....	303
第七章 刚-塑性体方案在計算变形体的变形及抗力方面的应用	308
1. 計算方法.....	308
2. 金属流入縫隙时的条料鍛粗.....	319
A. 变形的分析.....	319
B. 单位压力及总压力.....	331
B. 計算結果与試驗数据的比較.....	332
3. 具有挤压时的体积模鍛.....	335
A. 模鍛阶段.....	335
B. 第二个模鍛阶段的变形过程分析.....	336
B. 第三个模鍛阶段的分析.....	342
Г. 計算結果和試驗数据的比較.....	350
Д. 挤压时的变形分析.....	354
E. 单位挤压力.....	357
第八章 应力及应变按梯形和矩形近似积分法的确定原則.....	362
1. 原始先决条件.....	362
2. 应力的确定.....	364
3. 应变的确定.....	368
4. 应力与应变之間的联系.....	370
5. 拉深.....	371
6. 管的拉絲及縮口.....	374
7. 結尾語.....	381
第九章 軸对称变形时的鈹料冲压变形工序的一般分析方法.....	383
1. 一般情况.....	383

2. 毛坯厚度不变且无摩擦、硬化及弯曲时的变形	385
3. 有摩擦时的变形	391
4. 弯曲对应力大小的影响	398
5. 毛坯厚度变化对应力影响的估计	411
6. 具有硬化的变形	416
第十章 轴对称缩口、扩口及翻边工序的分析	421
1. 缩口	421
A. 一般情况(变形区有三个区段)	421
B. 特殊缩口情况	425
B. 对硬化现象及毛坯厚度变化的估计	430
F. 理论公式的实验核对	436
2. 扩口	442
A. 应力及扩口力的确定	442
B. 理论公式的实验核对	454
3. 翻边	459
A. 应力及翻边力的确定	459
B. 毛坯尺寸的确定	464
4. 复合工序	470
第十一章 轴对称拉深工序的分析	480
1. 单工序拉深	480
2. 无凸缘零件的多工序拉深	491
A. 壁的破裂及其消除方法	491
B. 凸凹模形状对拉深力的影响	502
B. 壁厚的变化	506
F. 应力状态	511
3. 具有凸缘零件的多工序拉深	523
A. 逐道拉深工序的金属重新分布情况	524
B. 壁厚的变化	527
B. 拉深力规范	531
第十二章 补充理论	538
1. 塑性条件的广义推导	538
2. 确定变形力的作图分析法	542
3. 当变形条件具有混合边界条件时的应力确定方法	544
一般解	544

理想塑性情况下的特解	548
接触面上无摩擦力时的特解	552
参考文献.....	555
中俄名词对照表.....	562

第一章

塑性理論的現代狀況

1. 塑性理論的几个基本方面。塑性的物理-化学原理

塑性学的任务在于解决各种不同的問題,这些問題在化学、物理以及力学等領域中正在以現代知識从各个立場上加以研究。因此,塑性学很自然地有了几个不同的方面了。目前,塑性学分为三个基本方面:数学力学,物理以及物理-化学。

数学力学方面是从事于塑性变形物体中应力状态及变形状态的研究。研究这个問題不仅具有科学意义,同时还具有实际意义,因为它能使我們将变形力及变形功計算出来,同时还能解决某些其他实际問題。

数学力学是上述塑性学几个基本方面中最先发展的一个。圣-維南(Б. Сен-Венан)及列維(М. Леви)的著作給这个方面奠定了基础。圣-維南在他自己的一篇論文《关于确定弹性极限外塑性固体中所产生的内部运动方程式的問題》^[171]中写道:

«科学院所通过的实验結果迫使我們特別重視如鍛造、軋制、模鍛等这些过程。当时很自然地提出了这样一个問題:不断变形的物体,其相对位移究竟遵循那些規律,同时內在联系沒有遭到破坏时,会产生那些内力?»。

法国科学家写完这几句話已过去八十多年了,然而他所提出来的这个問題,到目前为止还解决得非常之差。成績如此之小,其原因在一定程度上可說是由于数学力学方面的发展与物理及物理-化学学派脱了节,而这些学派在本世紀之初对塑性問題已有了相当好的研究。

苏联力学家近几年取得很大的成績。苏联科学家的著作建立并組成了一門新的課目《小弹性-塑性变形原理》。苏联力学学派的著作对于机器零件及工程建筑物強度計算理論的发展、研究和完善具有极其重要的意义。此外,这个学派的著作对于塑性学其他部分的发展一般也起着很大的影响,这是因为在很多具体例子上,有可能利用小塑性变形力学的工具及方法来完成某些个别的綜合工作,这些工作可在研究塑性問題的物理及物理-化学学派代表們所累积的丰富資料基础上作出来。

变形中复杂的数学問題是弹性数学理論及小弹性-塑性变形数学理論的研究对

象,实际上,后者这个理論是在弹性的数学理論基础上发展起来的。这些数学理論目前由于它們的方法具有共同性,实际上是一門統一的科学——小变形数学理論。

大变形数学理論的情况就不一样了。大变形是由非綫性关系来确定的,所以目前在絕大部分的情况下,不可避免地迫使我們在完成上述关系的研究工作时,必須同时进行实验。

只有当物理学家、化学家将相应的資料以一定規律形式加以累积及綜合后,才有可能使大变形的数学理論得到更进一步的发展。到那时,塑性变形的数学学派才能利用所得到的規律性来深入研究相应的理論。

塑性变形的本質是物理学家研究的对象,由于他們的著作,使我們目前对于单晶体、多晶体塑性变形的本質以及对于掌握晶形物体及非晶形物体塑性变形机构的規律性,有了足够完善的概念。

在指出物理学家研究塑性变形本質方面所获得的成績的同时,还应当說明,苏联約飞(A. Ф. Иоффе)学派在这个方面所作的工作是很卓越的,这些工作促使了塑性学物理方面的发展。苏联物理学家庫茨涅卓夫(B. Д. Кузнецов)对解释多晶体金属塑性变形的物理本質等問題方面,作出了一些很重要的实验工作。庫茨涅卓夫在五册《固体物理学》一书中全面闡述了塑性的物理原理,給这个方面所有最重要的工作作了分析,庫茨涅卓夫的著作,对很多工作于塑性方面的专家們来講是一部宝贵的資料。

苏联物理学家及X光透視专家的卓越工作使我們对于塑性变形的物理本質以及对于金属中紋理組織(текстура)形成的概念更加清晰了。

很多金属学方面的工作,尤其是研究金属强度及机械性能方面的工作,实质上它們是属于塑性学物理方面的。

整体介質(сплошная среда 或称連續介質)的力学是理論物理中的一部分,它應該将研究变形物理本質方面的实验工作及理論工作綜合起来。

理論物理这部分的内容是闡明变形液体、弹性物体及弹-塑性物体流动的物理原理及其弹性力学。变形的物理原理是在以下条件下叙述液体、弹性物体及弹-塑性物体的流动及其弹性力学的:

1. 被研究的介質认为是完全均匀的,并且在流动和变形过程中不改变自己的性能。
2. 完全均匀的及不改变性能的介質,其闡述工作主要只限于闡明問題的物理原理方面。

因此,数学力学方面应当在物理学所制定的規律基础上来研究变形数学理論,而

物理方面則主要在實驗工作的基础上应当研究流动及弹性力学的物理理論。

物質流变性能决定于物質的化学成分及其組織。物質的相态及物質平衡状态的破坏程度在此处起着很大的作用。这些問題既超出了塑性学力学方面的范围,也超出了塑性学物理方面的范围。但是,在研究上述因素的基础上,不对物質流变性能进行分析,就不可能解决塑性方面最重要的問題。如果說在研究弹性变形的情况下,我們可以設想介质是均匀的,各向均質的,更重要的是在变形过程中不改变自己的性能,那么,在塑性变形时就不能这样設想了,因为变形物質的物理及物理-化学性质的不断变化是塑性变形的基本特点。

因此完全可以理解,塑性变形不仅成为力学家、物理学家、同时也成为化学家的研究对象了。

在发展物理-化学分析学說的同时,庫尔納可夫 (H. C. Курнаков) 及其学派給塑性学的物理-化学方面奠定了基础。

在庫尔納可夫自己卓越的著作^[95]《物理-化学分析概論》中写道:《物理-化学分析的基本任务是在不断研究平衡系統中的成分的情况下来測量其性能。‘成分—性能’图解是这个任务的結果》。

庫尔納可夫采用了^[95]下列物理-化学分析方法: 1) 热力方法, 2) 轉变時間法 (время превращений), 3) 电力分析法, 4) 光学分析法, 5) 微觀組織及 X 光透視技术, 6) 体积分分析法, 7) 分子粘結法, 8) 磁力分析法, 9) 应变分析法。根据庫尔納可夫意思, 用分子粘結的方法可以研究以下几个性能: 1) 內摩擦, 2) 硬度, 3) 挤压压力, 4) 弹性变形模数, 5) 松弛 (релаксация) 時間, 6) 表面张力。

在进行物理-化学分析方面的研究工作时, 庫尔納可夫及其学派广泛采用了分子粘結这个方法。

庫尔納可夫学派的特点是在进行研究工作时, 不是把分子粘結看成是已經掌握好了的及已經确定下来的方法, 仅簡單运用一下而已, 而是整个時間在研究它、探討它, 使其完善。这种对分子粘結法所进行的不断的研究, 使它目前已經要求在化学課目的整个系統中占有某个独立位置。

这种要求可用下列情况來說明。决定于分子粘結力的物質性能称为机械性能。《机械性能—成分》的图解是物理-化学分析总任务的一部分, 对闡明掌握非晶形及晶形物質性能的規律性以及对于更全面理解非晶形及晶形物質中所产生的現象具有特別重要的意义。

如果說弹性模数及泊松 (Пуассон) 系数是弹性物体性能的特点, 那么, 机械性能就可以反映塑性状态下物質的性能。物質的塑性是物質运动的一种形式, 在一定条

件下,它发生在非晶形及晶形物质之中,并且与物质性能的变化及组织的变化有关。塑性状态是物质非平衡状态最主要的形式之一。

掌握了物质塑性状态的机械性能后,使我们对于物质强度及其永久变形的能力、以及使我们对于物质性能变化的性质(由于塑性变形的结果)等具有一种概念。同时,物质的化学成分对于物质的组织、对于阐述物质塑性状态的机械性能以及对于塑性变形过程中这些性能变化的性质,都起着决定性的影响。在阐明化学成分对机械性能影响的同时,我们来着手解决一个现代化学及现代物理中的主要问题,这个问题就是论述掌握物质机械性能的规律性。

分子粘結法是物理-化学分析的一个基本方法,探讨这个方法,能使研究与化学成分有关的机械性能问题具有更广泛的意义。研究分子粘結这个问题,其目的不仅在于解决物理-化学分析方面的任务,而且还得研究本身机械性能的实质以及更进一步地探讨物质的本质。结论就是得进行某些与制定分子粘結法有关的最重要及最典型的研究工作。

庫尔納可夫及热姆丘日内(С. Ф. Жемчужный)的著作《塑性体的挤压压力及硬度》^[19]給上述研究工作奠定了基础。这个研究工作的基本价值,在于它确定了这样一个事实,就是物质的塑性状态决定于它的加载条件(速度、加载方式等)及它的化学本质,并且加载条件对塑性状态的影响同样与物质的化学本质有关。

史守金(В. И. Шишочкин)在自己的著作中信服地指明,对于物理-化学分析的目的而言,在采用分子粘結法的情况下,运用布氏硬度(Бринелль)已完全够了。这个情况使史守金有可能对合金的物理-化学性能,对化学成分与塑性变形温度系数的关系以及对其他类似的问题^{[222], [223], [224]}进行整个一系列最重要的研究工作。由于史守金研究工作的结果而确立了一些规律性,这些规律性使我们对于塑性状态的化学本质的概念更加明晰了。

在苏联科学院庫尔納可夫普通化学与无机化学研究所(ИОНХ АН СССР)的机械試驗室中进行了一系列与阐明化学成分对物质的机械性能的影响以及与研究塑性的化学本质有关的工作。其中应该特別指出以下工作:鎂合金变形的研究^{[36], [38]},《金属内部相位的塑性问题》^[41],《某些金属内部化合物及相位的机械性能》^[165],《多晶体金属加热时其内在压力的测量》^[166]等。

接触摩擦及表面的物理-化学状态,甚至在某些条件下,周围介质也都对受力物体的应力及变形分布、塑性变形过程中的动力学以及对于物质的塑性性能起着很大的影响。因此,研究物质的塑性状态不能不进一步引用相应的表面现象的物理-化学原理。目前可以准确地指出,不引用物理-化学相应的部分,塑性学就甚至不可能正

确解决一些与接触摩擦有关的基本问题。

很多研究塑性的金属学工作是站在物理-化学立场方面来探讨这个问题的。例如，波契瓦尔（А. А. Бочвар）关于描述超塑性现象的著作以及由波契瓦尔创立的新的塑性机构——古布金称之为溶解机构，都是属于塑性学物理-化学方面的著作^{[10],[9]}。对于基斯金（С. Т. Кишкин）的著作也可以作出同样的结论，基斯金在自己著作中指出，金属的硬化与产生在塑性变形过程中的固溶体的分解有关^[5]。

物理-化学方面的著作给非晶形及晶形物质的脆性及塑性状态以清晰的概念，准备了必须的资料，使我们可能在数量上来判断脆性及塑性状态。这些著作指出，脆性及塑性不是两个刚好相反的概念，譬如说象热及冷一样。目前可以研究一下这样一些物体：弹性、韧性、塑性-脆性及脆性物体，当然也有复合物体存在，当塑性-脆性、弹性及脆性物体破坏时，它们外部性能仍旧一样，即破坏时其塑性变形无显著几何特征。但是破坏的本质、破坏的动力学以及机械性能，对于非塑性状态下（弹性或塑性-脆性状态）的物质及脆性状态下的物质而言，是完全不一样的。

现在已肯定，塑性变形可以根本改变物质的组织，同时在物质中能引起各种不同的化学变化。因此，塑性变形应该不仅被认为是一种改变形状的方法，同时它还是一种改变物质性能极有效的方法。

从上述的某些研究塑性化学本质著作的简短概论中可以信服地说明，塑性学的物理-化学方面在目前已形成一门专课，它可称之为塑性的物理-化学原理。

塑性学的物理-化学原理是研究晶形及非晶形物质的化学成分对于它的机械性能的影响，并且可以确定出掌握物质机械性能的规律性。然而，在研究上述问题的同时，不能不研究塑性变形条件对于物质机械性能的影响。首先是以下条件：变形温度、变形速度、变形程度、变形机构图、周围介质及接触摩擦。如果对上述条件不进行细致地研究，就不可能找出掌握成分（化学成分）对物质机械性能影响的规律性。对于上述某些因素，首先是接触摩擦，须要拟出一些特殊方法，须要进行专门的物理-化学研究，因而就出现了塑性物理-化学原理的独立部分。研究化学成分对物质机械性能的影响时，同样不能不深入研究塑性变形对于物质性能变化的影响，不能不研究塑性变形对于塑性变形过程中所产生的化学及物理变化的影响，不能不研究塑性变形的化学本质。后者又使塑性物理-化学原理成为一个独立的部分。

图1指出，物理化学及物理-化学分析促使了四个最主要研究方面的发展，在这些方面的基础上形成了塑性的物理-化学原理。表1使我们对于塑性的物理-化学原理的方法论具有一种概念。

目前已经可以具体说出塑性物理-化学原理所研究的范围，甚至还可以指出它的

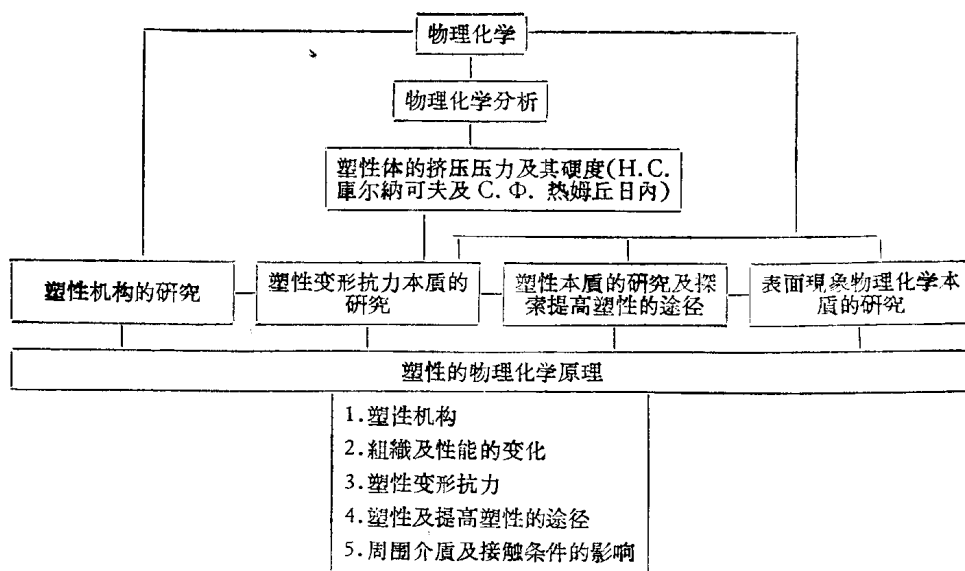


图 1. 物理化学与塑性物理-化学原理的关系图

几个基本部分。虽然这门课目暂时还没有形成，亦即还没有找到这样一个作者，就是他能在经过系统化的刊物上阐述这门课目的基本内容，但这无关紧要。这仅仅说明生活走到研究机关活动的前面了，并且这些机关的领导人现在还在考虑，总的讲是否有这门课目，是否值得去从事它的发展工作，从事这门课目资料的研究，使之系统化，而这门课目在出现新的研究工作时会占牢自己的地位的。

下面列举一下塑性物理-化学原理方面所取得的一些最主要成就。

1. 累积了最丰富及最广泛的实验资料，该资料说明物质的化学成分、物质的组织及机械性能之间的关系，也说明变形因素(温度，速度，流体静压力，变形程度，周围介质，变形物体的尺寸)对机械性能变化的影响。

表 1.1. 塑性的物理-化学原理的概括方法

实验的主要形式	机 械 试 验
最重要的被确定的数值	1. 变形抗力的特性 2. 塑性的特性 3. 接触摩擦的特性
影 响 因 素	1. 化学成分 2. 组织 3. 变形条件(温度，速度，变形程度，流体静压力，周围介质，接触条件)
实验数据的整理	1. 图表的制定及编制 2. 借用组织变化的实验研究来解释曲线过程(最主要的研究方法：X光分析及显微分析以及显迹原子法、光学模拟法等) 3. 实验结果的数学分析

这个資料基本上是由物理学家及化学家得来的，現在它已經能反映出物質的化学成分及其組織对于物質机械性能影响的一般情况，因此，固体物質的机械性能的本質得到了了解，闡述变形因素对物質机械性能影响的規律性已很好地将固体物質的机械性能加以描述了。

II. 苏联化学家及物理学家的著作使我們对于流动机构及物質破坏机构的概念更加全面了。

由弗兰凱尔 (Я. И. Френкель) 所发展的“空穴”(дырка) 假說，使我們建立了簡單非晶形物体流动机构的理論。斯截潘諾夫 (А. В. Степанов)、达維金可夫 (Н. Н. Давиденков) 及弗里特曼 (Я. Б. Фридман) 使我們現在对于物質破坏的概念更加全面了。

波契瓦尔闡述了由他本人創立的新的多晶体流动机构——溶解-沉淀机构 (растворно-осадительный механизм)¹⁾ 及再結晶机构。

再結晶机构的本質是当晶体互相移动时，以再結晶的方法来不断恢复被破坏了的联系。同样对于非晶体流动机构也是如此，这种机构是低分子的非晶形物質的特点，并且在弹性物質中(如金属)这种机构可以观察得到。这属于晶体内的流动。

波契瓦尔創立了溶解沉淀流动机构及再結晶流动机构，并且此机构是这样一个假說的主要根据，即塑性变形是一种物理-化学过程，它伴随着变形物質的性能的不断变化，同时，由于应力状态之故在过程中可能产生不同的化学变化。这个过程带有很明显的扩散性質(例如，溶解的、晶粒間的、再結晶的、非晶形的机构即如此)。虽然滑移可以看成是一种特殊的扩散机构，但是在其他机构中扩散性質并不显著。

康塔洛娃 (Т. А. Конторова)^[20] 在当时曾經讲过，說她和弗兰凱尔証明出在整齐的結晶格子中，原子有特殊位移的可能性。这些原子的位移形式是，某个原子列的晶粒不断有組織地从一个平衡状态过渡到另一个平衡状态。这样使得該原子列与附近原子列逐渐发生了剪变位。《集体的》、有組織的原子位移形式首先是整齐結晶格子的特点，我們不妨邏輯地設想一下，正好这种位移形式是晶体塑性变形的基礎。

弗兰凱尔及康塔洛娃关于原子位移的概念使塑性的断层假說 (дислокационная гипотеза) 的概念更加丰富了。同时，这些概念与苏联科学家在研究流动的扩散机构方面及研究塑性变形过程中化学变化方面的实验工作很符合。在苏联物理学家、化

1) 溶解-沉淀机构是一种塑性机构，它的基础是建筑在不同相位的晶粒的化学互相作用之上的，这种机构也称之为晶体間的溶解机构，其特点是将合金加热到一定溫度时，塑性大大提高(超塑性)，这是因为当溫度升高以后，在变形过程中，两个不同相位的晶粒的混合物元素发生了互相溶解作用，而当冷却时，这些元素又从溶体中析出——譯者注。

学家、金属学家的基础上,不管怎样,塑性变形的概念已经形成了,它是一个借用一組机构来完成的复杂的物理-化学过程,其中大部分的机构或者具有明显的扩散性质,或者可能是一些特殊的扩散机构。

III. 塑性变形抗力的温度定律的发明是塑性物理-化学原理中一个最主要的成就。

这个定律可由下式表之:

$$M_2 = M_1 e^{-\alpha(t_2 - t_1)};$$

式中 M_1 ——在 t_1 温度下确定塑性变形抗力的某个机械性能;

M_2 ——在 t_2 温度下的机械性能;

α ——与物质的本质、物质的物理-化学状态、变形速度、加载方式以及决定塑性变形抗力的机械性能种类有关的温度系数。

根据 α 系数变化的性质有时可以判断转化的本质。庫尔納可夫学派的工作者,对塑性变形抗力的温度定律研究得最为完善,该定律亦为其他研究工作者所证实。

最近古布金与其他工作者一道确立了一个定律,此定律不仅对于有色金属适合,同时对于铁合金也很适合。

庫尔納可夫将塑性的研究作为本学派的任务,同时,温度对机械性能影响的这个问题的提法是从塑性研究工作总任务中得出的。上述定律基本上是庫尔納可夫学派研究出来的,所以为了纪念庫尔納可夫,建议将此定律命名为庫尔納可夫温度定律。

IV. 塑性变形非均匀性理論的創立是塑性物理-化学原理中另一个主要成就。这个理論的定义如下: 变形体积中个别位置上变形的非均匀性及局部性是塑性变形的基本特点。

塑性变形的非均匀性以及它在个别位置上的局部性(例如,在一堆滑移层上的微局部性)是从本身塑性变形的实质中得出来的,并且与这样一个论点完全相符合,即位于非平衡状态下的物体其所包含的位能比位于平衡状态下的位能大,而平衡状态下的位能具有最小数值。塑性变形是物体从平衡状态过渡到非平衡状态的一种方法,并且剩余(избыточная)位能的大小在一定程度可作为非平衡状态的尺度。物质的机械性能直接与剩余位能的大小以及与这个位能沿体积分布的性质有关。古布金^[37]当时曾提出一个所谓附加应力定律,它是变形物体中剩余位能累积的总原理之一。这个定律指出,由于在塑性变形情况下位能累积的结果,不论外加力系为何,在变形物体中会产生互相平衡的内力,并且,无论在变形体积内个别大的部分之间,或是在较小部分——小体积元件之间,这些力的平衡关系都会产生。因为变形不是均匀的,故出现互相平衡的内力时,附加应力也出现了,这些附加应力是因为物体的外

部影响而产生的。

V. 塑性的物理-化学原理出现并不久,但在这短短的时间内,它已拟出一系列的研究方法,并已得到实际的应用。

从上述事实可知,决定塑性变形抗力的机械性能,当变形条件变化时,它在一定程度上也随之相应的变化,这样就有可能利用«硬度(根据冲挤方法计算)——化学成分»图解来预先设想化学成分对于上述机械性能的影响。这个情况使研究化学成分对决定塑性变形抗力的机械性能的影响变化的工作大为简化了,并且,很多研究工作者已作出一系列有价值的类似图形。用机械性能来确定物质塑性状态,这是一个相当复杂的问题。首先是这些性能的种类很多,并且不知道其中那些性能是最主要和最典型的,这个问题到现在为止还没有最终的概念。诚然,最近有这样一个概念,即认为最能说明塑性状态特征的是:1)在拉伸试验时试棒折断后细颈的收缩,2)锻造时最大的压缩量,也就是在出现非肉眼能观察得到的第一批裂纹时的锻造程度,3)在扭曲试验情况下试样破坏时的相对变形。

此外,古布金^[42]提出这样一个原理,他认为,假使不考虑破坏方式,那么决定塑性状态的机械性能就不能使我们对这个状态有完整的概念。实际上,假使两个不同的试棒,在拉断后,其收缩率一样,譬如说等于5%,如果我们不注意破坏的性质,则这个数字还不能使我们对上述试棒的塑性变形具有最终的概念。假使一个试棒是韧性破坏的,而另一个是脆性破坏的,那么肯定地讲,这些试棒的塑性状态不一样,并且,在某一定的条件下,这个差别会影响到第一个及第二个试棒的机械性能不一样。因此建议^[43],为了能判断塑性状态,最好采用复合指数,既考虑到变形程度、又考虑到破坏方式。这个复合指数称之为可变形性(деформируемость)。

将可变形性作为塑性状态的指数,不仅有利于我们塑性方面的研究工作的完善,而且对于解决实际问题也有很大帮助,这些实际问题与各种材料塑性的评价及制定这些材料加工的合理工艺方案有关。

以塑性图及可变形性图为名的图解法,若将其引用到科学中去,则对于完善塑性物理-化学原理的研究方法具有很大的意义。塑性图是说明决定塑性状态的几个基本机械性能随温度变化的情况,而可变形性图则是说明可变形性随温度变化的情况。塑性图首先是由苏联科学院普通化学与无机化学研究所提出来的。同时第一组镁合金塑性图是由古布金及沙维茨基(Е. М. Савицкий)作出来的。随后,曾与古布金一起工作过的研究人员对类似的图形又作出巨大的工作,因而,在1953年能将«金属的可变形性»^[42]一书出版,在这本专题科学书中将近有140个类似的图形。可变形性图及塑性图能非常清晰地阐明化学成分对塑性状态的影响,同时还提供出一些指导

性的資料,以便研究塑性变形中所产生的并导致塑性状态变化的转变情况。塑性图及可变形性图有时还能指出提高塑性的途径来。

VI. 創立庫爾納可夫抗力温度定律,以及将温度对于机械性能(决定塑性状态的)变化影响的概念以图表方式应用到科学中去,这会給金属合金技术变形过程的规范及确定合理工艺方案的科学根据打下基础。

VII. 綜合研究化学成分、变形温度及变形速度的条件以及加载方式对物质机械性能的影响,这样能使我們掌握物质的机械性能,能使我們拟出一些方法,以便使掌握这一事实可以实现。

目前对提高物质的塑性已具有完全现实的途径,这样可将塑性变形作为一种改变形状、改变公认为脆性材料的性能的方法。这些成就使我們能以新的观点提出以下問題:低塑性材料(如鑄鉄)的压力加工問題,用于新技术中的特殊不易变形合金的塑性加工問題等。

VIII. 研究工作者收集了有关物质机械性能的实际資料,并且在塑性的物理-化学原理概念的基础上将上述性能进行了分析,因而有可能提出这样一个問題,就是得重新审查一下現有的变形方法,并提出新的变形方法来。

最近有这样一个比較坚定的概念,就是认为热变形应当以一次加载或以最少可能加载次数来完成。

目前已經实现了熔体結晶及塑性变形的复合过程,并且提出了在熔化温度附近进行体积模鍛的問題¹⁾。

利用較高的变形速度是为了将变形过程中所累积的位能释放出来,同时借助金属内部的发热(塑性变形功轉为热)来降低变形抗力,这种方法同样具有很大的发展前途。

不过要解决这些問題,只有利用塑性的物理-化学原理才能达到目的。举一个例子說,如何解决熔化温度附近的变形問題。这个問題与克服某些困难相关,如怎样消除周围介质以及晶粒周边的液相对于变形合金的影响。

IX. 塑性的物理-化学原理在很大的程度上,使我們对于产生在塑性变形下的接触摩擦的概念更加全面了。

假使現在还没有准确地將接触摩擦定律建立起来,但不管怎样,某些基本情况还是弄清楚了。这些情况說明,合理选择潤滑剂及研究接触面的物理-化学状态,能使摩擦的損耗变为最小。很显然,离这样一个时期已經不远了,就是在那时物质的塑性

1) 这种方法我們現在称之为半液体模鍛(полужидкая штамповка 或称半液体冲压)——譯者注。