

QICHE XIULI GONGYIXUE

汽车修理工艺学

〔苏〕Л.В.杰赫捷林斯基 主编

赵俊臣译

人民交通出版社

QICHE XIULI GONGYIXUE

汽车修理工艺学

〔苏〕Л.В.杰赫捷林斯基 主编

赵俊臣译

人民交通出版社

内 容 简 介

本书从修理对象的损坏形式入手,揭示破坏过程的物理实质,分析失效的原因,找出提高汽车可靠性的措施,阐述各种修复工艺方法和典型件的修理,提供修理效益的理论基础和修理质量管理的科学原理。此外,对工艺规程的设计也作了深入探讨,对汽车大修后的实验数据处理给出了具体的计算方法和步骤,并以吉尔-130汽车发动机的实验数据处理为实例,作了全面的介绍。

本书可供有关大专院校、科研单位和维修单位在教学、科研和维修中参考。

ТЕХНОЛОГИЯ РЕМОНТА

АВТОМОБИЛЕЙ

Л.В.ДЕХТЕРИНСКИЙ, В.П.АПСИН,

Г.Н.ДОЦЕНКО, В.П.КРЮКОВ,

С.И.РУМЯНЦЕВ, А.Ф.СИНЕЛЬНИКОВ

«ТРАНСПОРТ», 1979

汽车修理工艺学

[苏]Л.В.杰赫捷林斯基 主编

赵俊臣 译

人民交通出版社出版

新华书店北京发行所发行

各地新华书店经售

人民交通出版社印刷厂印

开本: 850×1168 $\frac{1}{2}$ 印张: 12.125 字数: 318千

1986年7月 第1版

1986年7月 第1版 第1次印刷

印数: 0001—11,650 册 定价: 3.10 元

目 录

绪言	1
第一章 修理对象、修理工艺和修理效益的特征	4
1.1 决定汽车、总成和零件质量的主要性能	4
1.2 决定汽车质量的主要工艺指标	14
1.3 可靠性指标与工艺性指标间相互关系的 确定方法	23
1.4 汽车性能的恢复方法	36
第二章 汽车修理效益的理论基础	47
2.1 修理生产的经济效益的来源	47
2.2 汽车大修经济适宜性的论证方法	56
2.3 汽车修理工艺的经济效益的评价	60
2.4 工艺先进性和现用设备先进性的评价	66
2.5 零件修理工艺有效期的论证	73
2.6 提高现用设备生产率的主要工艺方法	80
第三章 修理质量及其管理的科学原理	87
3.1 修理质量和其管理系统	87
3.2 修理质量指标的优化	96
3.3 提高修理产品耐用性能的工艺方法	99
3.4 装配单元允许误差的确定方法	103
3.5 零件允许误差及其极限尺寸的确定	110
3.6 汽车修理中的接收检验	116
3.7 送修零件的检验方法和手段	123
3.8 汽车修理生产工艺规程的统计调整	127
3.9 质量的统计验收检查	136
3.10 统计检验方法的经济效益	142

3.11	按工艺指标值对汽车和总成修理质量的预测·····	144
3.12	对工作人员提高修理质量的奖励·····	153
第四章	零件修复的工艺方法·····	165
4.1	塑性变形·····	165
4.2	焊接和堆焊·····	172
4.3	金属喷涂·····	190
4.4	电镀和化学镀·····	205
4.5	合成材料的采用·····	219
4.6	机械加工法和电物理加工法·····	224
第五章	零件修复工艺规程的设计·····	234
5.1	原始资料·····	234
5.2	零件修复工艺路线的构制原则·····	241
5.3	零件修复工艺路线的制订·····	250
5.4	零件修复工艺规程的典型化·····	257
5.5	零件修复工艺规程的设计自动化·····	265
第六章	汽车车架、车身和典型零件的修复工艺规程·····	271
6.1	轴类零件的修复·····	271
6.2	壳体零件的修复·····	281
6.3	车架的修复·····	288
6.4	车身和驾驶室的修复·····	292
第七章	科学研究作为汽车修理工艺学领域中科技进展的 促进因素·····	321
7.1	基本概念和定义·····	321
7.2	优化参数、诸因素及其变异水平的选择·····	325
7.3	研究对象数学模型的建立·····	329
7.4	诸因素的验前排列·····	332
7.5	因素的实验筛选法·····	338
7.6	全因素实验和分数重复·····	349
7.7	最优解法的探索·····	362
7.8	用被动实验法对过程和系统的研究·····	366

绪 言

汽车运输占据客货运总量中的主导地位。汽车的生产正以突飞猛进的速度增长。但是，尽管如此，对汽车的需求量还是非常可观。为了保障客货运的高速增长，正利用一切潜力来扩大汽车的保有量，其中的办法之一是大批量地对轿车、载货汽车和公共汽车进行大修。每年都有 百万辆的汽车进行大修，正是依靠这种办法才大大降低了汽车的短缺额，提高汽车的现有保有量。因此，汽车修理业是汽车制造业的必要补充。

早在三十年代，莫斯科汽车公路学院的一组科学研究人员，在B.B.叶弗列莫夫教授领导下，就通过实验确定出了：机器修理是使其在规定的使用期限内保持工作状况的客观需要，而且修理作业量取决于使用的持续时间长短。在汽车的长时期使用下，一定会出现这么一个时刻，即汽车的工作可靠性水平将降低到在使用单位条件下进行修复在经济上不合算，从而需要在修理企业里进行大修这样一种地步。过去曾拟制了一套汽车技术维修的制度，它的科学基础是如下的客观情况：无论汽车结构多么完善，在投入使用后，由于其组成部件的寿命有差异，所以先后出现毛病，这样就势必要进行修理。

在全国各地建立起的大量修理厂和各种修理企业网点，担负着修理各种汽车的任务。尽管汽车修理职工们作出了巨大的成绩，然而还存在很大的尚未被加以利用的、能够提高大修效益的潜在能力。

提高汽车大修效益的潜力如得以发挥，将保证汽车修理生产工艺和组织的进一步改善，汽车工业对修理厂技术水平的提高、对典型零件修复工艺的制订和对工艺流程自动化的研制就能起到越来越大的影响。这些任务的顺利解决在许多方面将取决于修理

生产的全体职工，而且首先是技术人员们的素质和所采取的办法。因此，本课程《汽车修理工艺学》的主要任务是形成足以能设计现代修理工艺规程的技术知识；进行必要的工艺研究，以确定最佳的加工规范和最高的劳动生产率；组织修理过程中的检验和控制修理质量。汽车修理工艺学是一门综合性的科学课程，它运用着机械制造工艺学、金属工艺学、金相学、热处理、质量学、生产经济和组织、生产过程与辅助过程的自动化、可靠性和机器老化理论、汽车理论与其使用性能、系统工程和控制论、检验与管理理论等诸方面的基本原理。除此之外，汽车修理生产与汽车制造生产不同的特点，在于需要拟订出一些个别的方法来研究各种现象和各种过程的规律。这些个别的研究方法的总体就构成了汽车修理理论的基础。

探讨以最低的社会耗费来保质保量地进行修理前准备、零件修理和汽车装配等等规律性的学科，称为汽车修理工艺学。

在形成本学科中，苏联的一些学者，诸如В.В.叶弗列莫夫、В.И.卡扎尔采夫、К.Т.科什金、А.И.谢利凡诺夫、И.С.列维茨基、Г.И.泽连科夫、М.П.麦尔科夫、В.А.沙德里切夫、М.А.马辛诺、П.Н.沃尔科夫、В.С.克拉马罗夫、Н.Н.马斯洛夫、А.М.申宁等教授和其他一些学者都作出了巨大的贡献。

在编写本教科书时还利用了苏联一些学者，诸如Н.Г.勃鲁耶维奇院士、Г.А.沙乌缅、Д.П.维利坎诺维、Н.А.鲍罗达切维、В.С.巴拉克申内、А.И.亚库舍维、И.В.克拉格利斯基、В.М.科凡、А.С.普罗尼科维、В.С.科尔萨科维教授和其他一些学者所提出的某些理论。

本书系按1609“汽车和汽车管理”专业所批准的教学大纲的统一构思来安排和编写的。参加本书编写的人员有：Л.В.杰赫捷林斯基（绪言、第一章、第二章、第七章，第三章的第四节、第五节和第十二节系与В.П.阿普辛合写）；В.П.阿普辛（第三章第一、二、三和十一节）；В.П.克柳科夫（第三章第六、七、八、九、十节和第五章）；С.И.鲁缅采夫（第四章）；Г.Н.多

增科（第六章的第一、二、三节）；A.Φ.西涅利尼科夫（第六章的第四节）。

作者们热切希望听取旨在改善本书内容的一切指教和意见。

第一章 修理对象、修理工艺和 修理效益的特征

1.1 决定汽车、总成和零件 质量的主要性能

汽车，如同其它机器一样，用来满足社会的一定需要，这就决定了汽车的用途。为了使汽车能够完成本身的使命，必须在它的生产之前就明确其所承担的任务，并应尽一切可能精确地列出其应满足的要求。

对汽车的各项要求，在相应的国家标准中，均有所规定；而各项标准的制订，又是以汽车使用经验的研究与社会进展的考虑、本国经济增长、款式和结构美学的发展、汽车的工艺性和适修性为基础的。非常明显，对汽车的要求是极其庞杂的，在设计 and 生产过程中，将其物化就形成汽车的各种性能，而后者决定着汽车在使用中能在多大程度上满足社会的需要。

汽车性能应理解为它在研制、使用和修理中所显示出的客观特点。

汽车质量系指按其用途为满足一定要求所提出来的性能总合。

汽车是一个复杂的技术系统，系由一系列子系统（总成）和元件（零件）集合组成，并由许多的性能来表征。汽车的性能及其特征不仅是从事设计和生产领域中的，而且也是搞修理与使用专业的工程师们的详细研究课题。诸知汽车性能、善于评价性能、改善性能、并使性能在汽车的不同阶段皆能保持在所要求的水平上，就能够保障最有成效地运用汽车和比较全面地满足社会

的运输需要。在研究汽车性能时，不应只注重使用性能，而且也要关心其它性能，因为各个性能都在不同程度上影响着汽车质量。在研究表征汽车使用特长的诸性能同时，对汽车性能发展的科学预测方法也应给予全面的研究、分析和开发。

有鉴于此，最好将汽车的全部性能按其相近性划分为不同组别，诸如：保证汽车行驶和行驶安全的；保证载重量和装卸适应性的；保证制造工艺性和生产率的；保证燃油经济性、可靠性、技术美学和人体工程学的；保证汽车及其元器件专利权保护法的；保证节约汽车制造、使用和修理资金的，以及标准化所担保的诸性能等等。将汽车性能划分成数个组别，带有约定性质，因为汽车的全部性能处于复杂或经常发生矛盾的关系之中。此外，在分析某一具体性能时，常常又会产生它能够被进一步分解成数个更原始的组成部分。

从事修理生产领域中的工程师们，首先应该深入研究那些要在修理中必须形成的汽车性能。

这种必要性可以用如下情况来加以证实：

——在研究汽车使用过程中各种性能变化动态的基础上，可以制订汽车某些定量指标的预测方法；在优化各指标变化的允许界限和性能恢复水平上，都可能要利用这些定量指标；

——在针对汽车和其元器件的适修性而深入研究结构潜在能力的基础上，可以使全套修复工作的费用减至最低；

——在汽车修理质量的客观评价方法和汽车修理企业科学质量管理方法的基础上，可以更合理地利用能提高社会生产效益的潜力。

在汽车的许多性能之中，决定汽车、总成和零件可靠性的性能占有特殊地位。汽车的各项性能在按其用途、且在受到各种因素的作用下，于完成有效工作中显示出来；汽车的各项性能在其它一些状况下，诸如它处于技术保养、修理、或处于待用保管时，亦能显示出来。比如说，使用汽车时，诸元器件要经常遭到破坏过程的种种作用。

元器件所具有的能抗破坏过程有害作用的性能构成汽车耐用性和无故障性的局部性能（图1.1）。为了高质量地修理汽车，首先必须了解破坏过程的物理实质和元件材料在与固体、液体及气体相互作用下损坏的主要不同形式。

对使用中的汽车零件进行观察就能够区分出零件如下的主要损伤和材料的破坏：磨损、变形、破裂、锈蚀、浸蚀、气蚀等等。

下面我们介绍一下这些过程的实质，并探讨汽车零件材料主要破坏形式的特点。

磨损是摩擦副相互作用结果的表现。由于摩擦表面存在波纹度和粗糙度，所以当两表面发生相互作用时，形成接触斑点。包括覆盖层在内的凸起点和覆盖层下面的金属均参与到接触斑点之内。当一个表面相对另一个表面移动时，产生接触点的熔结和撕裂，而接触点下方的金属明显变形。

当摩擦表面相互作用时，在法向力和切向力共同作用下所形成的和瞬时消逝的接触斑点，称为摩擦耦合。

摩擦材料的表面薄层主要是在变形及其引起的材料温度升高作用下变化的。材料表面与周围介质的物理与化学相互作用也同样产生表层变化；变化结果就导致了材料强度的降低，材料受其它元素的扩散饱和，以及材料被空气中的氧气所氧化。

摩擦过程的结果是在摩擦区内形成新的与原先性能不同的材料。

摩擦具有分子与机械双重性的本质，这来源于材料表面薄层的变形和摩擦表面贴合区段间所产生的分子间耦合关系（冷粘附）的破裂。

И.В.克拉格里斯基教授区分出五种摩擦耦合的破坏形式（图1.2）。形式1至3是机械咬合相互作用的结果；后边的两种形式4和5为分子相互作用的结果。视吸附作用力的大小和凹凸不平处嵌入深度 h 与半径 R 之比，可能会产生如下现象：1.金属的弹性挤压；2.金属的塑性挤压；3.嵌入的凸起金属撕裂；4.表面

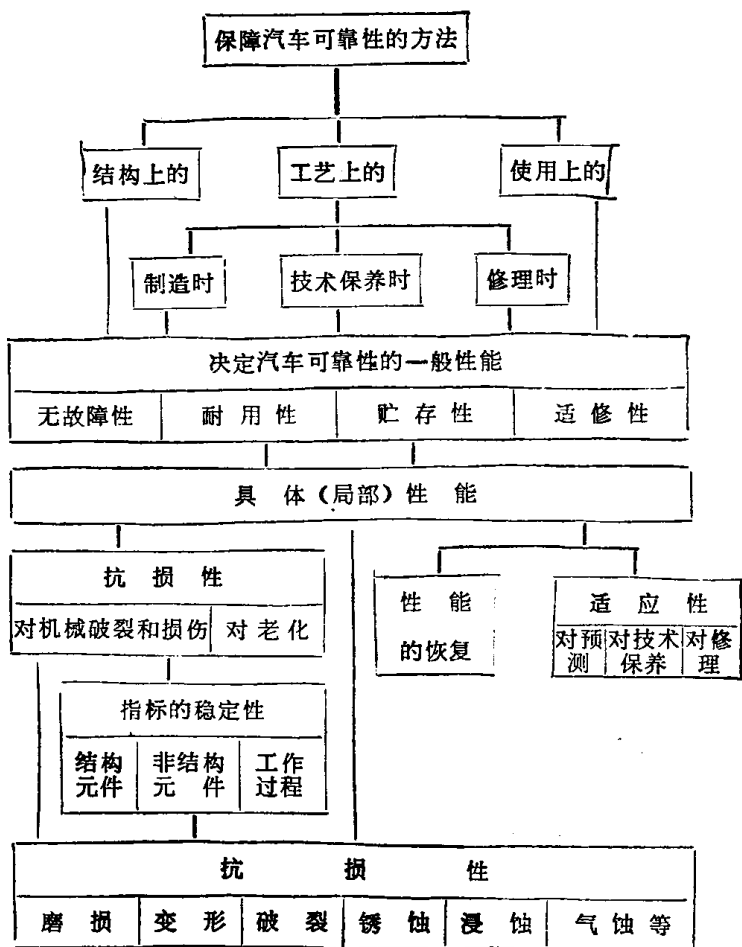


图1.1 局部性能构成图

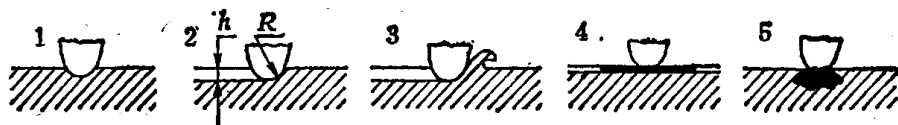


图1.2 摩擦耦合的破坏形式

薄层的粘附及其破裂；5.表面的全部粘附和相继的基体金属的深度扯开。摩擦耦合由一种形式的破坏转变到另一种形式的破坏，取决于摩擦表面的温度、分子间的相互作用力、凹凸不平面相互

嵌入的深度（将影响到两表面机械相互作用的性质）、金属的物理机械性能和摩擦表面的微观起伏。

金属的弹性挤压。它是在摩擦表面个别微观不平处，承担载荷引起弹性变形所造成的。微观不平处首先弹性变形，而在载荷进一步增加时，变为塑性变形，从而引起金属的塑性挤压。金属表层在塑性变形下受到强化，微观不平处被压平。表面再次负载，只有在更大的载荷下，才会引起微观不平处的塑性变形。在多次重复的变形下，在金属表层中开始形成条状组织，后来在利用全部滑动面之后，这一层的金属进入冷作硬化状态，出现脆性。在摩擦力的作用下，在表层中产生多次的拉伸应力，从而导致在表面上形成微观裂缝，它再进一步地扩展，就引起一些碎块从薄薄的强化脆性层上剥落，这些碎块就成了导致磨损的微粒。

微观磨削（见图1.2中摩擦耦合破坏形式3）发生在如下的情况下，即在摩擦表面上有磨料硬颗粒、或磨损的微粒、或嵌入深度为 0.2 至 $0.3R$ 的接触凸出点。

摩擦耦合形式4和5的破坏（图1.2），取决于表层强度与基体金属强度之比、以及金属表层的应力状况。摩擦耦合形式4的破坏，发生在表层强度低于基体金属强度的情况下；而如果表层强度高于基体金属的强度时，就会出现形式5的破坏。由此可见，从表层粘附转变到与基体金属粘附，并与之相继而来的金属深度撕扯，完全决定于表层强度与基体金属强度之比，即依赖于随表层加深而机械性能递减率。

依据上述情况可以作出如下结论：在摩擦中（伴随出现表面材料的脱落）和在永久变形中，物体尺寸不断变化的过程称为磨损。

汽车零件磨损的主要原因是零件表层在弹性变形下出现疲劳和在多次塑性变形下出现薄脆层。因此，耐磨性能的最重要指标之一是表层抗重复变形的能力。

零件表面的磨损量取决于外界因素的影响，诸如：压力、施加载荷的性质、两摩擦物体相对移动速度和加速度、温度规范、

表面不平处和摩擦表面的形状与尺寸、润滑油的供给方法、润滑油的质量与数量、接触部位是否有磨料、磨损碎屑是否从摩擦区内清除干净等等。在外界因素（例如，滑动速度、载荷、温度）变化下，摩擦副金属的初始性质亦随之变化，而且外部介质的变化和摩擦表面的状况决定着干摩擦、边界摩擦和液体摩擦。在液体摩擦下，如果其它条件相同时，磨损量是最低的（与边界摩擦和干摩擦下相比较）。外界因素对汽车零件磨损量的影响研究得比较深透，许多具体的数据在专门书籍中皆有记载。

在评价这个因素或那个因素对零件的磨损量时，应该考虑到该因素所引起摩擦耦合的破坏形式。如果一个因素的作用增加（或减少）将导致摩擦耦合的破坏由形式3（图1.2）转变为形式1、或由形式5变到形式4，则这个因素的作用将减少磨损，也就等于说摩擦副的耐磨性能得到增强。如果一个因素的作用增加（或减少）将促进由形式1转变到形式2、或由形式2变为形式3，则零件的磨损将扩大，耐磨性能降低。

摩擦表面磨损时，零件的直线尺寸和直径将起变化，其几何形状的正确性遭到破坏（由于磨损得不均匀）；例如，在圆柱形零件上可能出现椭圆度、锥度、中凸度；在扁平形零件上——不平度；在阶梯式轴上——各表面的不同心度；在壳体零件上——各孔轴线的不平行度等等。

在摩擦表面上形成的麻点是金属接触疲劳的结果；这类损伤也出现在齿轮轮齿的工作表面上和滚珠与滚柱轴承的滑道上。

保障汽车的耐用性及其工作的无故障性，是汽车制造业和修理生产的最紧迫任务之一。解决这项任务，首先与保障零件的高度耐磨性能相关。除了合理选择原材料及其强化方法以外，存在许多不同的结构改进办法来增加摩擦和磨损条件下工作的零件使用期限。

磨损通常由磨损强度 I 来表征。磨损强度是指磨损量 Δh 与产生磨损的相应行程 ΔL 之比值，即：

$$I = \frac{\Delta h}{\Delta L} \quad (1.1)$$

近年来在研究两固体接触相互作用的性质上所获得的成就，使И.Б.克拉格里斯基教授得出如下计算磨损强度的公式：

$$I = \sqrt{\frac{h}{R}} \cdot \frac{p_H}{p_\phi} \cdot \frac{K}{n} \quad (1.2)$$

式中： $\frac{h}{R}$ ——单个凸起嵌入深度与其半径之比（见图

1.2）；

$\frac{p_H}{p_\phi}$ ——名义压力与实际压力之比；

K ——常数，它表征不平处的高低分布， $K=0.18$ 至
0.22；

n ——不平处破坏前的循环次数。

在公式（1.2）中第一项无量纲比值决定于摩擦表面上相互作用的形式（弹性的、塑性的、微观磨削的）。在液体摩擦条件下，接触一般呈弹性的，所以 $\sqrt{\frac{h}{R}} = \frac{0.1}{0.001}$ 。第二项无量纲比值决定于零件的尺寸和形状，并在0.1至0.001范围内变化；如果

得出名义压力与硬度之比值，则 $\frac{p_H}{p_\phi}$ 值也可以近似地计算出来。

第三项无量纲比值可以计算出来，即将系数 K 除以不平处破坏前的循环次数 n ；循环次数 n 可以从实验中得出，亦可以按下式计算：

$$n = \left(\frac{\sigma_B}{K f p_\phi} \right)^t \quad (1.3)$$

式中： σ_B ——强度极限；

f ——摩擦系数；

t ——指数，视润滑油性能和两摩擦物体的机械性能而定；在弹性接触条件下，该指数在10至15范围内变化。

根据摩擦的分子与机械理论，摩擦系数值可以用下式计算：

$$f = \frac{\tau_s}{p_\phi} + \beta + K \sqrt{\frac{h}{R}} \quad (1.4)$$

式中： τ_s ——所形成耦合的抗剪强度；

β ——吸附耦合的强化系数。

积累零件一些表面磨损强度的计算经验，就可以拟定出零件、总成和整车在使用中状况变化的一些计算方法，从而可以缩减可靠性和耐用性实验的工作量，加速新技术的研制。

用如下办法可以降低磨损强度：减少摩擦表面上的单位压力；均匀分布摩擦表面上的载荷；采用自行润滑材料（塑料），采用转印供油法，采用含有添加剂的相应润滑油；这些方式和办法能够使耐用性能增加半倍至一倍。利用无磨损效应，也可以使零件磨损减少数倍；其实质在于摩擦过程中表面活化物质与零件材料合金元素起作用，形成一个极薄的金属软化层。由于这个软化层的特殊性能，它实际上不磨损，而且具有极低的内摩擦力。

如果采取必要手段，防止尘土和磨料掉入摩擦区内，磨损会显著减少。

在设想会产生磨损的地方，最好先规定好采用可更换的耐磨嵌衬件，采用摩擦副的磨损补偿件和能够自动保持最佳间隙量的结构。汽车结构应保证磨损后的零件能够修理，并在使用过程中磨损件便于更换。

当零件材料中应力超过其弹性极限时，或在零件长期负载产生松弛下，它都会发生变形。由施加应力引起的弹性变形会转变成塑性（永久）变形。

永久变形导致零件各部尺寸和外形的变化。例如，在发动机气缸体这样复杂的零件上，诸缸套配合孔轴线位置和曲轴主轴轴承瓦配合孔轴线位置将发生变化，同样也会出现挠曲，加工表面相对工艺基准的位置遭到破坏。曲轴上也会发现类似的现象；它在使用中由于曲柄臂变形而引起本身形状变化，出现弯曲，并同时引起各连杆轴颈相互位置的变化。滑动轴承、连杆和活塞环在工

作中也将受到永久变形，致使它们本身形状的明显畸变，并使相关部件的耐用性能降低。在所有上述情况下，造成永久变形的原因是材料本身抗接触应力作用的性能低和强度极限不高。因此，为了提高汽车零件在这种条件下的耐用性能，就必须尽一切可能提高材料的极限强度和相应的硬度。

零件材料在过分超过强度极限的应力下出现破裂。折断是零件的彻底破裂。

折断可能在零件静态载荷和动态载荷、或在材料疲劳下发生。此外，折断按其构成特点可以区分为脆性的和韧性的两种。韧性折断发生在宏观塑性变形下，而脆性折断——在宏观塑性变形不明显的尺度下。脆性折断的起因是：动态负载、在零件危险断面存在应力集中点和材料的冷脆性。出现韧性折断说明材料承担不起大量的超载。疲劳折断发生在应力低于屈服极限的情况下。材料表面有微观缺陷和零件危险断面上有应力集中点都促使疲劳裂缝滋长。疲劳折断的特点是在疲劳裂缝形成部位有破裂灶源和存在破裂进一步发展区。疲劳裂缝在金属微观体积内产生后，在交变负荷影响下逐步扩延到零件本身深处。随着断面的削弱，裂缝扩展的速度加剧，并在一定的残存的断面下，出现零件的全部断开。

为了提高易于折断的汽车零件的耐用性能，必须采用结构上与工艺上的措施来保证消除诸如由一个表面过渡到另一个表面的尖角处之类的应力集中点，减小表面的粗糙度，选择相应的原材料及化学-热处理来扩大强度极限。

腐蚀损伤是外部介质对金属的化学和电化学反应的结果。金属的腐蚀破坏是从金属表面个别活化地方的氧化开始。与此同时，在金属表面化学吸溶氧原子影响下，于表面上形成氧化物。

氧原子深入到金属晶格，并保持原晶格方位，结果便出现氧化。形成如下的铁的氧化物： FeO （维氏体）、 $\alpha\text{-Fe}_2\text{O}_3$ （赤生铁）、 $\gamma\text{-Fe}_2\text{O}_3$ （铁尖晶石）、 Fe_3O_4 （磁性氧化铁）。

依据氧化过程的条件，氧化层的结构也发生变化。通常，氧