

钢的低倍高倍组织检验文集

鋼低、高倍組織檢驗經驗交流会資料汇编之一

内部資料・注意保存

冶金工业出版社

鋼的低倍高倍組織檢驗文集

鋼低、高倍組織檢驗經驗交流會資料匯編之一

內部資料·注意保存

冶金工業出版社

鋼的低倍高倍組織檢驗文編

(之一)

內部資料 注意保存

編輯：陳 略 設計：周 廣、童曉庵 校對：楊維琴

冶金工業出版社出版（北京市燈市口甲45號）

北京市書目出版業營業許可證出字第023號

冶金工業出版社印刷廠印刷 新華書店發行

1959年6月第 1 版

1959年5月北京第 1 次印刷

開本 787×1092·1/16·132,000字·附張 11- $\frac{2}{18}$ ·插頁3·

統一書號15062·1505 定價 1.30元

出 版 說 明

本文集系根据冶金工业部鋼鉄研究院1958年5月召开的“鋼低、高倍組織檢驗經驗交流会”上的报告选編而成。其中包括两篇苏联专家报告、一篇民主德国教授报告及13篇鋼鉄厂、机械厂及工具厂的报告。

本文集主要介紹了某些低倍、高倍組織缺陷产生原因、它們的危害性、缺陷消除和改善办法以及檢驗和評級方法等。

会議資料分两册出版，第一册六篇，第二册十篇。

本書不仅适用于鋼鉄生产及使用单位的金相檢驗、冶金及机械設計工程技术人员，而且对于这些专业的院校师生及研究工作人員也有参考价值。

本資料由鋼鉄研究院王兴芳、周鴻吉、黃开庆三同志核查整理。

編 者 前 言

在党的“鼓足干劲，力争上游，多快好省地建设社会主义”的总路线光辉照耀下和“以钢为纲，全面跃进”的方针指导下，我国工、农业生产空前高涨，钢产量翻了一番。

为了交流钢的低倍、高倍组织检验、评级和正确识别某些缺陷的经验，以期达到进一步提高检验水平、更好地改善钢的质量，合理地使用钢材及促进钢铁工业全面大跃进的目的，根据冶金部的指示，1958年5月在钢铁研究院举行了一次全国钢低倍、高倍组织检验经验交流会。

出席会议的共有冶金部、一机部、铁道部、煤炭部、水利电力部、北京及上海地方工业局、高等院校及科学院等85个单位的149名代表。此外，大会还荣幸地邀请了五位苏联专家和一位民主德国教授出席会议，其中B. A. 依万钦柯，П. B. 捷米道夫和W. 孔歇尔教授分别作了“钢中白点”、“冶炼和浇铸过程对钢低倍组织的影响”及“对钢的合理与不合理要求”三篇富有学术性及实际经验综合的专题报告。

大会共宣读了6篇专题报告及17篇经验交流报告。

为了更广泛的交流这方面资料，在与有关单位研究及同志们的大力支持之下，由钢铁研究院王兴芳、周鸿吉和黄开庆三同志将其中16篇报告加以整理，编成资料汇编，分两册出版。因编者业务水平有限，在整理过的报告中，可能还有错点，请读者指正。

冶金工业部钢铁研究院

鋼 中 白 点

B.A. 依万欽柯

总 目 录

·編者前言

鋼中白点·····	B. A. 依万欽柯·····	5
冶煉和澆鑄过程对鋼的低倍組織的影响·····	И. Б. 捷米道夫·····	37
鋼低倍組織檢驗法及一些缺陷的識別·····	鞍鋼中央試驗室·····	49
低倍缺陷的識別及評定·····	撫順鋼厂中心試驗室·····	93
鋼的热酸侵試驗的取样制样方法对低倍組織鑑定的影响·····	鋼鉄研究院·····	139
重軌低倍組織問題·····	鞍鋼中央試驗室·····	165

目 录

前 言	1
緒 論	2
I、白点的性質	3
1. 辛克、施台別尔克和其他人的假說	3
2. 根據不同作者的意见分子氢假說的缺点	4
3. 恩得留的假說	4
4. 杜包維的假說	5
5. 洛施卡烈夫 B. Φ. 的假說	6
6. 格尔金 Ю. B. 及祖巴烈夫 B. Φ. 的假說	6
7. 密西金 B. C. 的假說	7
8. 証实辛克、施台別尔克假說的正确性	7
9. 1954年在苏联召开的鋼中白点形成理論 科学技术會議的決議	8
10. 形成白点的各种假說的簡明图	9
11. 小結	10
12. 原子氢力量的假說卓图	11
II、預防鋼中形成白点的方法	11
A. 鋼液中的氢及减少氢的办法	11
1. 鋼水的真空处理	13
2. 用各种不同的气体吹鋼水以减少其中的 氢含量	13
3. 在結晶过程中采用超音波以减少鋼中氢 含量	13
4. 采用形成氢化物的元素以防止白点形成的	14
5. 小結	14

B. 固体鋼中的氢及去除氢降低白点敏感性 的方法	15
1. 潜伏期	17
2. 鋼的白点敏感性	18
3. 均質退火	19
4. 鋼的徐冷	19
5. 等溫退火	19
6. 鋼在 α 鉄状态下退火	21
7. 白点的焊合	22
8. 小結	23
III、鋼中白点的檢驗	23
A. 选择取样部位以檢驗鋼中白点	24
B. 显示鋼中白点的方法	25
1. 橫向和縱向試片的腐蝕	25
2. 鋼的断面	25
3. 用蓝断面来作为檢驗鋼中白点的方法	26
4. 試片的热冲	26
5. 磁力探伤方法	26
6. 超音波探伤方法	27
7. 作为檢驗白点方法的机械試驗	27
8. 高倍檢驗方法	28
9. 小結	28
10. 結束語	28
参考文献	30
附 图	32

前 言

根据原定在1957年年末召开有参加的钢铁厂和机械制造厂有关于钢的高、低倍检验问题全国会议，制订了会议工作计划，其中除了涉及到检验本身问题外，还将听取有关生产工艺及各种工艺因素对钢质量影响的报告。计划中还包括中国各厂关于白点的研究工作报告。根据筹备委员会的要求，我必须做有关白点形成理论、防止和消除白点的方法和检验钢中白点等问题的报告。

在短时期内和在资料有限的情况下，我收集了可能收集到的有关这一问题的一些材料，来满足中国朋友们的要求。

这一报告是根据苏联、美国、英国和德国的文献资料以及苏联钢铁厂的一些资料写成的。其中也有报告人对所谈到的一些问题的意见。最后对钢铁研究院李文采、刘荣藻、黄桂煌、赵先存、李企明、王振新、张克兰等同志，在蒐集资料上所给予的帮助表示感谢，同时还应该感谢德国教授B.孔歇尔，他介绍了新出版——古德列蒙教授编著的特殊钢手册（1956年）及1957年德国杂志中孔歇尔教授及威纳尔的文章。

B. A. 依万钦柯

1957年10月30日

緒

白点是鋼的一种缺陷，在試样断面表面上呈銀白色斑点状或圓形或伸长的雪片状。随着化学成份及加工条件的不同，白点的顏色也可能是灰色的。在磨光和腐蝕后的低倍試片上白点的形状是锯齿状細发紋。白点的厚度极小，长度从0.5到5.0mm。白点在金屬内部时而有有一定的方位，或成无序分布，且不暴露在軋材和鍛材的表面上。白点的組織是粗晶粒的，經常是有光澤的和未变形的。白点裂紋有在晶粒处的，有沿晶粒边界的，因此白点裂紋是锯齿状的。在絕大多数情况下白点位于金屬的致密部份，与空隙、气泡、非金属夹杂物和其他缺陷沒有联系。白点部份的金屬高倍組織与正常部份一样。用X光方法也沒有发现白点的組織和邻近的正常的鋼有什么不同。

根据白点的大小、数量和在鋼中的位置不同或者能降低鋼的塑性和韌性，或者使鋼完全失去这些性能。在这二种情况下白点都显著縮短鋼制件的使用寿命和引起机器零件、结构的突然和严重事故。主要是珠光体和馬氏体級合金鋼有白点缺陷。炭素鋼程度較輕。純鉄体、奧氏体和萊氏体鋼实际上沒有这种缺陷。白点敏感的鋼在軋材或鍛材中有这种缺陷，在极大多数情况下是在40mm及40mm以上的断面中。鋼材的断面愈大，就愈易产生白点。鋼錠中难得有白点，即使有，主要是在头部。

在碱性平爐或碱性电爐中冶炼的上述組織的鋼有白点缺陷。在酸性爐中冶炼的鋼不易产生白点。

白点首先在第一次世界大战期間在鉻鎳鋼中发现。1917年在美国发现所有鉻鎳鋼制成的飞机用曲軸都有白点，因而飞机制造业完全停止了生产。为了搞清缺陷的性質和防止措施，美国政府組織了著名的学者和冶金工作者組成

論

了一个委员会。委员会沒能解决所提出的問題。但是鋼中的白点在后一阶段开始显著減少。在其他国家也有这样的情况。发现鉻鎳鋼生产显著扩大时，它的白点敏感性也增长，相反，減少鉻鎳鋼生产时鋼的质量也改善了。

也发现了白点严重程度和季节的关系。

第一种现象可以这样解释，显著扩大生产时对原料的选择和对既定工艺的遵守注意較少。

第二种现象或者是和空气中湿度增大有联系，或是和空气的溫度降低有关。

这些最初发现的以某种形式影响白点敏感性的因素，激起了各国的許多冶金工作者来解释这一影响的机构和制訂防止和消除缺陷的办法。胡里脱格联（Хулытгрэн）在1923年提出了徐冷合金鋼的建議，他認為白点的形成是由于冷却时的应力所致。繆列尔（мюллер）在1928年得出了氢气引起白点的結論。巴尔靳霍依尔（барденхойр）和巴鮑欣（Бабошин）在1929年用組織的应力来解释白点形成原因，就是說树枝晶軸上和軸間部份临界点轉变時間不一致。

也曾有人想以鋼中含氮、非金属夹杂物等等来解释白点。很多年来进行了許多确定白点性質和生成机构，以及制定理論的研究工作。

现在有很多不同的假說，但现在还没有公認的白点形成理論。

在鋼鉄厂的生产实践中现在采用徐冷式热处理，以預防鋼中白点的形成。这些措施有了效果，但是由于这种預防白点形成的方法大大延长了生产工艺过程，需要在車間里有附加地段，建立冷却和热处理設備，所以关于白点的問題在现在不仅有科学意义，还有实际意义。看起来，也是在这一基础上，中国低倍組織經

驗交流会筹委会也是根据这样一个原因，希望能听取到有关白点问题的报告。下面将根据文献和生产资料简单地谈谈这个问题。

I、白点的性質

在将近四十年来各国的学者和工程师提出了有关鋼中白点形成的性質和原因的各种可能的假說，茲简单闡述如下：

1. 白点，是在鋼凝結过程中形成的空隙，軋制和鍛造时它們焊合或伸长；
2. 白点，是在軋制或鍛造中形成的枝晶間的裂口；
3. 白点，这是在加热时熔化了了的枝晶間部份；
4. 白点，是氮化物的局部积集；
5. 白点，是在脫氧不良的鋼中充滿氧化碳气体的空隙；
6. 白点，是由非金属夹杂物組成的不牢固的夹层；
7. 白点，是枝晶不均匀的鋼冷却时因相变時間不一致所形成的裂紋；
8. 白点，是氢和氧化物互相作用时鋼中形成的水蒸气的压力造成的裂紋；
9. 白点，是冷却时鋼中析出的氢气的压力所形成的裂紋；
10. 白点，是在鋼中充滿着氢的脆性部份，由于相变時間不一致所引起的应力而形成的裂紋；
11. 白点，是氢气从固溶体中析出时这些部份收縮引起的张力在含氢最多部份形成的裂紋；
12. 白点，是所析出的氢和鋼渗碳体中碳互相作用在空隙中形成甲烷的压力所引起的裂紋；
13. 白点，是在鋼中氢气扩散較慢部份原子氢突炸轉变为分子氢发生的热所引起的裂紋。

从以上所列举的假說中可以看出，极大多数是以氢气因素为根据的。世界各国无数的試驗証实了这一因素对白点形成的影响，所以是确实可信的。在这一基础上我們在下面仅就在某种程度和形式上考虑了氢的因素是白点形成的原因的一些假說，进行分析。

1. 辛克 (Шенк) 施台別尔克 (Штейнберг) 和其他人的假說 (1932—1935年)

辛克和施台別尔克根据济魏尔脫斯 (Зиве-ртс) 的研究得出結論，認為白点的形成是由于溫度降低时氢在鉄、镍、铬、錳和它們的合金中的溶解度減小，压力大所致。济魏尔脫斯确定氢在鉄中的溶解度随溫度升高而增大，可以从下述据看出：400°C 100克鉄中溶解 1 立方公分氢；800°—4 立方公分；1200°—8 立方公分；熔化以前—14 立方公分；熔化时 28 立方公分；1600°—30 立方公分。在鉄的熔化溫度时氢的溶解度跳跃式地增加了一倍，溫度繼續上升时，溶解度繼續均匀增大，但比在固体鉄中增大得快。根据济魏尔脫斯的公式溶解度的增大与压力的平方根成正比。

沒有溶解在鉄中的分子氢沉积在空隙中和晶粒接界处等，会引起很大的压力，以致可能形成裂縫。柳盖密尔-赫斯 (Люкемейр-хасс) 和辛克計算了氢气压力在鋼中引起的应力。計算时他們根据自己有关氢在鉄中和在鉻镍鋼中溶解度的研究結果，且根据济魏尔脫斯以数学方程式所表示的定律：

$$K = \frac{H}{P_{H_2}}$$

式中 H—以重量百分数比表示的溶解在金屬中的氢气数量；P—处于和溶解在鉄中的原子氢平衡状态的分子氢的正常压力，以大气压力表示；K—对这种合金溶解度与溫度有关的常数。

根据他們的計算，加热到低溫的 (400°以

下)鋼,由于氢气在鋼中的溶解数量不同,在个别部份氢气的压力可能超过鋼的强度,以致在鋼铸件、軋件和鍛件中形成白点。鋼中含氢0.001%时,在400°C压力等于100Kr/mm²。試驗証明,鋼水中充滿氢时,鋼的白点敏感性大。

摩薩季和烈德济奥其(Мусатти, реджио-ли)在1150°C时将固体鋼充氢和充氮,并确定了含氢饱和的鋼有白点,而含氮饱和的鋼沒有白点。

很多研究工作者确定冷却时在300—100°的溫度范围内鋼中形成白点。摩薩季和烈德齐奥其用查凱罗的試驗来解释在上述低溫所形成白点的原因。查凱罗研究了180—300°間氢在鉄中的扩散速度,发现了一临界点,在这一临界点氢的扩散速度从每小时300立方公厘降到1立方公厘,而对在氢中退火的鉄,氢的扩散速度甚至降到每小时0.03立方公厘或为原来的万分之一,就是說在这一溫度区域内鉄成为几乎不能透过氢的了。根据这些数据摩薩其和烈德齐奥其認為氢气不仅是白点形成的主要原因而且还是唯一的,否認了其他假說,即使是作为輔助的。

最近以来,氢分子假說由于得到許多国家不同研究工作者的补充資料而更巩固了,这是可以从报告的下一部份看到的。

由于在炼鋼和浇注时所吸收的和在以后冷凝时由固溶体中析出的原子氢,在鋼的显微气孔中形成分子氢的压力大,因而产生白点的假說拥有最多的信任者。但是根据不同研究人員的意见这一假說还不能令人确信的解釋許多与白点形成机构有关的問題,所以受到尖銳的評論。

2. 根据不同作者的意见分子氢

假說的缺点

根据很多評論家的意见这一假說不能解釋以下现象:

1. 为什么有一类化学成份的鉻鎳鋼和鉻鎳鉬鋼在加热高于上临界点后,空冷时有馬氏体转变,最易形成白点?

2. 为什么含錳量低的碳素鋼在一般生产条件下不形成白点?

3. 为什么奧斯体、純鉄体和萊氏体鋼不形成白点?

4. 为什么在橫向試片上白点的方位是随变形形状(例如、按鍛造十字)?

5. 为什么在扩散退火中氢析出时在鋼的显微孔隙中沒有氢气积聚,而且鋼不破裂?

6. 氢气从金屬中析出时,极大多数經過表面层,为什么在表面层的显微孔隙中沒有氢气积聚?

7. 为什么在低溫时,当从鋼中扩散出去的氢开始渗入显微空隙,而且只是离表面的显微空隙时,氢的情况有很大变化?

8. 認為,显微孔隙中分子氢的压力完全不足以形成內裂。

根据上述一些主要以氢气假說的缺点,某些研究工作者提出了补充或完全基于其他的白点形成概念,但也考虑氢气因素的新的假說。

下面按这些假說在科学技术文献中出現的先后为次序,簡單加以介紹。

3. 恩得留(эндрыю)的假說(1947年)

(歇菲立特大学教授)

氢是形成白点的主要因素,这是与富有氢的成份的存在有关,奧氏体就其本性来講即为这种的成份。

根据很多研究工作者的数据恩得留說,白点在低溫形成,但不低于200°C。但試驗証明,白点在室溫时在淬火試样中形成。在急速冷却的試样中在室溫时形成白点前必然經過一定时期。因为白点的形成与氢气的突然析出有关,所以氢气的保持不同于在純固溶体中是完全可能的。假設在鋼中形成富有氢的成份,那就可以解釋白点形成过程中的很多现象。这一

富有氢的成份应该认为在所有温度时是亚稳定的。

每种钢其成份的稳定性取决于存在于钢固溶体中的氢的数量。当搁置或加热时氢在固溶体中的数量累进减少至富有氢的成份很快分解的临界浓度。部份氢向空隙中扩散，在那里形成分裂压力，部份从金属中逸出。钢加热得慢时，氢的浓度在较低温度下降低到临界数值，相应地发生成份的快速分解和形成白点。加热快时，白点出现在较高温度。作者用试验方法证实了这一现象。假如成份在室温时分解，当钢处于脆性状态，所得到的白点裂纹是长的，如白点在钢相应良好塑性的较高的温度下形成时，则所得到的裂纹短而宽，有时成点状。

含碳少时钢中白点裂纹短，即使白点是在室温下产生的。假如成份不稳固，在成份迅速分解之前钢中析出的氢也少，所以可以形成白点裂缝的氢气更多，而白点数量也更多。万不得已时，也可加热含稳固成份的金属，使白点不出现。因为在高温下当成份分解时所析出的氢可以自由地从金属中逸出而不积聚在空隙中。

在确定所得到的富有氢的显微成份的稳定性时钢的化学成份有着极重大的意义。

成份的稳定性随着碳含量的增加而增大。如果潜伏期短，就是说成份比较不稳定，逸出氢的总数较多而白点数量也较大。

碳和形成碳化物的元素，如铬或锰可以稳定成份，而形成石墨的元素，如镍和钎使它变不稳定。

可能显微成份只是储藏氢的地方，氢从其中析出后积聚在空隙中。本来得到白点并没有什么关系，以后可将其焊合，但不好的是在裂纹中形成的甲烷分解，并重新使钢又含有氢，钢中碳愈多，这种可能性就愈大，因为甲烷多。这样可归纳出以下几点：

1) 引起白点裂纹的氢，在析出前不在金属固溶体中，而在一定时间内保持在经过 $\tau \rightarrow$

α 的转变形成的富有氢的成份中。

2) 这一成份分解放出氢气，部份扩散入空隙，积聚形成破裂压力。

3) 化学成份对钢形成白点敏感性的影响可以解释为合金元素对富有氢的成份稳定性的影响。

4) 这一成份在低温分解时会引起白点的形成。假如这一成份是在相当高的温度下分解，这时就没有白点出现。

4. 杜包維 B. Я. 的假說 (1950 年)

杜包維证明氢和组织应力是影响钢中白点形成的主要因素。其他因素都是次要的。析出的进入金属空隙的氢的压力，虽然达到 $120-140 \text{ Kgf/mm}^2$ ，甚至更高，还不足以在钢中形成白点。

杜包維以下面的推论来解释这一点。一层空隙在破裂前有弹性变形，以后塑性变形，且对下面的金属层有压力，这样总的有阻力的金属层可能大于 30 mm 。为了克服这样的阻力及使钢个别部份破裂须要比上述数字大万倍的应力。

杜包維认为白点形成中氢的作用在于使钢饱和氢的部份变脆，所以钢的破裂在弹性变形范围内。

冷却不够慢时钢的内应力是组织应力、热应力和变形应力的总和；冷却时由于相变不均匀和时间不一致、树枝晶轴上和轴间组织成份比容不同所引起的组织应力有特别重要的作用。得到可以达到较大数值的压力和张力。

含氢量小时，钢具有足够的塑性，且不形成白点。

含氢量大时，金属的个别部份产生较大的脆性，在有较大的组织应力时形成白点。钢空隙中氢的压力可以达到较大的数值，但它对白点形成的影响是受到限制的，因为任何一个空隙中的压力受到周围空隙中压力的反作用，以致互相抵消。

空隙中氢气压力提高时，它的吸收、吸附活性也增加了，这样就阻碍了氢气从金属到空隙中的析出作用，因而限制了它的压力。

冷却速度增加时，氢气脱除至大气中的作用减弱，这就阻碍了金属饱和氢的部份的脆性减弱的过程，在低温下在枝晶轴上尤其是在轴间产生的相变会引起组织应力的增加。这些主要因素使钢中形成白点。

其他有些研究工作者赞同杜包维所提出的假说，其中有美国人傑英，萧尔杰里夫和特罗雅诺（Трояно）。

这三个人在 *Journal of Metals* Vol 17 №8, 1955年) 上发表的标题为“钢中白点的形成与氢、显微组织和应力的关系”一文中写到：

冷却时和在室温搁置中形成的钢中白点是氢和应力复合作用的结果。氢造成钢的脆性，而应力使脆性部份破裂，形成白点。由于奥氏体的转变在钢显微容积中形成的应力有最主要的作用。该文作者根据低合金钢等温处理和连续冷却中所得到的资料得出以下的结论：

1. 钢中白点的形成是由两个因素造成的——氢和奥氏体转变的应力；

2. 假使奥氏体全部在M点以上分解，则不形成白点；

3. 在一定的条件下氢含量特别高时不形成白点；

4. 马氏体相对数量较小的有混合组织的钢中形成白点的可能性不大；

5. 在混合组织(马氏体含量少时)的钢中白点形成和氢气的平均含量间，没有依赖关系；

6. 马氏体组织主要会引起位置与钢制件几何形状有关的辐射状裂纹。

这样，作者得出结论：没有因转变而产生的应力时不形成白点；甚至在冷却时产生很小的应力时，由于前述应力也能形成白点。

假如钢中氢的平均含量不是特别高，多半不可能确定白点形成和氢平均含量的依赖关系。

5. 洛施卡烈夫 В.Ф (Лощкарев

В.Ф) 的假说 (1952年

作者提出了下列假说。

必须把钢看作是由大量没有混合的各种不同浓度的氢溶体组成的系统来研究。这些溶体浓度的降低引起溶体在浓度较高时所占体积的缩小。

假如将溶化了的物质排出溶体，那末留下的溶剂就占较小的体积。

由于各部份氢的浓度不一致，从这些部份中排出氢后其原始体积的缩小也不一致。失去氢后体积比周围溶体缩小较多的溶体发现是处于各面拉力状态下。

从所有的体积应力状态系统中各面拉力状态是唯一的使材料有脆裂特征的状态。所以，上述过程会引起白点——没有塑性变形痕迹的有结晶面的脆性内裂纹的产生。

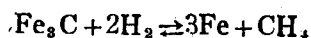
作者认为，用这一假说可以解释白点形成条件及各种钢对白点敏感性的显著区别。使钢破裂，产生白点的不是在显微容积中积聚的氢，而是个别部份拉力引起的体积应力。产生这些应力的原因不是氢气的积聚，而相反是氢气从中析出，与此有关的体积的不均匀缩小，在低温和金属对变形阻力大时的情况下是危险的。

6. 格尔金 Ю.В(Грдин)及祖巴烈夫

В.Ф. (Зубарев) 的假说 (1953年)

作者认为按 $2H_2 \rightleftharpoons H_2$ 反应从固溶体中析出的氢的压力不足以破坏钢的致密性。

作者宣称，确定氢气的假说有困难，假设氢气积聚在纯铁体和渗碳体分界上有缺陷的晶格亚显微空隙中，同时与渗碳体起反应，形成甲烷：



从这一反应中计算出来的甲烷压力可以达到很高的数值 ($1.8 \times 10^4 \text{ K/cm}^2$)。在奥氏

体和純鉄体級鋼中不形成白点，因为没有渗碳体，不发生形成甲烷的反应。在有稳定碳化物的鋼中例如高速鋼中，不可能有形成甲烷的反应，所以这些鋼号沒有白点形成。根据这一假說，白点應該在过共析碳素鋼及鑄造碳素鋼中形成，这一点已由观察証实。非金属夹杂物，不能促进甲烷反应的发展，不可能成为形成白点的中心。所提出的这一假說解释了其他气体，例如氮，大量（0.015%）溶解在鋼中，在晶格中引起較大应力时，不形成白点的原因。也解释了这一事实，就是氢溶解在其他金屬例如鉛中不形成白点。甲烷按 $\text{CH}_4 \rightarrow \text{C} + 2\text{H}_2$ 反应部份分解，在鋼中形成石墨晶核。以后的亚临界長時間加热及晶核成长使白点及直接与白点相連的部份石墨化。这一现象是試驗証明了的。在亚临界溫度 500—600°C 时，氢气从鋼中最快逸出。在較高或較低时，氢气逸出变慢。

增加冷却速度，在过饱和固溶体中固定更多的氢，增加应力，会显著縮短形成白点的潜伏期，提高白点形成的上限溫度。溫度增高时，由于甲烷形成过程滞緩，白点潜伏期也就延长。这些結論与实验結果相符。〔古得历蒙（关于特殊鋼的学說1935年）和恩得立（白点的形成，1947年）也預計到冷却时鋼中有甲烷形成〕。

形成白点的过程取决于鋼中碳化物的性质和数量以及鋼中氢的含量。所以在一定的化学成份时唯一預防鋼中白点的可能性就是去除鋼中氢气。

7. 密西金 B.C. 的假說 (1956年)

B.C. 密西金認為积聚在鋼空隙中的分子氢的压力完全不足以造成金屬的內裂，尤其是在白点形成溫度下氢气压力的数值低。

作者是基于几个研究工作者的有关計算，作出結論的。

假說的作者不否認氢对白点形成的作用，

但推測，白点不是一般認為的靜力破損的結果，而是动力脆性破裂，并且是高速的。

作者認為白点形成机构是这样的：鋼快速冷却时鉄中过饱和的氢气固溶体在室溫或略高的溫度下分解，氢以扩散的方式从鋼中逸出进入大气。

假如在鋼的某些部份扩散緩慢了，那末这里就积聚着氢，低溫时氢有合成分子的趋向。

作者談到为了氢分子的平衡状态分子的二质子間的距离应为 0.74Å，原子趋近这一距离时在极短的時間內（ $10^{-3} \sim 10^{-4}$ 秒）由原子氢形成分子氢，放出将近每克氢 55 卡的結合能。

假如金屬各向同性，那末厚壁容器內部不会因氢气轉变成形成裂纹，而只是有金屬的局部加热。假如在分子氢形成的地方有一边的不均匀性，那末所放出的能会引起脆性破裂——白点的萌芽，而以后的分子氢形成过程中放出的能量增大裂纹。这种破裂是突然爆发的。甚至在金屬中氢气分布均匀，沒有应力时这一能量完全足够形成白点。在由于氢轉变的能量加热的极薄的裂纹（白点）层中，可能形成甲烷，放出每克氢 4.5—5.0 卡能量，会引起裂纹的扩大。

鋼中碳愈多，形成甲烷的可能性愈大，当然形成白点的可能性也愈大。作者認為，用这一假說可以解释伴随着白点形成的一些现象，及所研究的各种因素对鋼中白点形成的影响。

作者得出結論，防止氢入鋼中及排除鋼中的氢气是防止白点形成的主要方法。

8. 証实辛克 (Шенк)，施台別尔克

(Штейнберг) 假說的正确性

在鋼中形成白点的分子氢假說的代表們用以下方法維護这一假說和解释受到其他假說作者評論的一些形成白点的某些现象。关于鋼的显微孔隙中分子氢的压力不足以引起破裂的問題，分子氢假說的辯护者宣称，在显微空隙的

表面上氢原子结合成为分子。温度高于 300°C 时氢逸出的过程成为可逆的，就是分子氢在铁和钢的表面上分解为原子。在低温时氢在表面的分解及在铁晶格中的分解实际上停止，但继续有氢逸出。过程成为不可逆的，显微空隙中氢的压力不断增长。

古德历蒙在他 1956 年出版的“特殊钢手册”一书中引用了施兰德尔和派兰日彼 (Шп-адер и Паренже) 氢从钢中逸出时的压力和温度及含量的关系曲线图 (1954 年在印度发表)。假如钢中每 100 克有将近 8 立方公分氢，那末根据该曲线在所述温度下氢的压力应该近似符合以下数值：

600°C 时钢中分子氢的压力 = 50 大气压。

400°C 时钢中分子氢的压力 = 500 大气压。

200°C 时钢中分子氢的压力 = 3 万大气压。

100°C 时钢中分子氢的压力 = 1 百万大气压。

从以上数据可以看出钢显微空隙中分子氢的压力可能是非常大的，再加上组织转变时的应力完妥可以引起金属内裂，形成白点。关于马氏体级钢对形成白点敏感性最大的原因，分子氢假说的辩护者是这样解释的：

形成马氏体组织的合金元素在空冷时显著增加 Ac_1 — Ar_1 的滞后现象， α 相在很低的温度时出现，在这一温度氢的扩散速度不大，而在 γ 相中氢的扩散也小。这样可以解释 CrNiMo 和 CrNiW 钢比 CrNi 钢白点敏感性高的原因。含锰低的碳素钢中没有白点可以这样解释，这种钢的组织转变是在高温下进行的，这就促进了原子氢在 α 铁中扩散。锰由于增强各向异性，提高了白点敏感性，所以锰愈少，钢的各向异性愈少，白点敏感性也愈小。纯铁体、奥氏体和莱氏体钢中没有白点解释为这种钢含有大量形成稳定氢化物的元素 (钨和其他)，这些氢化物几乎结合了钢中所有的氢，预防了白点的形成。白点方位按变形形状分布 (例如，锻造十字)，某些研究人员用塑性变形引起的残余应力来解释。锻造十字是剧烈的塑性变形

区。加工温度低和锻件空冷时锻造十字区域形成的应力尤其更大。除了锻造十字中产生附加应力外，这一部份金属比较密致，使氢难以透过。从实践中可以知道白点在钢最密实的部份形成。

扩散退火时氢气逸出，不积聚在显微空隙中，钢不破裂是由于以下原因：温度高于 300°C 时，在钢显微空隙表面影响下分子氢开始分解，温度愈高，这一过程进行得就愈剧烈。随着温度的增加原子氢在 α 铁中扩散也增加，就会从钢中逸出进入大气中。

由于以下原因钢的表面层显微空隙中没有氢气积聚。

金属冷却时在外面的较冷的部份由于氢气进入大气，及部份进入较热的内层，(较热的内层有大的溶解度和较小的饱和氢的程度) 氢气含量减少。

低温时，当从钢中扩散出的氢开始渗入显微空隙，而且只是离表面某一深度的显微空隙时，氢的情况的显著变化可以这样解释：

冷却时从钢中扩散出的原子氢积聚在空隙中逐渐形成分子氢。温度在 300°C 和 300°C 以下时，由于停止了分子氢的分解，分子氢的形成速度大大增加。这时金属表面层温度较低，扩散能力弱，含氢少，所以实际上全部逸出的氢以分子状态积聚在金属深处的显微空隙中。

所列举的钢中白点形成机构的新假说有缺点，也得到了冶金部门个别科学工作者和生产单位工作人员的评论。

新的假说虽然有一些缺点，但有很大意义，对探讨白点形成的理论有一定的贡献。

9. 1954 年在苏联召开的钢中白点形

成理论科学技术会议的决议

以在钢的显微空隙中形成分子氢及其压力来解释发生白点的机构和性质的旧假说，由于得到新数据而更巩固，且被很多人承认，这一点在 1954 年在苏联召开的钢中白点形成理论的科

表 1

10 形成白点的各种假说的简明图

分子氢假说	分子氢—組織假说	分子氢—成份假说	原子氢—組織假说	原子氢—容积分假说	甲 院 假 说	氢—甲烷—热分假说
辛克, 施台别尔克 1932—1935年 $H(\gamma Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H_2(\alpha Fe)$ $\downarrow$ $P_{H_2}(\alpha Fe)$ $\downarrow$ F	苏联1941年 會議決議 $H(\gamma Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H_2(\alpha Fe)$ $\downarrow$ $P_{H_2}(\alpha Fe)$ $\downarrow$ $P_{H_2}(\alpha Fe) + P(\gamma \rightarrow \alpha)$ $\downarrow$ P $\downarrow$ F	恩得留 1947年 $H(\gamma Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\gamma Fe)$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe)$ $\downarrow$ $H_2(\alpha Fe)$ $\downarrow$ P_{H_2} $\downarrow$ $P_{H_2} + P$ $\downarrow$ F	杜博維; 傑英 1950年; 1955年 $H(\gamma Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe)$ $\downarrow$ 脆性 $P(\gamma \rightarrow \alpha) + \text{脆性}(Fe)$ $\downarrow$ F	洛施卡烈夫. 1952年 $v_{Fe} = v_{Fe}^0 + v_H^0 \rightarrow A$ $\downarrow$ $v_{Fe}' = v_{Fe}^0 + v_H'$ $\downarrow$ $P = f\left(\frac{v_{Fe} - v_{Fe}^0}{v_{Fe}'}\right)$ $\downarrow$ F	格爾金; 祖巴烈夫 1953年 $H(\gamma Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H_2(\alpha Fe)$ $\downarrow$ $2H_2 + Fe_3O_4 \rightleftharpoons CH_4 + 3Fe$ $\downarrow$ P $\downarrow$ F	密西金 1956年 $H(\gamma Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H(\alpha Fe) \rightarrow A$ $\downarrow$ $H_2(\alpha Fe)$ $\downarrow$ CH_4 $\downarrow$ P_{CH_4} $\downarrow$ $P_{CH_4} + P_T$ $\downarrow$ P $\downarrow$ F

H—原子氢; P—应力; A—大气; v_{Fe} —原始的Fe元素容积分; P_T —热应力; H_2 —分子氢; F —白点; v_{Fe}' —去除部份氢后所得到的Fe元素容积分。