

車輛零件裂紋的成因

B.M.切爾內舍夫 著

人民鐵道出版社

目 录

作者的話	1
第一章 关于各种金属的持久强度和結構的基本概念	
1. 金属持久强度的一般概念	2
2. 金属的結構	3
3. 金属的彈性极限和持久强度极限	6
4. 零件中产生裂紋的过程	9
5. 反复載荷对于金属持久强度极限的影响	11
6. 試样的形状和表面加工精度对金属持久强度的影响	13
7. 温度对金属的持久强度的影响	15
8. 零件尺寸对金属的持久强度极限的影响	15
9. 腐蝕对金属的持久强度极限的影响	16
第二章 輪对构件产生裂紋及其使用寿命縮短的原因	
1. 輪对構件上产生裂紋的原因	17
2. 輪对使用寿命縮短的原因	25
第三章 貨車轉向架的故障	
1. 貨車轉向架拱板的折損	31
2. 从折損的拱板中切下来的試样之化学成份及机械性質的研究	34
3. 轉向架側架各拱板中的軸箱螺栓孔和拱架柱螺栓孔的扩大	44
4. 轉向架軸箱螺栓和拱架柱螺栓的磨損	45
5. 常見的几种螺栓折損情况	47
6. 貨車轉向架搖枕及彈簧托板中产生裂紋的原因	49
第四章 軸箱部分各零件的裂紋和破損	
1. 軸箱和軸瓦的損伤	51
2. 螺旋彈簧和板彈簧的破損	56

第五章 提高零件持久强度极限的途径

1. 構造上的措施和工艺上的措施..... 59
2. 鑄接和焊接的持久强度的試驗結果..... 61
3. 对零件制造工艺和修理工艺的監督..... 65

第六章 車輛修理时探伤器的应用

1. 应用于車輛业务中的探伤器..... 68
2. 探伤器的工作原理..... 69
3. 探伤器的構造..... 70
4. 探伤器的使用..... 71
5. 卡来斯尼柯夫和馬特万叶夫式輪座探伤器..... 72
6. 用以发现輪箍损伤的巴杜宾 (Потупин) 式探伤器..... 73
7. 檢查轉向架拱板用的馬特万叶夫式探伤器..... 75

作 者 的 話

第十九次党代表大会在有关1951—1955年苏联发展国民经济第五个五年计划的決議中，对苏联铁路員工提出了一項任务——要在五年中把铁路貨运量提高35~40%。

为了胜利地完成这个任务，要求所有的铁路員工——包括車輛部門的工作人員，必須保証行車不間断，而且运行安全。

保持所有的車輛状态良好，是保証列車安全运行的一个决定性的条件。要想达到这一目的，必須提高檢查質量，及时发现車輛的故障，并加以修理。因此，对于車輛部門的工作人員來說，通曉車輛零件上出現故障的原因是什么，借助于哪些跡象可以发现故障，以及用什么方法来防止，具有重要的意义。

本書敘述了車輛零件上形成裂紋的各种原因，并且提出有关防止裂紋形成的一些建議。

第一章 关于各种金属的持久强度和結構的基本概念

1. 金属持久强度的一般概念

在上世紀中期，由于冶金工业的发展和鋼的广泛应用，开始发现个别的机器零件突然发生脆性破坏的情况。这种破坏的危险性在于：虽然零件横截面上每平方公分所承受的力不大，但它时常会使机器遭受巨大的破坏。

在铁路的实际工作中，大多数脆性破坏都是出现在機車車輛的各种零件中，例如車軸、輪箍、轉向架拱板及其他各种零件的損壞。

分析研究的結果証明，零件的破坏过程，从出現目力所不能見的裂紋时就已經开始了。这些裂紋是繼續发展擴張而及于金属内部的。观察結果确定，裂紋一般都是产生于承受交变載荷的零件上，例如，当反复弯曲或拉压作用交变时。最近研究的結果指出，零件在反复載荷作用下破坏的原因，可用金属的一种新的性質，即所謂金属的疲劳加以解釋。

材料在多次反复力的作用下，内部逐漸产生裂紋，并繼續发展的过程称为疲劳。

确定这种性質具有重要的意义，因为机器制造业的发展，要求我們必須提高机器的工作速度。

如果列車的运行速度不能日益提高，則铁路运输的发展是无法設想的。这是社会生产在經濟上所提出的要求，因为它能降低产品的成本，并保証把大量的产品輸送到消費处所。铁路工作人員应当运用自己的技术不断地增加列車的貨

运量和运行速度，来继续促进运输工作，改进万有指标，加速車輛周轉。解决这一問題时，必須从生产发展条件和機車車輛的各种运行特点出发。車輛走行部分是否能够經久耐用，首先决定于各零件的构造尺寸及其制造工艺、組装条件、零件装配时的允許尺寸，及其在运用中的相互作用情况。

因此，为了正确地了解機車車輛的零件产生裂紋及破坏的原因，必須研究各零件运用时的工作条件、制造工艺及修理工艺，以及为組装条件和装配許可尺寸所决定的，各零件在工作时的相互影响。

車輛的某些重要零件，經常处于变化的动力作用下，对这些零件的破坏所进行的研究証明，破坏有两种形式：由于不正常的大的过载所产生的塑性破坏，和零件受多次反复变化力的作用（零件的金属对这种力应当有必要的抵抗能力）所产生的脆性破坏。材料的持久强度就是材料所具有的抵抗疲劳破坏的性质。

零件在达到持久强度极限以前，所能承受的反复加载次数，决定于它在機車車輛运用工作条件下所承受的外力的大小。

疲劳破坏时，零件断面有两种特征：断面外圈部份，在无光澤的綫紋阴影及縐折形的輻射纖維上襯托出鮮明的細粒組織；断面內部有較粗大的晶粒，与开有缺口的試样脆性破坏后的断面相同。

为了确定裂紋形成的特点及其产生的原因，必須具有关于金属結構的概念。

2. 金属的結構

如果把已經研磨且用酸腐蚀过的鋼块放在显微镜下加以

观察，则容易发现，金属是由许多被细网状组织所隔离的单个颗粒所组成的。

这些颗粒都是单个的晶体，其外形各不相同。颗粒外部轮廓的形状，决定于它生长和成型的方式。在熔化金属的冷却过程中，晶体以不同的速度沿各个方向长大。

每一个晶体，由于与邻近已经冷却了的晶体相接触，可能会停止其成长。

钢的晶粒内部结构，是按一定顺序分布的原子结晶格子。金属结晶格子借助各个晶粒间产生的引力或斥力，而保持它的正常形状。晶体的分布形态与一定的温度和压力相适应。

在压力、温度及其他外力的作用下，金属内部将产生再结晶，原有的晶体被分裂为更细的晶体。

图1所示两个照片是同一试样，但摄取的时间不同。左边的照片是专作拉伸以前摄取的，从这张照片上可以看出，由明显的轮廓线所隔开的大小不同的金属晶粒。

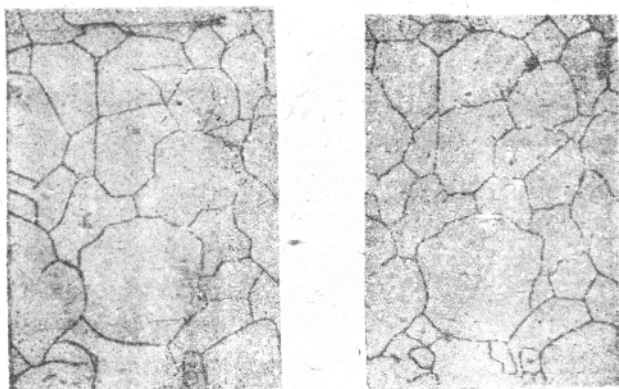


图1. 研磨过的金属试样的显微组织

如右边的照片所示，经过拉伸后，在试样的晶粒上另外增加了许多格线。每个晶粒中，所有后添的格线，均具有受其晶粒的性质所决定的方向。

若仔细观察这些格线，可以看出，这是一些微小的断层台段，借着这些台段可以断定，晶体的某一部份沿另一部份是否存在滑移现象。金属组织的这种变化是由金属的塑性引起的。

大多数金属都具有这种性质，在力的作用下能显著地改变自己的形状。

这种性质不仅能使金属免于破坏，且能使其自由变形，即在载荷作用下改变原有的形状后又重新恢复原形。在金属内部，这种变化是由应力（作用在单位断面积上的力）的影响所产生的。

但是，应力并非是在所有面积中同时均匀产生的，而是集中于零件的一些最重要的点上，即集中于尺寸突然改变的地方，如孔缘及锐角上，以及其他曾有过冶金处理及机械加工缺陷的地方。

图2所示为一两侧冲有缺口的试样横截面中应力分布情况。

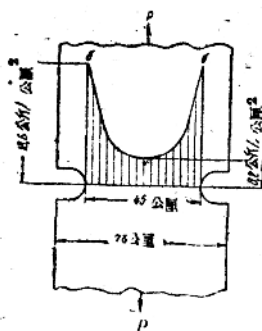


图2. 两侧冲有缺口的试样横截面中应力的分布情况

曲线表明，缺口边缘处的应力急剧地增加，其值约为中部的应力的3倍。

受冲击载荷作用时，金属的塑性具有极其重大的意义。冲击破坏作用决定于器械能的贮藏量，它的大小与相互冲击物的重量和冲撞速度有关。

具有塑性的金属，能吸收能量改变自己的形状，并以这

种性质抵抗冲击力。

淬火鋼通常沒有塑性，当被冲击时易于破碎，而不产生任何残余变形。因此，这种鋼不能广泛用以制造在冲击载荷作用下工作的各种机器零件。

目前，在仔細研究大純淨晶体的基础上，确定了大多数的金属結晶都是立方体形状。并且在变形时沿着晶面的方向产生滑移。滑移面把晶粒分割成許多薄片，并使原先晶粒的光滑面上布满台阶。如果作用力达到了較大的数值，足以克服邻近晶粒的变形阻力，則不同方向的各个晶体晶粒，将沿着作用力的方向改变自己的形状。

在常温下，金属結晶的构造是不会发生变化的。欲使晶体組織发生变化，必須将金属加热到 700°C 以上，只有在这种条件下，金属的顆粒才能够从一种結晶状态自由地轉变为另一种結晶状态。

3. 金属的彈性极限和持久强度极限

材料力学这门科学提供了关于金属器械特性（彈性极限，屈服点，强度极限和持久强度极限）的基本知識。为了以后易于研究各种車輛零件的工作条件，我們首先扼要地介紹一下这些特性。

如果用鋼試样拉伸时，所加的力等于它破坏时的一半，則在試样中出現剛剛看得出的残余变形，即不大的伸长变形。这就是說，試样于载荷去掉后不能恢复原来的长度。图8所示为軟鋼拉伸图，横座标代表試样的伸长 Δl ，縱座标

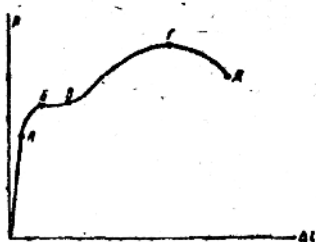


图3. 軟鋼拉伸图

則代表与其相应的載荷 p 。在 A 点加于試样每平方公分或每平方公厘橫截面积上的載荷，称为彈性极限。此时，材料的彈性不会破坏。

当繼續拉伸时，虽然載荷不显著增大，但試样金属却将不断伸长。当超过某一应力之后，載荷虽不再增加，但試样仍伸长，这种应力就叫金属的屈服极限。在拉伸图所示 BB 水平綫段上，屈服現象以后材料变得稍加坚固，要想再繼續拉长，必須增大載荷。这样，从 B 点到 F 点，載荷逐渐增加，在 F 点載荷达到最大值。此后，載荷逐渐下降，試样橫断面不断縮小，最后便断裂。图中 M 点即相当于断裂的瞬间。于 F 点时，試样单位橫断面所承受的載荷，叫做試样的强度极限。

假如試样断裂时断面縮小了，則真实的强度应用縮小后的截面积除以点 M 的載荷。

既然試样的破坏具有这种性質，那末很自然地会設想，金属的持久强度极限^①只有在相当于彈性极限以上的应力的載荷下才能达到。換句話說，在彈性极限、持久强度极限及

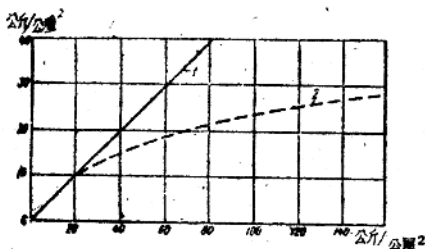


图4. 不同金属的持久强度极限和彈性极限对照图；

- 1——表面研磨过的試样的曲綫；
- 2——表面有缺口的試样的曲綫。

其他机械性質之間，应有一定的关系。但是在这方面所进行的試驗却没有証实这种假定。图4为各种金属的持久强度极限与彈性极限的对照图，它是根据許多試驗室的試驗結果作出的。

^①所謂持久强度极限，是材料所能承受的最大的一种应力，在这种应力下，可以經受很多次反复作用而不致破坏。

横坐标代表各种金属的弹性极限值，纵坐标代表持久强度极限的值。如果有一种理想的情况，两种指标均位于同一条倾斜 45° 的直线上，那就表示这两种指标的概念，其性质是相同的。由上图可以看出，实际情况与这种理想情况的差别是很大的。表示弹性极限和持久强度极限关系的各点，和直线间有相当的距离。持久强度极限高于或低于弹性极限，由表下可以看出，它是高于弹性极限的。

为了确定金属的持久强度极限，选择了一些相同的试样，这些试样用同一种载荷分别进行试验，直到破坏为止。每次试验时都记录下试样破坏时所经受的载荷的循环次数。试验时逐步降低每一试样的载荷值，直到载荷循环达到 1 百万到 1 千万次仍不破坏时为止。

持久强度试验的数据，在图 5 中以曲线关系表示出。

在横坐标上用一定的比例画出试样破坏前的承受的载荷循环次数，而纵坐标表示它的应力。持久强度曲线随着应力的降低，以及载荷循环次数的增加，而变为与一定应力相适应的水平直线，在这一应力下，

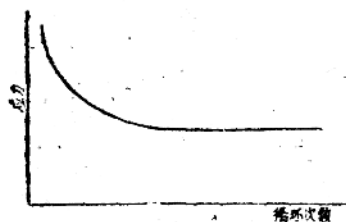


图5. 试样的持久强度试验图

不论交变载荷的变化次数多么大，试样都不会破坏。这一应力叫做持久强度极限。

鋼及軟鋼的彈性极限和持久强度极限

表 1

材 料	弹性极限, 公斤/公厘 ²	持久强度极限, 公斤/公厘 ²
鋼.....	0	8.6
軟鋼.....	8.2	19.8

在实际工作中，用金属零件作成的试样进行持久强度试验时，应用以下三种方法：

(1) 以循环次数 1 千万为标准的普通方法。即以载荷循环 1 千万次而不致使试样破坏的应力当作试样的持久强度极限。

(2) 第二种方法是以试样的耐久性试验为标准。此时，以一定应力下试样所经受得住的循环次数表示试样的持久强度。

(3) 第三种方法是试验试样的有限持久强度。此时最大循环次数为 1 ~ 2 百万次。

4. 零件中产生裂纹的过程

为了详细地研究金属中裂纹产生的原因，结构力学研究所研究员 H·H·阿法纳西耶夫利用显微镜对裂纹发展的过程及金属丧失持久强度的情况进行了观察。研究结果证明，各种晶粒内滑移线的出现，是在经过一次又一次的塑性拉伸时的最初几千次以后。如果试样继续承受载荷，滑移台段便大大地增加，而且台段的宽度也要扩大。再过若干时间后，滑移线中的某一个就转变成目力不可见的普通裂纹。这种裂纹在一次次的拉伸影响下，继续发展下去，便在裂纹的两端出现分叉的滑移线束，随后，金属试样开始破损。

初步想来，好像是金属中裂纹的产生过程，应当发生在零件截面上的应力开始超过它的弹性极限的时候。当加于试样上的拉力未达到弹性极限时，似乎不会产生滑移线和裂纹。事实上，绝大多数的金属，持久强度极限都低于弹性极限。

这种现象可以这样解释，即由于金属内部的细晶结构是不均匀的，不可能在弹性体的所有各部份都产生均匀变形，因

为各个晶粒在不同方向上的弹性是不同的。个别的晶粒，为了取得相适应的弹性变形，便挤压相邻的晶粒，使其内部产生弹性变形。这种变形虽然很小，却能引起滑移线的形成。经过拉伸后，晶体中产生的滑移线，也许可以用压缩的方法消除，但这时也不免会产生新的滑移。

最初，晶粒的滑移现象甚至用显微镜也看不清楚。后来，由于晶体沿彼此相摩擦的表面逐渐移动的结果，滑移线比较清楚地显出来，并形成微观裂纹。

图6所示为在载荷循环次数显著增大的影响下，滑移线增长的四个阶段（放大1400倍）。

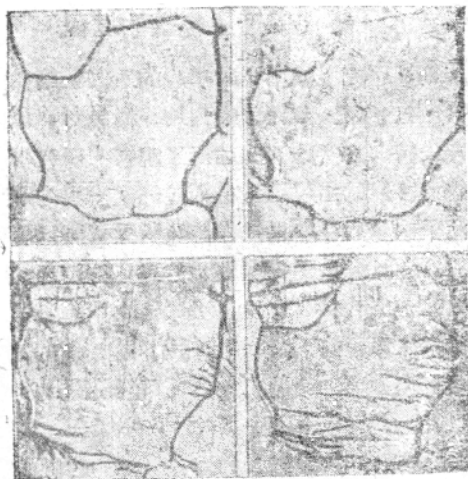


图6. 滑移线增长的各个阶段

在照片上可以清楚地看出，在循环应力作用下，单个的滑移线变为密集的线段，好象晶体被分裂成很多细小的碎片。晶粒中的碎片彼此相互移动的结果，使晶粒的强度降低。

在載荷的作用下，金屬結晶組織的晶粒的變形愈來愈嚴重，晶粒被分裂得更加細小，以致經受不住所加的力。然後就開始形成裂紋，而在裂紋的末端應力急劇增大，結果使裂紋向金屬的其餘部份繼續發展，直到這一受傷的零件破壞。這便是金屬中裂紋的形成過程。

5. 反復載荷對於 金屬持久強度極限的影響

通過研究證明，如果加於金屬上的載荷不超過彈性極限，則處於應力狀態下的金屬雖然一直工作若干年，它的性質也不會改變。這就否定了認為載荷的反復作用是有危害的這種不正確的概念。

假如反復載荷不超過材料的持久強度極限，則在晶粒中將出現滑移綫。此時將產生不致降低金屬強度的塑性變形。此外，用試樣試驗時還證明，在應力低於金屬的持久強度極限時，這種滑移綫甚至還能提高它的強度。用加過工的試樣作破壞試驗時，得到的結果證明，破壞強度可提高18~20%，延伸率則相應地降低25~50%。對於軟鋼，這種現象特別顯著。加過工的試樣最終破壞所需的循環次數，在個別情況下可增大到幾百倍。

由於綫路狀態不良，車輛在彈簧上組裝的缺點，以及列車速度的變化等原因，機車車輛上的各種零件於運用工作條件下，其金屬中的循環應力並非永遠處於同一程度，而是時常會增大。因此，需要查明，偶然性的過載對於受循環應力的車輛零件的強度具有何等影響。

最近對金屬持久強度問題所進行的研究，使我們能夠確定，在每一種應力狀態下，最大的安全循環次數應為若干。

當循環次數高於所規定的安全限界時，金屬的持久強度

极限就会降低。此后，金属便受到损伤，而且再进行试验时，其持久强度极限急剧恶化。

图7所示为金属持久强度及损伤与应力及载荷循环次数间的关系曲线。

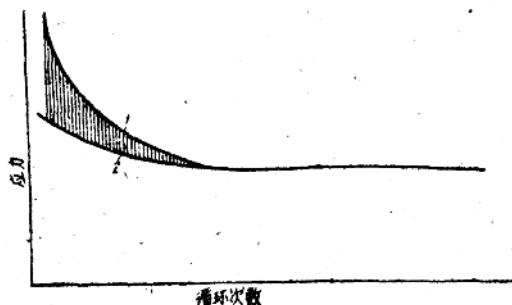


图7. 金属持久强度及损伤与应力及载荷循环次数间的关系曲线：

1——持久强度极限曲线；

2——损伤曲线。

于载荷反复作用下，裂纹产生的过程中，金属内部出现两种物理现象：第一，出现能使零件稍稍硬化的塑性变形；第二，在各个地方形成滑移线，此种滑移线不断增加后，汇合成许多微观裂纹，使金属的强度降低。由此可见，开始时金属会变得坚硬些（加工硬化），随后便出现微观裂纹。

这两种现象间的境界称为安全应力线，超过这种安全应力线以上时，金属便开始破坏。加工硬化现象的特点是，由于内应力超过试样的弹性极限，使其硬度提高。如果将金属加热到适当的温度，可以改善试样的状态。在加热时，金属发生再结晶，并完全恢复已经丧失了的可塑性，改变晶粒的大小，而且新晶体完全恢复原来塑性变形的能力。

但是，这种方法不适用于已经丧失了持久强度的金属。一旦出现了裂纹，即便是刚刚出现，无论把金属加热到任何

温度，也不可能把它消除。在这种情况下，其应力位于安全应力线以上。

从物理观点上来解释，当金属再结晶时，所发生的只是质点的重新排列，而不会引起晶粒的移动，使其越过金属内部由于裂纹存在所形成的空气间隙。

不仅如此，如将丧失了持久强度极限的金属加热时，不但不能恢复它所失掉的性质，甚至还会使其降低。这一点可由下面的事实证实：经过加热的金属试样，破坏时所需的载荷循环次数减少了。

6. 试样的形状和表面

加工精度对金属持久强度的影响

上面讲过，金属中微观裂纹发展的过程，首先在局部应力超过弹性极限的地方开始，此时金属中的平均应力并未超过弹性极限。可见引起局部应力提高的原因，不外乎促使金属提前进入持久强度极限范围内的各种因素。图8所示为中

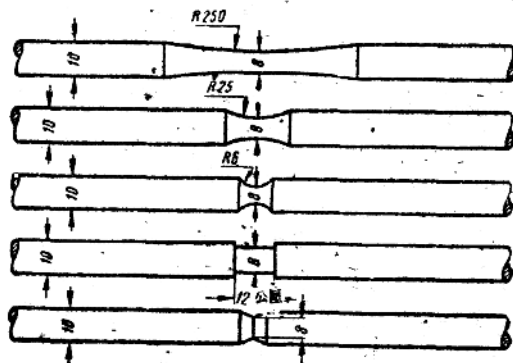


图8. 表明零件形状对金属持久强度影响的各种精车细磨试样（尺寸为公厘）

部具有精車細頸的各种試样。試样形状突变的部份及其銳角处，都是局部应力集中的地方，这种应力大大超过了用計算方法所求得平均应力。这些金属試样，其持久强度极限的相互比为1:1:0.92:0.49:0.40（自上面第一个試样算起）。

从上面的比式中可以看出，无緩和过渡部份的后几个試样，危险性最大。与此相反，在前面几个試样中，在持久强度极限方面看不到很大差别。这说明半徑大于20~25公厘时，对局部应力的集中没有很大的影响。各种内部缺陷和表面损伤，如夹渣、細印、線疵、划伤及其他缺陷，对試样持久强度的危害都很大。零件的局部应力集中也决定于表面加工的精度。利用仅仅在加工方式有区别的試样試驗时，确定了表面特征对金属持久强度的影响。其中一个試样，車削后，再用1和0号金剛砂紙磨光，第二个則用0和00号砂紙，第三个用金剛砂輪，第四个在車床上用車刀进行了光滑加工，第五个用粗車刀进行了粗加工。这些試样試驗后，确定了它們的持久强度极限的比例关系为：1:0.96:0.90:0.84:0.82，其中的1即表示第一个試样的持久强度极限。由这些数据可以看出，表面經過粗加工的試样，其持久强度极限降低了18%。其原因是，由于最大的应力是产生于表层纖維中，零件上出現的裂紋是从零件的表面开始形成的。所以每一种零件表面的硬化方法（包括高频淬火、鍍鉻、滲氮及其他各种硬化方法），均可使持久强度极限提高很多。利用滲氮方法（在高温下使零件滲氮并飽和）特別有效。零件經過滲氮后，表面获得帶有压縮应力的硬化层。这种应力可以防止能以轉变为裂紋的滑移綫的产生。此外，經過滲氮硬化后的零件，在受交变的弯曲载荷时，旋沟、倒棱和有孔的部份对应力集中几乎毫无影响。