

楊文星 編著

火花形式探討與鋼鐵鑒別

上海科學技術出版社

火花形式探討与鋼鉄鑑別

楊文星 編著

上海科学技术出版社

內 容 提 要

本书共分十章。除了根据作者的現場經驗列举用火花法鑒別鋼鐵的实例外，并以極大的篇幅探討火花形式——爆花、火束、流綫、芒綫、节点、尾花以及色泽的变动問題。书中以碳素鋼为基础，討論碳含量对火花特征的影响，从而及合金鋼中合金元素对火花特征的影响，以及多元合金鋼中特殊元素在火花上的相互影响。最后，还略述現場所用的设备与点試法，在附录中列出各种鋼号的化学成分。

本书适于鋼鐵火花檢驗工、热处理人員閱讀参考，亦可用作培訓檢驗工的教材。

火花形式探討与鋼鐵鑒別

楊文星 編著

上海科学技术出版社出版

(上海南京西路2004号)

上海市书刊出版业营业許可証出 093 号

上海市印刷四厂印刷 新华书店上海发行所总經售

開本 787×1092 1/27 印張 6 24/27 字數 143,000

1959年4月第1版 1959年4月第1次印刷

印數 1—12,000

統一書号：15119·1264

定价：(十)0.68元

自 序

本书的初稿早在 1954 年就写成。初稿完成后，曾送請周志宏教授及周宗祥、陈广等工程师审阅，并根据他们提出的許多宝贵意見作了一次修改。

1957 年上海市机电工业局召开热处理經驗交流大会时，本书的部分內容曾作为大会交流資料，还用作鋼鉄鉴别訓練班的讲义，培訓了若干批火花檢驗工。但由于当时感到自己是一个工人，文化理論水平不高，稿中所述內容大都系根据个人現場經驗写成，而其中某些論点与文献所載不完全一致，所以一直放在家中，不敢公开出版。

1958 年在党的社会主义建設的总路綫光輝照耀下，在破除迷信、解放思想、特别是鼓励工人写作的鼓舞以及党组织的大力支持下，对原稿又进行了一次修改、整理、增补內容等工作，终于在去年下半年脫稿。

本书內容除了介紹以火花形式鉴别各种鋼的牌号及主要化学成分外，着重試图就碳素鋼和合金鋼中碳元素和合金元素对火花特征及色澤的影响，以及多元合金鋼中特殊元素在火花形式变动上的相互影响問題，从理論上、实践上加以分析探討。

最后，由于作者水平有限，书中所述論点可能有不正确的地方，衷心地希望专家及广大現場工作者提出宝贵意見，以便在再版时充实修正。

楊文星

1959 年 4 月于上海

目 录

自 序

緒 論..... 1

第一章 火花各部分名称及其形成原因 3

第二章 火花发生原理与爆花、流綫、色澤变动的探討..... 16

第一节 火花发生原理 16

第二节 爆花形式变动的探討 18

第三节 流綫变动的探討 21

第四节 火花色澤的探討 27

第三章 碳素鋼火花形式探討 31

第一节 碳素鋼爆花与火花色澤的探討 32

第二节 碳素鋼火花形式說明 37

第四章 合金鋼中特殊元素在火花上的特性的探討..... 49

第一节 鉻在火花上的特性的探討 51

第二节 鎳在火花上的特性的探討 64

第三节 錳在火花上的特性的探討 70

第四节 鉬在火花上的特性的探討 78

第五节 錳在火花上的特性的探討 81

第六节 矽在火花上的特性的探討 84

第七节 結 論 88

第五章 多元合金鋼中特殊元素在火花上的相互影响的探討 90

第一节 鉻与其他元素在火花上的相互影响的探討 90

第二节 鎳与其他元素在火花上的相互影响的探討 104

第三节 錳与其他元素在火花上的相互影响的探討 108

第四节 鉬与錳、矽、釩等元素在火花上的相互影响的探討 113

第五节 矽与錳在火花上的相互影响的探討 114

第六节 結 論..... 115

第六章	合金鋼火花鑒別举例	118
第七章	現場工作时注意事項	132
第八章	設備及規格	136
第九章	鎳、錳、鉛、鉻点試法	138
第十章	各种鋼号表示法	141
附 录		147

緒 論

在机械制造及热处理过程中，鋼鐵鉴别工作占有比較重要的地位。鋼鐵鉴别方法可分化学、物理两大类。化学分析虽然精确可靠，但在手續上比較繁复，所需时间、費用亦較多，因此一般現場工作不大适用。由于物理鉴别法具有操作简单、所需时间短、能普遍进行等特点，所以对經濟上、时间上的节约能起一定的作用。

物理鉴别法所得的結果，虽然不及化学分析精确，但历年来經专家们的研究，已能达到一定的精确程度。

物理鉴别法的种类繁多，其中以火花鉴别法为最简单实用。

火花鉴别法在 1804 年由英人賈克 (M. Jacques) 所发现，現已引起各国专家的重视及被广泛的采用与研究着。不过此法还是一种实验的方法，其理論根据尚未完全成熟，鉴别精度須依靠工作者的經驗而定。由于此法手續简便迅速，设备亦較简单，結果尚能适合于使用上的要求，所以在現場应用上有很大的价值。

火花发生及变动，是由它的内在因素（鋼鐵中的各种元素的含量、各种元素的性能、晶体组织及硬、脆、軟、韧等物理性能）与外在因素（砂輪的轉速和粒度、环境的明暗、視察火花的方向和角度、使用压力的大小及电压、电流的强弱等）相結合后，促使被磨削下来的鉄末微粒发生氧化、发热、燃烧与爆裂的現象。长期的工作經驗証明，火花变动与上述因素有着密切的关系。

熟练的火花鉴别工作者，首先須具有辨微察毫的能力；其次須具有分析火花变动的能力，以防止受火花形式变动与类似的迷惑。这种能力，須通过长期的学习与实践才能得到。

火花形式經常会呈現雷同現象，造成鑒別时的困难。为了解决这个問題，可利用快速点試法配合火花法进行。

第一章 火花各部分名称及其形成原因

在火花鉴别法中,为了便于实习和应用起见,对于火花的名称与形式应先树立明确的概念与认识。

火束(又名火花图)——是指在砂轮研磨钢铁时所发生的全部火花形式(图1)。靠近砂轮部分的火束叫做**根部火花**(或称**末端**);火束的中间部分叫做**中部火花**(或称**中端**);远离砂轮的一部分火束,叫做**尾部火花**(或称**首端**)。

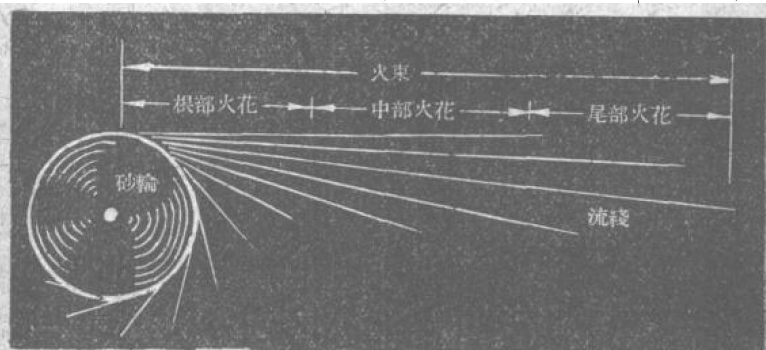


图1 火花形式

由于火花的线条与形态上的不同,可将其区分成流綫、节花(爆花)、节点、芒綫(又名幹芒)与尾花(亦称附穗)等各种名称。

流綫——是线条状的火花。它是铁末微粒在大气中剧烈而又迅速的回轉运行以及在光、热、电离作用的影响下所形成的产物。由于铁末微粒所具有的化学性能和物理性能不同,重量和体积的不一样,以及在运行过程中所受的阻力和运行速度不同,以致在形式上发生长度、粗细、色泽等各方面的差异。

流綫概括有三种类型:(1)直綫流綫;(2)断續流綫;(3)波

狀流綫。

(1)直綫流綫(圖2) 凡是流綫自末端至首端呈現直綫或拋物綫狀光亮的綫條狀火花,都叫直綫流綫。這種綫條並沒有間斷與波浪的形式呈顯。



圖2 直綫流綫

這種流綫的形成,具有下列幾個特點:1)具有足夠的熱量;2)有比較明亮的色澤;3)鉄末微粒的發火溫度較低;4)鉄末微粒中的碳化物受熱後較容易擴散分解;5)比較容易氧化;6)導熱性較好。根據上述的特點加以推測,可知凡是具有較易氧化的鉄合金以及它與砂輪摩擦後,即能產生高熱的元素,在它的發火點比較低和熱的傳導性向較好的時候,一般都能獲得直綫流綫的形式。所以一般含有特殊元素較少的低合金鋼(結構鋼及工具鋼),都能獲得這種形式的火花。然而若含碳量較高性能較疏松硬脆的灰口鑄鉄,以及熱傳導性差的錳鋼、高合金鋼、氧化性能較差的高鎳鋼等,都很难獲得完全呈直綫流綫的火花(砂輪轉速不足亦會使直綫流綫不能明顯地呈顯出來)。

(2)斷續流綫(圖3) 凡是流綫不能呈直綫發光形式,而僅呈現斷斷續續的綫條狀的火花均謂之。

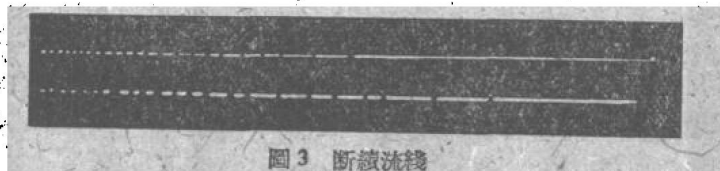


圖3 斷續流綫

錳鋼、高合金鋼、灰口鑄鉄以及在沒有足夠轉速的砂輪摩擦所生成的火花,均帶有這種斷續流綫的形式。尤以砂輪附近,這種火花呈顯得最明顯。所以斷續流綫的形成與下列幾種因素有關:1)

具有较高发火点以及热传导性差的铁末微粒；2)铁末微粒中的碳化物在高温时扩散作用比较迟缓的；3)碳化物的分解温度比较高；4)生成的摩擦热较低，所引起微粒在运行时的氧化作用不易获得快速进行的；5)微粒的氧化性能较差，氧化物形成比较困难，以及氧化生成热较低的；6)砂轮的转速太低或过高，以致影响铁末微粒不能获得足够的摩擦生成热的；7)钢铁基体组织过分疏松，不能耐受砂轮的剧烈旋转所产生的压力，以致颗粒很易脱离其本体者。

总之断续流线形成的主要因素是决定于钢铁的组织 and 化学性能、热传导性、颗粒运行的速率以及热量的获得等几方面。所以凡是沒有足够运行速度、不能获得较高热量以及热传导性较差的铁末微粒，在火花呈现的形式上，是随时随地能获得断续流线的形式。因此含有多量大片石墨的灰口铸铁、有锡和有较多量镍铜的钢以及多种铁合金中，是经常有断续流线呈显。然而必须注意，断续流线的呈显，决不是某种特殊元素所专有的特征，而它只能说明其时的铁末微粒的温度较低而已。所以可以肯定，凡有断续流线的火束色泽都是呈红暗或暗橙色的，决不可能有明亮的色泽。

断续流线的形式，并不是固定不可变的，它能随着客观因素的变动以及基体组织与性质的改变而会被影响成直线流线的形式，实践亦证明了这一点。

(3) 波状流线(图4) 呈波浪形线条的火花，谓之波状流线。此类型的流线在火花中是不常见到的，仅不过有时候在火束中间夹杂着一、二条而已，因此工作者往往易于将它忽略。



图4 波状流线

根据樋谷繁雄的研究报告说：“波状流线发生原因，系由颗粒内含有碳，受氧化成CO初期，铁末微粒不能全成熔融状态，而颗

粒中的碳元素仅一部分成 CO 气体。因为一部分呈熔融状态颗粒表面,其时尚没有充份强固張力,所以气体极易噴出,其噴出速度相当大,由于它的反作用的緣故,使颗粒起回轉运动,这种作用称为火箭作用。又因粒子的回轉而形成波浪形式,如果含 C 量增加,則 CO 所产生的压力也增大,所以火箭作用也就越显著①……”。

上述说法,虽然迄今尚沒发现有多大相反的意見公布,然而这种说法,用来解释波状流綫的形成,有好些地方与火花发生原理相矛盾,如:

1) CO 气体的生成是通过 $\text{FeO} + \text{C} = \text{Fe} + \text{CO}$ 还原反应所生成的。这种反应进行的速率与温度是有着密切的联系,若沒賦予足够温度来促进氧化与还原反应的进行,就不可能有較多 CO 气体的生成,因之颗粒间不可能有多量而强有力的 CO 气体噴出。另一方面,在具有强有力的 CO 气体从鉄末微粒中噴出的瞬间,会呈現出或多或少的爆花。可是波状流綫却并未見到任何形状的爆花。所以在运行的鉄微粒中,在其时实很难有强有力的气体噴出。

2) CO 气体从颗粒间逸出的难易,是取决于鉄末微粒的温度及高温时鉄末颗粒所具有的强度。温度越低,颗粒强度就越大,氧化反应越迟緩,CO 气体的生成量就越少,内压力强度也就越小。在这种約束强度較大、擴張强度較小的情况下,CO 气体要从颗粒内部逸出就愈困难;反之;就越有利于颗粒内部 CO 气体的逸出。这点与樋谷繁雄研究報告:“CO 生成初期,一部分呈熔融状态的颗粒表面,尚沒有充分强固張力,气体极易噴出……”略有出入。因为气体的噴出速度与颗粒间的 CO 生成量有着一定的关系。既说 CO 生成初期颗粒不能全成熔融状态,这是说明当时颗粒尚未获得足够的热量(事实亦如此,波状流綫的色澤,一般为紅橙与橙

① 摘自“鋼鐵火花鑒別法”,刘俊等著。

色)。亦可说其时铁末微粒的氧化与还原反应是在不太强烈情况下进行, CO 的生成量当然不可能有较多的形成。所以其时气体是否能得到有较快的喷出速度,以及在气体喷出时无爆花呈现,就可以成为讨论的问题了。

3) 铁末微粒的回转,是起始于铁末微粒脱离其本体的时候,回转作用的发生,乃是颗粒在脱离其本体时所受到的射力与阻力的影响所引起。所以不论形成何种流线形式的铁末微粒,都是具有高速度回转速率的。因之,以火箭作用作铁末微粒发生回转运动的解释,实可加以商榷。因为火箭作用的发生,须待铁末微粒中的气体喷出后才能实现。可是铁末微粒中的气体喷出,须在 CO 生成后发生,而铁末微粒的回转运动的发生,是起始于铁末微粒脱离它的本体的时候,所以作者认为火箭作用仅能加速铁末微粒的运行,要作为颗粒回转与波状流线的成因尚须作进一步的解释。

波状流线形成另一种说法:“由于颗粒在运行时的速率甚大,因受空气的抵抗力而发生粒子回转作用后形成的^①”。

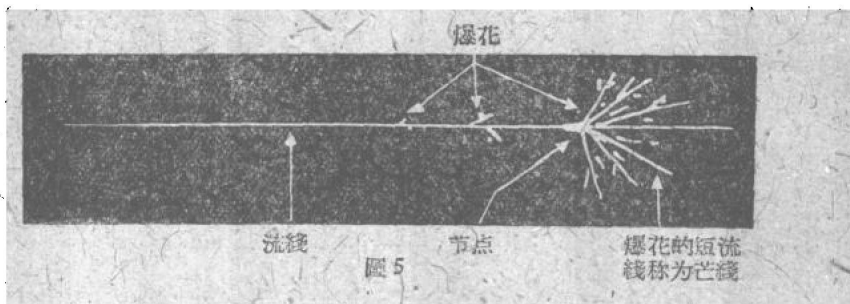
作者意见与后一种说法近似,波状流线的产生,实与铁末微粒的回转作用有关,因为铁末微粒回转频率与振幅近乎一致时,引起二波合成,会产生波状的形式。不过这种现象应该是一种偶合现象,不可能整个火束的铁末微粒的回转频率与振幅完全近乎一致。

节点——是居于流线的首端部分,在爆花附近的流线上,较流线明亮而稍肥的亮点(图5)。节点的温度较流线的任何部分温度都高,有节点的火花,往往呈显在含有适量矽元素(Si 0.1~1%)与含碳量不太多的钢的火花形式中(含有较多碳量与矽量的钢的火花,均无明显节点呈现)。

节点形成原因很可能是由于 CO 气体在颗粒内部积集,发生

① 摘自“钢铁火花鉴别法”,刘俊等著。

強力的內壓力，促使具有高溫的鉄末微粒發生變形所致。在這瞬間過程中，CO 氣體不僅在顆粒內部生成強大內壓力而促使顆粒變形，並由於壓力增加的影響，促使顆粒溫度進一步上升。倘若這種觀點正確的話，那末節點的形成須具有以下的條件：



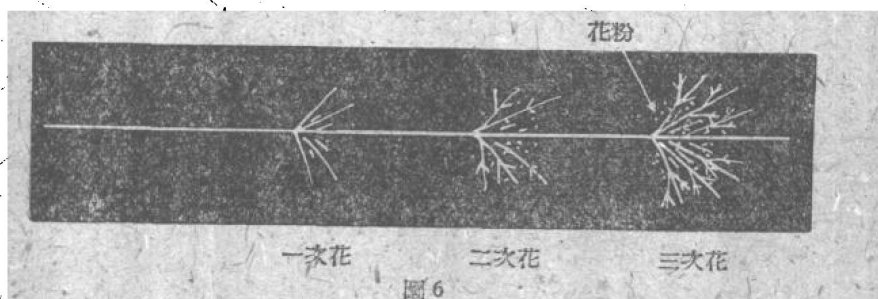
1) 鉄末微粒必須具有足夠的軟韌性與可塑性。若材料缺乏軟韌性能，由於延展性能較差，很難在承受內壓力時引起顆粒擴大變形。這是由於它在承受壓力至極限時，僅能在得到較小的塑性變形後就發生破裂，所以肥亮的節點很難在瞬歇間在流綫上呈顯出來。

2) 鉄末微粒在高溫時須有足夠強度與約束 CO 不使輕易從顆粒內部外逸的能力。若不具備這種性能，是不能使流綫上有節點呈顯。沸騰鋼的火花沒有節點現象就是明顯的實例，這是因為沸騰鋼的鉄末顆粒間所形成的 CO 是比較容易從顆粒內部外逸，這種現象可以從它的羽毛狀爆花取得証實。

3) 鉄末顆粒在運行期間能獲得足夠高的熱量，使之能形成直綫狀的流綫。這點是基本問題，若顆粒在運行時間不能獲得發光，那末節點根本無呈顯可能。

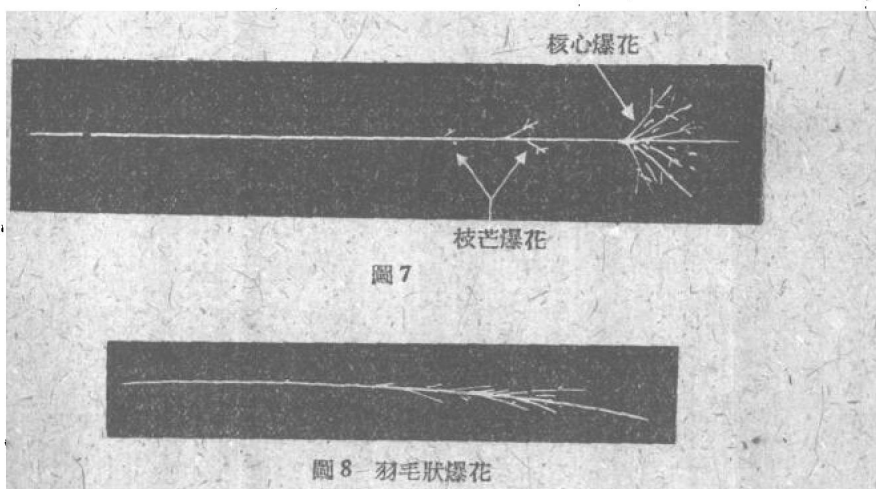
爆花(又名節花)——是碳元素專有的火花特徵。爆花在流綫或芒綫上，以節點作為核心，它是鉄末顆粒爆裂時的火花形式(圖6)。它的形成原因是由於顆粒內部有 CO 氣體生成所致(詳見火花發生原理)。由於 CO 逸出顆粒的一剎那，存在有：鉄顆粒內部集

聚内压力及颗粒强度不同；颗粒中的碳元素的氧化反应的完全与否；高温时的碳化物向 Fe_3 中扩散程度的差异及在运行时铁末微粒温度的不一致等问题，以致爆花的爆裂强度有强弱之分。还应注意：在爆裂强度强的与掺入了另一种因素而引起爆裂强度增加的时候，爆花的量不一定有所增加，也就是说，爆花量多的，其时的爆裂强度不一定是强的。这是因为爆裂强度的强弱，是以温度、颗粒在高温时所具有的强度、熔滴的稠度、内压力的大小、CO 生成的难易等方面作为凭借。然而爆花数量是依据铁末微粒中所含有的碳含量、铁末微粒量的多少以及碳的氧化反应是否进行比较完全为基础。CO 气体逸出的难易问题，助长与抑制爆裂问题，颗粒的氧化性能与物理性能问题以及温度等问题，仅是影响爆花量多寡的因素而已。



由于爆花的形式是随碳含量、温度、氧化性、钢的组织结构、化学性能等因素的变迁而发生差异，所以爆花形式变动问题在火花鉴别时占有相当重要的地位。但是，不论爆花量的多少、形式的完整与否以及形式的差异，概括起来可分为两类：第一类，爆裂起自颗粒的心部，这样使颗粒几被完全粉碎成更细的微末，这种爆花的形状较大而比较完整，并且具有较大的爆裂强度，故暂名以大型爆花或核心爆花；第二类，爆花发生在铁末微粒的表面部分，CO 自颗粒表面层逸出时，颗粒仅一部分发生碎裂，它的爆裂强度远弱于大型爆花，所以它的爆花形状较小与较分散，爆花的芒线细而较

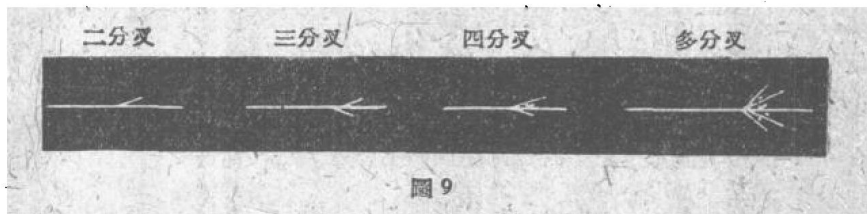
短,其形仿若枯枝,故有枝状爆花之名(亦称枝爆花与枝芒爆花)。这种形式常見于含碳較高以及含矽量特別少的沸騰鋼的火花上。它的形成,可能是与顆粒基体组织缺乏鉄素体、顆粒在高温时缺乏足够約束 CO 气体逸出的强度以及碳化物易向 Fe_3C 扩散有关。含碳量較高的枝状爆花应属于前一种因素。羽毛状爆花(枝状爆花中的一种类型)的呈显,应属于后一种因素所致(图7和8)。



大型爆花与枝状爆花,均有一次、二次、三次及多次爆裂形态(图6),故又有一次爆花、二次爆花、三次爆花与多次爆花的区分。由于大型爆花的爆裂强度甚大,在顆粒爆裂的瞬间,受爆裂时的作用力影响,除一部分被粉碎的微粒續有向前运行的能力外,几乎大部分微粒終止了运行,在爆花呈現后即消失。所以大型爆花的呈显位置,绝大多数是在流綫的首端部分。枝状爆花由于它的爆裂强度較微弱,爆裂时所发生的振荡阻力不足以完全阻止顆粒向前运行,只是起了一部分阻碍作用,使流綫长度受到影响,所以它在火花中呈显的位置是在流綫的中后端。

一次爆花 在流綫上的爆花,只有一次爆裂的芒綫,这种爆花

的形式,是含碳量較低的一种火花現象。它的形式有二分叉、三分叉、四分叉、多分叉的区别(图9)。一次爆花形式,是鋼材含C量在0.25%以下的一种火花征象。它的分叉量的增加,是象征着顆粒中的碳含量有所提高。



二次爆花 在一次爆花的芒綫上,又一次发生爆裂所呈显的爆花形式,叫做二次爆花。二次爆花的呈现,是体现着顆粒在爆裂初期顆粒中的碳元素并未全部投入氧化反应,直至爆裂发生后,碳元素再次投入氧化反应。这种现象是象征着顆粒中含有較多的C量的一种特征。这种类型的爆花,一般是在鋼的碳含量在0.30~0.60%时的火花特征。不过二次爆花的开始呈显,是在含碳量0.25%左右时的一次爆花的芒綫中间杂着少量不完整(非完全二次爆花)的二次爆花。

三次与多次爆花 在二次爆花的芒綫上,再一次呈现爆裂,这样的火花形式謂之三次爆花。若在三次爆花的芒綫上繼續有一次或数次爆裂出现,那末这种形式的爆花,謂之多次爆花。这种类型的爆花,均是含碳量在0.65%以上的高碳鋼的火花特征。

二次、三次、多次爆花的产生原因,系被爆裂所粉碎的铁末殘骸中,尚遺留有未参加氧化反应的碳元素再次投入反应所致。由此可知,若鋼铁基体内的碳含量越高,这种微粒在运行瞬时氧化反应越难完全,必然的經初期爆裂后的微粒殘骸内含的遺留碳量亦越多。在有足够温度的情况下,爆裂次数亦必然越多。

单花——在整条流綫上仅有一个爆花的火花,謂之单花(如图9的爆花形式均屬单花)。