

机械变形连接

—— 新型铆接与冲压连接技术

[德] 奥尔特温·哈恩 乌韦·克勒门斯 编著

杜菲娜 谭义明 译

Chemical Industry Press



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

机械变形连接

——新型铆接与冲压连接技术

[德] 奥尔特温·哈恩 乌韦·克勒门斯 编著

杜菲娜 谭义明 译



化学工业出版社

工业装备与信息工程出版中心

·北京·

(京) 新登字 039 号

图书在版编目(CIP)数据

机械变形连接——新型铆接与冲压连接技术/[德]哈恩(Ortwin Hahn), [德]克勒门斯(Uwe Klemens)编著; 杜菲娜, 谭义明译. —北京: 化学工业出版社, 2005.7

Fügen durch Umformen; Nieten und Durchsetzfügen—Innovative Verbindungsverfahren für die Praxis
ISBN 7-5025-7489-1

I. 机… II. ①哈…②克…③杜…④谭… III. ①机械元件-铆接②机械元件-冲压-连接技术 IV. TH13

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2005) 第 086147 号

Fügen durch Umformen; Nieten und Durchsetzfügen—Innovative Verbindungsverfahren für die Praxis/by Ortwin Hahn, Uwe Klemens.

ISBN 3-930621-56-8

Copyright © 1996 by Klemens. All rights reserved.

Authorized translation from the English language edition published by Verlag und Vertriebsgesellschaft mbH, Düsseldorf.

本书中文简体字版由 Ortwin Hahn 授权化学工业出版社独家出版发行。

未经许可, 不得以任何方式复制或抄袭本书的任何部分。

北京市版权局著作权合同登记号: 01-2005-3267

机械变形连接
——新型铆接与冲压连接技术

[德] 奥尔特温·哈恩
乌韦·克勒门斯 编著

杜菲娜 谭义明 译
责任编辑: 张兴辉 王清颖
责任校对: 王素芹
封面设计: 于兵

*
化学工业出版社 出版发行
工业装备与信息工程出版中心
(北京市朝阳区惠新里3号 邮政编码 100029)
购书咨询: (010)64982530
(010)64918013
购书传真: (010)64982630
http://www.cip.com.cn

*
新华书店北京发行所经销
北京云浩印刷有限责任公司印刷
三河市东柳装订厂装订
开本 720mm×1000mm 1/16 印张 7½ 字数 132 千字
2005年9月第1版 2005年9月北京第1次印刷
ISBN 7-5025-7489-1
定 价: 25.00 元

版权所有 违者必究
该书如有缺页、倒页、脱页者, 本社发行部负责退换

译者序

迄今为止我国还没有一本系统介绍机械变形连接的书。而这本书是欧洲乃至全世界第一部系统描述介绍多种机械变形连接技术的作品。从这本书中，人们可了解到除传统焊接连接技术之外又一新的、正处于积极开发应用阶段并具有显著特点的机械连接技术的状况，还可涉猎到这一系列连接技术发展的前沿。

随着人们对产品的经济性和环境的生态要求的不断提高，导致了人们在发展工艺技术时必然考虑到自然资源的保护和生产过程的优化，因此轻型结构越来越多地投入使用，这些都导致了新型材料和新型加工技术的不断问世和投入使用。而这本书正是基于这一前提编写的，书中所介绍的连接技术使得新型材料的使用、新型设计方案的实施以及实现一些高技术、高性能、利于环境保护和降低产品成本的想法成为可能，例如，汽车制造和飞机制造中为减轻重量、提高性能而推出的新型材料如铝镁合金和复合材料等的使用，这些材料和钢的连接以及彼此的连接，在制造工艺技术中采用传统的焊接工艺方法时一直存在着难以逾越或难以保证质量性能的问题，而本书所介绍的机械变形连接技术有效地解决了这个问题并且其接头具有优良的动态疲劳性能。

本书不仅内容丰富、资料翔实新颖，同时采用双色印刷的诸多插图还为读者对各种连接方法、概念、原理提供了感性认识，使人一目了然。本书对于多种多样应用的可能性以及所能达到较高的技术标准也附上了大量的应用实例。

为了做好这本书的翻译，译者做了大量的准备：除了学习相关的课程和做与课程有关的所有试验，还参加了多项有关课题的研究工作。翻译过程中除了经常到实验室通过实际操作对有些概念和原理进行验证、加深理解，还经常就有关问题与作者和同事进行讨论。尽管如此，错误仍在所难免，衷心祈盼有关专家不吝赐教，批评指正。

本书的翻译过程中，得到了帕德博恩大学材料与连接技术研究所各方面的大力支持，在此表示感谢。感谢本书的作者 Hahn 教授和 Klements 博士以及 Thomas Wiese 等同事和试验室的工作人员为本书的翻译和出版所做的一切。

热切希望这本书的出版能促进机械连接技术在我国普及使用，促进我国制造技术的进步和发展。

译者
2005年7月

前 言

随着人们对产品的经济性和环境的生态要求的不断提高，导致了人们在发展技术工艺时必然考虑到自然资源和生产过程的优化。基于这种关系，轻型结构越来越多地投入使用，对产品良性循环能力的要求越来越高，这些都导致了新型材料和先进的加工技术不断问世和投入使用。

不锈钢、带涂层钢板和复合材料的使用要求新的连接方法问世，以满足上述材料的连接。同时这些新材料和新结构的使用要求，使机械变形连接技术呈现了一个强烈的技术革新趋势。

这种机械变形连接技术的特点是能够不断地发展和具有良好的应用前景。特别是铆接和冲压连接方法体现了变形连接技术的多种类型，同时也要求不同的设备类型与之相适应。对于这种连接方法直到现在还没有一本描述其技术基本概况的书籍，而本书的目的则是向工程师、技师、工人介绍机械变形连接技术的基础知识。

本书除了介绍盲端铆钉和冲压自铆铆钉的不同形式外，还介绍了实心铆钉、半孔铆钉、空心铆钉以及封闭环螺栓等。除了板材和型材的连接外，本书还介绍了功能元件的应用，如盲端铆接螺母、盲端铆接螺栓、冲压螺母、冲压螺栓等。在冲压连接的不同加工形式中，对带有剪切和无剪切的一级和多级冲压连接进行了探讨。

本书同样对上述连接方法的过程和连接效果也进行了描述，如冲压自铆铆钉及冲压连接接头的强度等。对于多种多样应用的可能性以及实例和所能达到的较高技术标准状态本书也附上了大量的实例。铆钉连接技术和冲压连接技术将作为经济和技术上令人感兴趣的连接技术向使用者介绍，以使现有的已经开发的使用能够继续提高和发展，挖掘其更大的使用潜力。

本书由帕德博恩大学材料和连接技术连接所与杜塞尔多夫德国钢铁应用研究协会（FOSTA）共同完成，经过《未来铆钉连接系统》丛书的作者及相关人员及帕德博恩大学材料和连接技术研究所的同意，本书部分引用了《未来铆钉连接系统》的图文资料，在此一并致谢。

钢材应用研究协会出版社

内 容 提 要

机械变形连接是一种新型、节能、环保、大有应用前景的连接技术。本书采用双色印刷，并辅以大量实例，生动、系统地阐述了多种新型铆接和冲压连接的特点、生产过程、连接形式、元件结构、材料组合、设备及应用实例等内容。

本书由具有中德两国多年工作经验的译者根据国内机械连接领域情况推荐。本书是德国机械连接技术领域最基础又相对介绍最全的专著。在德国本书被研究领域和工业界的技术人员作为主要的技术参考书，同时也是被作为教材使用。本书可供机械制造行业，特别是精密机械、汽车、航天制造等行业科研及技术人员使用，也可供相关专业大专院校师生参考。

目 录

1 序言	1
1.1 基本概念	1
1.2 变形连接技术与其他连接技术的不同	5
2 盲端铆接	7
2.1 概念	7
2.2 盲端铆钉铆接过程	7
2.3 铆钉的材料组合	8
2.4 系统的选择	8
2.5 盲端铆接的连接形式	9
2.5.1 标准盲端铆钉铆接	9
2.5.2 适用于多层板连接的盲端铆钉铆接	9
2.5.3 密封型盲端铆钉铆接	9
2.5.4 开张型盲端铆钉铆接	10
2.5.5 压板型盲端铆钉铆接	10
2.5.6 高强度盲端铆钉铆接	11
2.5.7 拉拔型盲端铆钉铆接	12
2.5.8 敲击型盲端铆钉铆接	12
2.6 加工设备	12
2.7 应用	14
2.7.1 优点与特征	14
2.7.2 应用	14
3 实心铆接、半孔铆接、空心铆接；封闭环螺栓连接	16
3.1 概念	16
3.2 铆接过程	16
3.2.1 实心铆钉、半孔铆钉、空心铆钉的连接	16
3.2.2 封闭环螺栓连接	17
3.3 连接元件所使用的材料	17

3.4	系统的选择	18
3.5	铆接形式	19
3.5.1	实心铆钉	19
3.5.2	半孔铆钉	19
3.5.3	空心铆钉	19
3.5.4	封闭环螺栓	19
3.6	加工设备	21
3.7	应用	21
3.7.1	优点与特征	21
3.7.2	应用	21
4	冲压自铆铆接	24
4.1	概念	24
4.2	冲压和铆接过程	24
4.2.1	实心冲压自铆铆钉铆接	24
4.2.2	半孔冲压自铆铆钉铆接	25
4.3	铆钉可能使用的材料	25
4.4	铆接机系统的选择	26
4.5	冲压自铆连接形式	26
4.5.1	实心冲压自铆铆钉	26
4.5.2	半孔冲压自铆铆钉	27
4.6	加工设备	27
4.7	应用	27
4.7.1	优点与特征	27
4.7.2	应用	28
5	盲端铆接螺母、螺栓	30
5.1	概念	30
5.2	铆接过程	30
5.2.1	盲端铆接螺母的连接	30
5.2.2	盲端铆接螺栓的连接	31
5.3	盲端铆接螺母、盲端铆接螺栓可使用的材料	31
5.4	工作系统的选择	31
5.5	盲端铆接螺母和盲端铆接螺栓的连接形式	32
5.5.1	标准盲端铆接螺母	32

5.5.2	密封型盲端铆接螺母	33
5.5.3	盖板式盲端铆接螺母	33
5.5.4	可拆卸盲端铆接螺母	33
5.5.5	盲端铆接螺栓	33
5.6	加工设备	34
5.7	应用	35
5.7.1	优点与特征	35
5.7.2	应用	36
6	铆接螺母、铆接螺栓	37
6.1	概念	37
6.2	铆接过程	37
6.2.1	铆接螺母的铆接	37
6.2.2	铆接螺栓的铆接	38
6.3	铆接螺母和铆接螺栓可使用的材料	38
6.4	加工系统的选择	38
6.5	铆接螺母和铆接螺栓的形式	39
6.5.1	齿痕铆接螺母	39
6.5.2	孔夹紧式铆接螺母	39
6.5.3	挤压铆接螺母	40
6.5.4	铆接螺栓	40
6.5.5	挤压铆接螺栓	40
6.6	加工设备	41
6.7	应用	42
6.7.1	优点与特征	42
6.7.2	应用	43
7	冲压螺母和冲压螺栓	44
7.1	概念	44
7.2	冲压螺母连接过程	44
7.2.1	一级冲压螺母连接过程	44
7.2.2	二级冲压螺母连接过程	45
7.2.3	冲压螺栓的连接	46
7.3	连接元件所使用的材料	47
7.4	加工系统的选择	47

7.5	冲压螺母和冲压螺栓的形式	47
7.5.1	方形冲压螺母	47
7.5.2	圆形冲压螺母	48
7.5.3	圆肩形冲压螺母	49
7.5.4	冲压螺栓	49
7.6	加工设备	49
7.7	应用	49
7.7.1	优点与特征	49
7.7.2	应用	49
8	冲压连接	52
8.1	概念	52
8.2	连接过程	52
8.2.1	一级无剪切冲压连接	52
8.2.2	一级剪切冲压连接	53
8.3	连接工件可能使用的材料	54
8.4	系统选择	55
8.5	一级冲压连接形式	56
8.5.1	圆形连接接头一级无剪切冲压连接	56
8.5.2	方形连接接头一级单层剪切冲压连接	57
8.5.3	方形连接接头一级剪切冲压连接	58
8.5.4	特殊形状接头一级剪切冲压连接	58
8.5.5	双连接接头一级冲压连接	58
8.5.6	平连接接头一级冲压连接	59
8.5.7	带有预制孔的一级冲压连接	59
8.6	加工设备	60
8.7	应用	64
8.7.1	优点与特征	64
8.7.2	应用	65
9	多级冲压连接	67
9.1	概念	67
9.2	连接过程	67
9.2.1	多级无剪切冲压连接	67
9.2.2	多级剪切冲压连接	68

9.3	可能连接的材料	69
9.4	工作系统的选择	69
9.5	多级冲压连接形式	69
9.5.1	多级无剪切圆形接头的冲压连接	70
9.5.2	多级剪切方形接头的冲压连接	70
9.5.3	特殊形状多级剪切冲压连接	70
9.5.4	多级平点连接接头冲压连接	71
9.6	加工设备	72
9.7	应用	73
9.7.1	优点与特征	73
9.7.2	应用	73
10	变形技术连接方法的质量保证	74
10.1	引言	74
10.2	变形连接技术接头的质量	74
10.3	破坏性检查	74
10.4	通过生产过程中数据采集而使用的质量保证方法	75
11	冲压自铆铆钉连接和冲压连接接头的强度性能	78
11.1	概况	78
11.2	静态负荷下的试验结果	80
11.3	动态负荷下的试验结果	87
12	应用实例	90
附录 1	本书相关信息	100
附录 2	名词术语德汉对照	106
参考文献		108

1 序言

1.1 基本概念

手工业界和工业界普遍存在着材料互相连接的技术问题。因此比较全面地拥有制造过程的知识，并根据工件的作用和要求使用这些知识来经济地、可靠地解决连接技术的任务有着重要的意义。

根据 DIN 8580，这种完成使不同零部件结合在一起的制造过程即连接过程归属于“连接”概念下的第四类制造方式，对于连接可简单的理解为：两个或多个工件连接使其成为固定的几何形状。

通过连接完成了使不同的工件成为一体的过程。这种制造行为和广泛的定义是相符合的，考虑到其“连接方式”和“连接制造的方式”，根据 DIN 8593 并按照它们不同的特点，制造过程可被概括归入不同的单独标准（见图 1-1）。

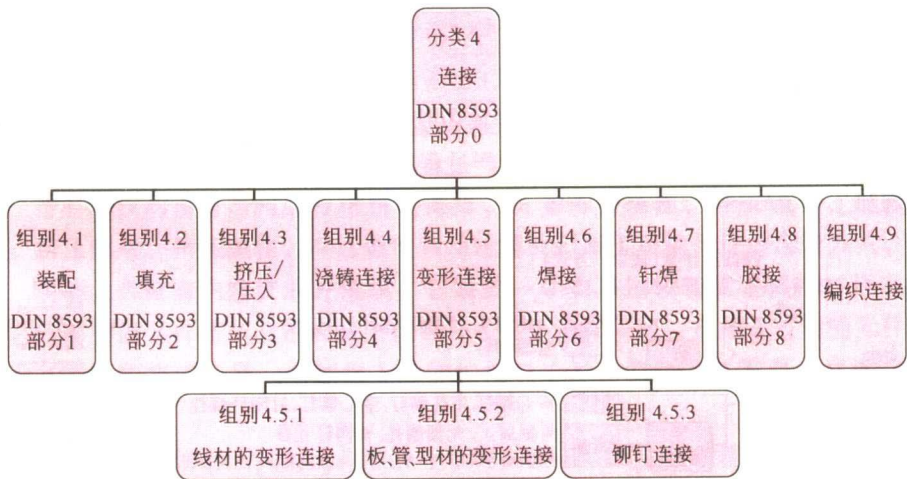


图 1-1 德国工业标准 DIN 8593 系列中的铆钉连接和变形连接技术分类

对于这样的连接，人们称其接头的封闭方式为形状和力的封闭以及材料封闭。

这种被连接工件（被连接部分）或协助元件（协助连接部分）局部或全部变形的加工行为被归入 DIN 标准中变形连接的 4.5 组。

按照 DIN 8593 的 4.5 组别，变形连接是被连接工件（被连接部分）或协助元件（协助连接部分）局部或全部变形的加工方式的一个总的名称。供变形的力可以是机械的、液压的、电磁的或其他方式。总的来说，这种形状封闭的连接是可靠的。人们还进一步把变形连接划分为以下种类：线材的变形连接，板、管、型材的变形连接（该组详细分类见图 1-2）和铆钉连接（简称铆接）。严格按照技术状态来说，这个标准在系统上是不全面的，使人们不能由此全面地了解变形技术的现实发展和实际应用的区别。这个标准适应于铆接和板、型、管材的变形连接，尤其是适应于冲压连接。



图 1-2 德国工业标准 DIN 8593 中的 4.5.2 组详细分类

对于铆接系列的差别和界线如图 1-3 所示，图 1-3 中一方面划定了铆钉元件连接和功能元件连接的不同，另一方面也区别了铆接系列所必需的一些前提条件，如备有预制孔或无预制孔以及生产过程的加工方位如从工件的一侧加工或从两侧加工等。

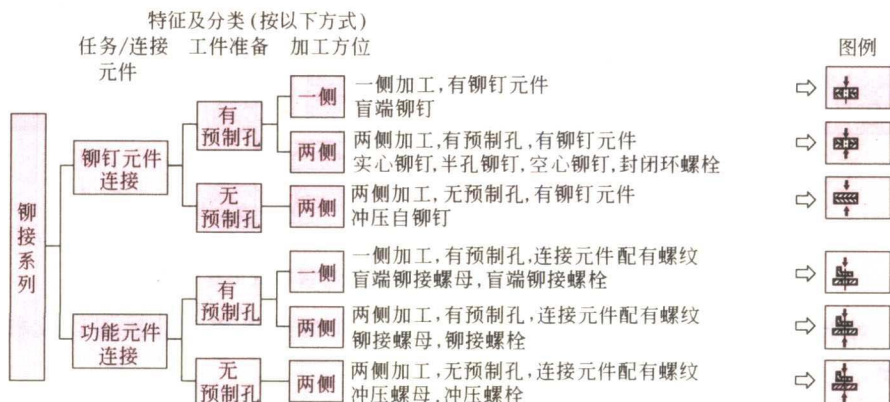


图 1-3 铆接系列示意

铆接系列选择见表 1-1。归属于铆钉元件连接方式的有盲端铆钉系列、实心铆钉系列、半孔铆钉系列、空心铆钉系列和封闭环螺栓以及实心和半孔冲压自铆铆钉系列。

表 1-1 铆接系列选择

连接方式	铆钉元件连接			功能元件连接		
	盲端铆钉	实心铆钉, 半孔铆钉, 空心铆钉和封闭环螺栓	冲压自铆铆钉	盲端铆接螺母盲端铆接螺栓	铆接螺母铆接螺栓	冲压螺母冲压螺栓
部分性能特征						
与其他部件螺纹连接	○	○	○	●	●	●
要求预制孔	●	●	○	●	●	○
两侧加工	○	●	●	○	●	●
工件两侧平连接点	○	○	◐	○	○	○
要求工件表面清洁	○	○	○	○	○	○
连接件	相同的金属材料	●	●	●	●	●
	不同的金属材料	●	●	●	●	●
	金属/复合材料	●	●	◐	●	●
	金属/塑料	●	●	◐	●	●
	带有金属涂层的金属	●	●	●	●	●
	有机/无机涂层金属	●	●	●	●	●

注：●—是；◐—部分限制；○—不。

带有螺纹的铆钉系列如盲端铆接螺母、盲端铆接螺栓、铆接螺母、铆接螺栓、挤压螺母、挤压螺栓、冲压螺母和冲压螺栓归属于功能元件的连接方式。

功能元件配有内螺纹或外螺纹，它通过一个变形过程与被连接板材压在一起，或者功能元件挤压变形和被连接部件互相连接在一起，这样通过功能元件的螺纹还可以再完成与另一个薄板上的螺纹接口连接，而且并不需要太高的生产费用。

连接任务中铆钉系列的选择取决于不同的要求，比如连接部件的材料，连接部件的几何形状，静态和动态的强度要求以及作用和功能。除了铆钉元件和功能元件的选择之外，生产技术的要求比如动力消耗和节拍时间也要相协调。

与其他的变形连接技术和焊接技术相比较，冲压连接不需要连接元件（附加连接部件如铆钉）和附加材料（如熔剂）。

在冲压连接的方式中，通过局部的没有热作用影响的塑性变形产生了一个形状和力封闭的连接，这时力和形状封闭形式的连接部件处于被拉紧的状态。这种

连接不仅拥有因形状封闭力传递性能好的特点，而且由力封闭附加地产生了无间隙连接。

以下两个方面对于可靠的和重复生产的冲压连接起着决定性的作用。一方面是工装的选择，它取决于所使用的材料和被连接部件的几何形状；另一方面是选择合适的紧固件和顶料件，以保证在连接前后被连接部件在设备上的固紧和松开，同时还必须注意到和设备连接部分工装的安装。冲压连接的承载行为除了取决于被连接部件的表面状态外，首先取决于连接元件的几何形状，其相对于负荷方向的几何位置以及负荷的性质。

按照冲压连接的加工过程还可分为一级或多级冲压连接（见图 1-4，表 1-2）。其加工过程或者是连续的或者是分步骤的，即在一个接着一个的、移动的工装部件的作用下进行的。对加工过程的进一步划分则是关系到在生产过程中是否带有剪切部分。

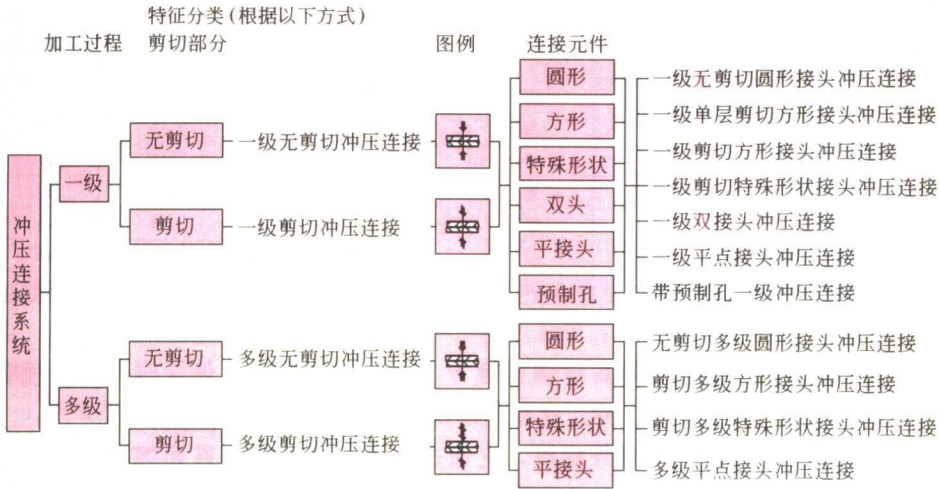


图 1-4 冲压连接系列示意

带有剪切的冲压连接的生产过程也有一级和多级之分，其连接部件也可能是板、管或型材，连接过程是：剪切被连接工件（剪切的部分仍然和工件连在一起）并随后锻铆。剪切和冲压过程限制了这样一个连接范围，在这个范围内被剪切并和原始工件保持连接的材料被挤压流动出来并被锻铆，如此通过这部分材料的变形而形成了一个形状封闭的接头，到过程结束时力的封闭和形状封闭形成叠加。

无剪切的冲压连接的生产过程也有一级和多级之分，其工件也可能是板、管或型材，其连接过程是：通过压力被连接工件的局部变形并随后被锻铆，这样通过材料的流动和挤压形成了一个力和形状封闭的连接。

表 1-2 冲压连接系列选择

连接方式		冲压连接			
		一级冲压连接		多级冲压连接	
		一级无剪切冲压连接	一级剪切冲压连接	多级无剪切冲压连接	多级剪切冲压连接
部分性能特征					
要求预制孔		○	○	○	○
两侧加工		●	●	●	●
实现工件两侧平连接点		●	○	●	○
要求工件表面清洁		◐	◐	◐	◐
连接件	相同的金属材料	●	●	●	●
	不同的金属材料	●	●	●	●
	金属/复合材料	●	●	●	●
	金属/塑料	●	●	●	●
	带有金属涂层的金属材料	●	●	●	●
	带有有机或无机涂层金属材料	●	●	●	●

注：●—是；◐—部分限制；○—不。

单个的冲压连接方法还可通过所使用的工装和所形成的连接元件来做进一步的特征描述。

1.2 变形连接技术与其他连接技术的不同

纵观历史，机械变形连接技术已经有着悠久的历史 and 传统，这个传统应当平行追溯到早期金属的开采和加工。

直到 20 世纪初，这个来自“通过变形连接”类的特别的加工方式对于金属连接一直占有统治地位。随着电焊技术的发展，变形连接技术的重要性相对降低了，虽然它的技术意义和使用范围不断增加。

在近些年里，随着新材料、新结构的使用以及人们环境保护意识的不断加强，人们对机械变形连接重要意义的认识逐渐深入。其原因取决于两个方面，一方面是生态的和经济的边界条件的变化；另一方面是在近些年里机械变形连接技术也通过人们的不懈努力得到了长足发展，而且这种技术在很多领域里和电阻焊方法比较，能够更好地利用其材料的性能特别是对于高强度的材料，可以进行电阻点焊不能进行的连接。

机械变形连接技术与其他连接和焊接方法相比较，一方面在经济性、过程的可靠性和这种方法使用的可能性等方面已达到较高的标准；另一方面也具有性能的可靠性，连接元件在短期的或长期的负荷下具有很好的力学性能。

这个解释也适合于铆接连接和冲压连接，使用这两种技术对于多种多样的精确的系统、对于关系到被连接材料和构件的性能等的繁多要求都是可实现的。而这些是其他连接方法通常不能实现的。虽然用焊接也同样可以通过点的加热生产点状的连接接头，但这类连接方法相对焊接具有明显的区别。

铆接连接和冲压连接与电阻点焊和凸焊相比较有以下优点。

- ① 可以实现多种不同的材料的组合连接。
- ② 可以进行带有涂层的材料（金属涂层、有机涂层和无机涂层）的连接。
- ③ 可实现中间层是非金属层的连接。
- ④ 生产过程可以进行控制。
- ⑤ 经济投资和生产成本相对较低。
- ⑥ 工装所能达到的工作空间较大。
- ⑦ 在一定的范围内，接头性能可无损检测。
- ⑧ 连接材料表面状态对过程可靠性的影响是可以忽略的。
- ⑨ 在连接过程中不会产生明显的热量，因此也不会产生由于热量引起的材料性能的变化，也不会出现由于热而引起的工件变形。
- ⑩ 操作非常简单。
- ⑪ 加工过程容易实现自动化并且可与其他的生产过程（如装配过程）集成一体化工作。
- ⑫ 生产过程不会产生有损健康的烟雾和气体。
- ⑬ 生产过程的噪声小。
- ⑭ 没有提前准备的工作和后续处理工作，比如不需要清理飞溅物。
- ⑮ 铆钉元件还可按照加工要求来继续和其他的功能元件连接。

人们用铆接连接、冲压连接和其他生产中常用的连接方法相比较时，不是把它们看作互相竞争而是作为互补组合来使用，从而达到两种技术的优点互相利用、现存的缺点相互弥补的目的。

特别是在胶接技术和机械变形连接技术的组合方面，这个互相取长补短的作用表现得很突出。胶接技术的缺点是胶接材料凝固时间长，期间要求长时间并成本较高的工件固定。但在板材胶接之后就进行铆钉连接和冲压连接时，这个连接接头可在生产过程进行之后直接承受负荷。

在连接技术问题上寻找经济的解决途径时，考虑到技术和经济的观点并从所要求的工件的功能作用出发，则可发现不同的铆接连接和冲压连接的方法体系中具有很大使用可能性，同时也被证明它们具有明显的优点，这些优点和其他单一的连接方法如胶接和钎焊组合使用后也被验证。