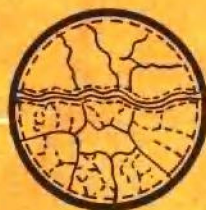


焦炭在二次加热时 主要变化规律

〔苏联〕 К·И·塞斯科夫 合著
О·В·维尔比茨卡雅



中国工业出版社

81.6313
658
C.3

焦炭在二次加热时 主要变化规律

[苏联] K.И. 塞斯科夫 合著
O.В. 维尔比茨卡雅
高彬升 译



中国工业出版社

本书中阐述了焦炭在二次加热时的破坏原理和规律，焦炭物理机械性质的合理评定方法的基础和焦炭热稳定性的鉴定方法。

为了能够实际应用著者所提出的关于焦炭热破坏过程的见解，书中叙述了焦炭物理机械性质的新评定方法。这些方法可以用来评定炼焦原料煤，也可以用来评定高炉焦炭的质量。

提出的见解，可以用来判断块料生成裂纹的原因，例如碳质石墨制品在焙烧时生成裂纹的原因。

本书供科学研究所、工厂试验室和工业企业工作人员参阅。

К.И.Сысков, О.В.Вербицкая
ОСНОВНЫЕ ЗАКОНОМЕРНОСТИ
ПОВЕДЕНИЯ КОКСА
ПРИ ВТОРИЧНОМ НАГРЕВАНИИ
МЕТАЛЛУРГИЗДАТ
МОСКВА—1962

* * *

焦炭在二次加热时主要变化规律

高彬升 译

*

冶金工业部科学技术情报产品标准研究所书刊编辑室编辑

(北京灯市口71号)

中国工业出版社出版(北京佟麟阁路丙10号)

北京市书刊出版业营业许可证出字第110号

中国工业出版社第三印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行·各地新华书店经售

*

开本 $850 \times 1168 \frac{1}{32}$ ·印张 $3\frac{1}{2}$ ·字数87,000

1964年10月北京第一版·1964年10月北京第一次印刷

印数0001—1,870·定价(科六)0.55元

*

统一书号: 15165·3202(冶金-527)

前 言

由于高炉生产的强化和采用天然气与富氧鼓风，1960年召开的全苏炼焦工作者會議提出了号召——改善高炉焦炭的质量：增大焦炭的块度和强度，并进行探索焦炭綜合质量指标的工作。为了彻底解决这些問題，需要知道焦炭在二次加热时的变化，因为它影响着高炉中下层燃料的块度和强度。在比炼焦溫度高的溫度条件下使用焦炭时，焦炭不可避免地会改变它的結構，而且往往会改变它的顆粒組成，从而影响到它的綜合质量指标的数值。

近几年来，在这方面进行了大量的研究工作，发表了許多論文。这些論文探討了有关在高炉条件下的二次加热对焦炭质量指标的影响；但是有关这些影响的見解有时是相互矛盾的。

在現有的文献中，几乎沒有闡述过焦炭在二次加热时破坏过程的理論問題。本书总括了現有的有关焦炭在二次加热时变化的見解和資料，并提出了供評定焦炭物理机械性质用的綜合指标的測定方法。

对讀者在閱讀本书时提出的意見著者預先表示深深的謝意。

目 录

前 言

緒 論	1
第一章 焦炭在二次加热时的主要变化規律	4
第二章 二次加热对焦炭化学成分、性质和結構的影响	9
第三章 最終炼焦溫度和焦炭成熟程度对焦炭 热稳定性的影响	15
第四章 焦炭顆粒組成的形成和焦炭质量的評定	18
第五章 高炉中的焦炭及其顆粒組成的变化	24
第六章 焦炭构造的均一性及焦炭的热稳定性	29
1. 单种烟煤或褐煤炼得的焦炭的热稳定性	29
2. 粘結性煤混合物制得焦炭的热稳定性	32
3. 掺有长焰煤、气煤、貧煤、无烟煤和焦粉的煤料炼 得焦炭的热稳定性	36
4. 煤的破碎对焦炭热稳定性的影响	43
5. 鉄焦的热稳定性	44
第七章 焦炭性质在热状态下的測定	48
第八章 焦炭性质在冷态下的測定及其热稳定性的評定	54
第九章 焦炭热稳定性的測定方法	58
1. 取样	58
2. 加热速度和最終加热溫度的选择	60
3. 推荐的焦炭热稳定性的測定方法	62
4. 焦炭热稳定性的計算实例	65
第十章 焦炭物理机械性质的評定方法	66
1. 測定煤粘結性时焦炭物理机械性质的評定	68
2. 按米古姆轉鼓試驗資料評定焦炭	81
3. 用高炉冶炼試驗証明評定焦炭时考虑热稳定性的必要	93
結 語	102
参考文献	105

緒 論

在焦炭物理机械性质的主要指标中，焦炭的热稳定性占很重要的地位〔1〕。

全苏炼焦工作者會議提出的任务中，热稳定性的研究是特別令人注意的，因为它是焦炭能否保持原有顆粒組成和强度的特性。在四分之一多的世紀期間內，对焦炭的这个性质的研究作过了很多的工作。过去之所以需要作这类的研究，是为了查明焦炭在高炉中自装料面移至风口时顆粒組成显著恶化的原因。

在作过的一些工作的基础上，产生了这样的概念，即促使焦炭在高炉中破坏的因素有：机械破坏作用，气体、蒸汽和渣的侵蝕作用，以及热破坏作用。这些因素中的每个因素，对焦炭性质的影响的深度还没有搞清。虽然如此，还是提出过这样的概念：热稳定性对焦炭在高炉中破坏过程的影响較其他因素为大。过了一些时候，又形成了另一种概念，即焦炭在高炉中的机械破坏作用对其顆粒組成的影响最大，热稳定性的影响次之。

在此研究中，著者試圖弄清在二次加热到高炉操作溫度时，焦炭性质的实际变化，并想对就此問題所发表的相互矛盾的論断給予解释。

焦炭物理机械性质在热作用下的变化原因，是根据焦炭构造的均一性和焦炭結構形成过程完結的条件来分析研究的。因此，綜合了单种烟煤和褐煤制得的焦炭的热稳定性的鑑定工作。这种类型的焦炭与多組分煤料制得的焦炭比較，是构造比較均一的焦炭的代表者。

探討了构造均一程度較差的焦炭的热稳定性的鑑定工作；这些焦炭是用粘結性煤混合物，粘結性煤与长焰煤、貧煤、无烟煤、焦粉及大量气煤配合的混合物制得的。同时也討論了鉄焦的

热稳定性。

討論和綜合这些工作是具有很大实际意义的，因为扩大炼焦煤基地的途径，在近些年来，要沿着日益扩大弱粘結性气煤用量的方向发展。

在无法消除的大量缺乏瘦粘結煤的情况下，煤料中还可能配用貧煤和长焰煤〔2,3〕。煤料中配入弱粘結性煤和不粘結的煤，一定会影响焦炭构造不均一程度的增大。

在高炉的实际操作中，曾发生过这样的情况，当高炉使用配有5—10%的貧煤煤料制得的焦炭操作时，虽然焦炭的机械强度是很好的，但高炉的冶炼强度下降了〔4〕。这是由于焦块中沒有粘結的煤粒在高炉中剝落，因而炉腹內积存了大量粉焦的緣故。为了解决炼焦配煤中使用貧煤的問題，必須弄清产生此現象的原因，并設法消除它。

随着現有的大容积高炉的投产，将会对焦炭质量提出更严格的要求〔5〕。这种情况表明，为評定作为高炉燃料用的焦炭质量，必須具有合理的評定方法。

大家已从炼鉄实际經驗中知道，有很多情况是由于焦炭的某些质量指标完全不符合高炉的操作而发生的〔6〕。

这說明，焦炭性质与焦炭在高炉中变化的关系，到現在还没有完全搞清，因此拟定焦炭物理机械性质的可靠的評定方法，仍旧是迫切的問題。因为焦炭的热处理会改变它的原有性质，所以在評定焦炭时，需要引用焦炭在二次加热时可能发生变化的校正值。

为了更深入地說明焦炭在二次加热时的变化，討論了焦炭加热到高炉操作溫度时的化学性质，物理化学性质和分子結構变化的研究著作。

在綜合焦炭热稳定性的研究著作的同时，討論了决定焦炭物理机械性质在二次加热时变化的原因，并提出提高焦炭热稳定性的一些途径。特別指出，所有提高焦炭构造均一性的措施，諸如：減少煤料組分，煤料的选择粉碎，煤的深度洗选，以及炼焦

过程进行到焦炭結構形成过程完結为止等，都是提高焦炭热稳定性的手段。

本文內討論了焦炭热稳定性的鑑定方法和热稳定性的合理的評定方法的基础。

写这本书的目的，是为了使讀者了解有关热稳定性的研究的試驗資料，热稳定性的測定方法（包括本书著者拟定的方法）和热稳定性对焦炭在正常溫度和較高溫度下的强度的影响。这可以帮助我們在進行測定冶金焦物理机械性质的研究工作时，查明更切合高炉操作的方法。

在所討論的問題方面，資料还非常少，因此著者不强求对本題作出全面完整的闡述，但认为尽最大的可能把积累的資料綜合給大家参考还是合理的。

用人工仿造焦炭在高炉中具有的特粒組成的研究表明，焦炭的評定，应当根据在不同的轉鼓轉数下得出的焦炭篩分分析数据来进行〔6, 7〕。这些試驗資料，使我們对焦炭质量評定方法的要求提出了根本不同的任务。不研究焦炭的热稳定性和成熟程度的問題，就不可能解决这样的任务。

本书結尾中，敘述了考虑热稳定性在內的焦炭試驗方法。此方法表明，目前評定焦炭质量和解决冶金燃料基地的問題时，这个重要的性质是不能忽略的。

所提出的焦炭质量（物理机械强度）的新的評定方法，目前仅是某些研究所和莫斯科門捷列夫化工学院在進行研究工作时采用的。这些方法还没有經過工业条件下的長時間試驗。因此，把这些方法广泛地加以介紹，以便大家采用和在生产条件下檢驗，是著者非常希望的。

第 一 章

焦炭在二次加热时的主要变化规律

焦炭在二次加热时，其强度和粒度组成的变化取决于许多因素。与煤的炼焦过程一样，在焦炭二次加热过程中，出现互相矛盾的两个方面：一方面发生多孔体的坚固化过程，另一方面发生焦炭生成裂纹和其他缺陷（过剩气孔和蜂窝）的过程〔8〕。

在二次加热时，如果说多孔体的坚固化过程可以提高焦炭强度，那末结构缺陷的产生过程，就会降低焦炭强度。在二次加热时，若物料坚固化过程比缺陷的产生过程进行的程度大，焦炭强度就会增大，反之，其结果就相反。

分析了相互矛盾的两个方面，就可以找出焦炭在二次加热时的某些变化规律。

焦炭的变化早在焦炉炭化室中在温度和时间的影响下就发生了。假如焦炭不熟，它的块度就大，多孔体的强度就低。这样的焦炭，在焦炉或高炉中进一步加热时，遭受到热破坏作用。这一过程所耗的总功，具有非常重要的意义，因为可以更有根据地评定焦炭的破坏程度。

焦炭的机械破坏和热破坏，两者的性质是不同的。焦炭的热破坏过程，更近似破碎过程，大块变成中块是它的特点。与热破坏过程不同，在机械破坏过程中产生的细颗粒较多。

- 在二次加热时，焦炭既在惰性的又是在化学活性的气氛中被破坏的。二次加热引起焦炭的热膨胀。因此，对所有焦炭来说，加热速度和焦炭构造的均一性，对焦炭热稳定性的影响都很大。

在高炉冶炼过程中，有可能发生各种不正常情况，可能发生几乎相当于“热冲击”的迅速加热。在此条件下，如果焦炭的热

稳定性低，就可能造成高炉炉况的进一步失调。

我們的試驗表明，在每分钟 $2.5-3^{\circ}\text{C}$ 的慢速（相当于焦炭在高炉中的加热制度）和快速（热冲击）加热时，焦炭表现的性状是不同的。为了说明，在图 1 中列出了加热到 1350°C 的試驗室焦炭示意图；图的上半部是以每分钟 3°C 的速度加热的試样，下半部是以高速加热的試样。图 1 中虚线表示加热时生成的裂纹。試样的上半部与下半部的比較表明，在“热冲击”条件下的加热，引起了焦炭新裂纹的生成，而在慢速加热时，不生成新裂纹 ①。

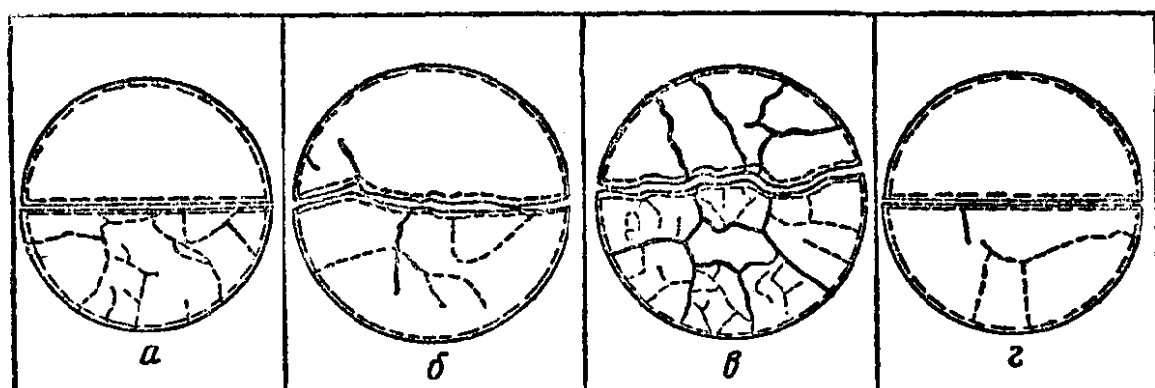


图 1 試驗室焦炭加热到 1350°C 二次加热速度对焦炭表面裂纹的影响

a—K 煤焦样；б—ПЖ 煤焦样；в—Г 煤焦样；г—ПС 煤焦样；
——原焦样裂纹；----加热时生成的裂纹

从图 1 中可以看出，在“热冲击”条件下，即便是用单种煤炼得的构造均一的焦炭，也发展了新的裂纹。在正常条件下，即在焦炉和高炉順行的加热条件下，远不是所有焦炭都发生热破坏，就是有热破坏，焦炭表面上也不出现明显发展的裂纹网。在通常的加热速度下，遭受破坏的是那些构造不均匀的焦炭，因为构成焦炭的各组分热膨胀度不同。

在 B.C. 維謝洛夫斯基的著作中 [9]，给出了各种碳质材料的线膨胀系数，在 $25-1900^{\circ}\text{C}$ 范围内，这些系数的波动范围为 $2 \cdot 10^{-7}-1 \cdot 10^{-6}$ ，即将近变化到 20 倍。O.B. 維尔比茨卡雅 [10]

① O.B. 維尔比茨卡雅“煤和煤料的加热制度对焦炭物理机械性质影响的研究”，可燃矿物研究所基金院士学位论文，1953 年。

对不同牌号煤的焦炭确定的綫膨胀系数如表 1 所示。

在 20—900°C 范围内焦炭平均膨胀系数

表 1

組	煤 牌 号	平 均 綫 膨 胀 系 数
1	Д	10.8×10^{-6}
2	ПЖ	4.6×10^{-6}
	К	5.25×10^{-6}
	煤料	4.55×10^{-6}
3	Г	2.6×10^{-6}
	ПС	2.39×10^{-6}
	Т	2.15×10^{-6}
4	А	1.45×10^{-6}

根据 20—900°C 范围内的平均綫膨胀系数值，我們把所研究的焦炭分成 4 組。从表 1 中的数字可看出，第 1 組試样的綫膨胀系数比第 4 組大到 7 倍。

近几年来进行的显微鏡下的研究〔11—13〕很清楚的表明，煤粒是从表面粘結在一起的。在这里仅发生顆粒的粘合現象，并不存在任何溶解和扩散。因此，焦炭的材质可視為是一种复杂的集聚物。

Б.А.奥努塞基斯〔14〕把結構分为两种：当焦炭中看不見煤料各組分原顆粒之間的界綫时，为整体結構；当煤料顆粒之間保存了表面分界綫时，为集聚結構。此复杂結構在二次加热时，如果因膨胀系数不同而产生的应力大时，会引起显微裂紋。

焦炭质料各組分的膨胀系数值的差別越大，則在热处理时其强度的降低越大。当煤中存有大顆粒矿物杂质，煤料中配入大量不粘結組分和煤料岩相組成不均匀时，就会发生这种情况。

冶金焦中含有 9—11% 的灰分。灰分本身的組成內含 SiO_2 ， Al_2O_3 ， Fe_2O_3 ， CaO ， MgO 等金属氧化物，在炼焦过程中会发生部分地 Fe_2O_3 的还原过程。

当焦炭被加热到高炉冶炼溫度时，在炼焦过程中沒有还原的氧化鉄，依靠焦炭的碳繼續进行还原，而其他氧化物变成渣，进

一步又发生渣的熔化。所有这一切，都促使焦炭形成空洞和蜂窝，使焦炭气孔率增高、灰分降低。而这些现象又引起焦炭原结构改变，强度降低。

因此，焦炭热稳定性取决于两个因素的比，即：对焦炭块度有良好影响的焦炭质料坚固化因素和灰分组分靠焦炭的碳还原反应所促成的焦炭强度减小因素的比。对铁焦来说，氧化铁靠焦炭的碳还原的影响特别大。

通常，铁焦中不是所有氧化铁都被还原，其中一部分呈低价氧化物存在。在二次加热时，铁焦继续发生化学变化，发生煤料铁矿组分的还原和焦炭的碳的消耗。由此可能引起铁焦结构的松弛现象，使其多孔质料的强度下降。目前对制取与铁焦类似的煤熔材料的问题，给予特别重视，因此，需要详细地研究这种材料在二次加热时的破坏原因。显然，这种新的煤熔材料在国民经济中的应用，将取决于它的热稳定性的大小。

在化学活性的流动介质（氧，二氧化碳）中二次加热时，构造不均一的焦炭破坏过程也伴随着焦炭的侵蚀。后一现象是在构成焦炭构造的各组分化学反应不均匀时产生的。当其他条件相同时，活性气体吹扫焦炭的速度越大，则侵蚀作用越大。

由此可见，对焦炭热稳定性有影响的因素是：最终炼焦温度，焦炭成熟程度，焦炭构造均一程度，侵蚀作用，以及焦炭的碳同焦炭组成内某些矿物组分可能发生的化学反应。

在二次加热时，有些因素促使焦炭强度提高，另一些因素对焦炭强度起着不良的影响。各因素对焦炭强度的影响程度不同。因此，在备煤和炼焦过程中，可以消除其中的一些最坏的因素，借而有利地影响到焦炭在二次加热时的性状。

由此可见，对影响焦炭热稳定性的诸因素进行研究之后，就有可能拟定提高焦炭热稳定性的措施。

根据上文，将焦炭在二次加热时的主要变化规律归纳如下：

1. 焦炭在二次加热时的变化，是两个作用相反的过程影响的结果，即对焦炭强度有利的、焦炭质料坚固化过程；和由于形

成对焦炭强度指标影响不利的宏观及微观裂紋、过剩气孔、蜂窝等缺陷造成的焦炭原始結構破坏过程。

2. 焦炭在二次加热时的坚固化，是分子結構改变而引起焦炭质料进一步密实的結果。

3. 在二次加热时，焦炭的破坏与下列因素有关系：焦炭的成熟程度，焦炭构造的均一性，焦炭的碳同煤料某些組分的化学反应和二次加热速度。

a) 結構形成过程沒有結束的焦炭，在二次加热时，与其质料坚固化的同时产生裂紋；当加热速度高时，这些裂紋产生的最多，从而造成焦炭顆粒組成指标的降低。

б) 与用粘結性煤配合煤料或单种煤制得的焦炭相比較，用配入不粘結添加物的煤料制得的焦炭，其构造是不均一的。在二次加热时，构造不均一的焦炭强度之所以下降，是由于生成了显微裂紋，而此裂紋是由于煤料各組分膨胀系数不同而产生的应力造成的。

в) 在二次加热鉄焦时，在还原反应中可能消耗焦炭的碳，使得在炼焦过程难还原的氧化鉄，引起形成弱构造的部分和气孔缺陷，降低焦炭的强度。組成矿物杂质的氧化物，在小的規模之內有类似的現象进行。

г) 在二次加热时，焦炭的破坏在頗大程度上取决于焦炭沿半径膨胀的不均匀性。因此，在快速加热（“热冲击”）情况下，所有焦炭都会生成显微裂紋。

4. 根据焦炭在二次加热时的形状，可将焦炭分成三类：用粘結性单种煤或煤料炼得的构造均一的焦炭；用粘結性煤和不粘結性煤配合的煤料炼得的构造不均一的焦炭；用粘結性煤和不粘結添加物（能与焦炭的碳起反应的）配合的煤料炼得的构造不均一的焦炭。

下文的专题內，在具体的試驗資料的基础上，比較詳細地探討了上述主要因素对焦炭热稳定性的影响。

第 二 章

二次加热对焦炭化学成分、 性质和结构的影响

在二次加热的影响下，焦炭的化学成分及物理-化学性质的变化实例如表 2 所示〔15〕。

二次加热时焦炭性质的变化

表 2

焦 炭	成 分, %			灰分 %	燃烧热 卡/克	电 阻 欧姆/ 毫米 ² ·米	比 重 克/厘米 ³	反应性
	C	H	S					
原焦	80.42	0.50	0.96	—	7952	587	1.916	50.4
加热至1200°C时	90.42	0.22	0.87	8.42	7890	366	1.984	44.0
加热至1750°C时	95.20	0.16	0.50	4.14	7944	114	2.075	27.0

煤的变质程度对二次加热的焦炭性质的影响如表 3 所示〔15〕。加热到 1750°C 的焦炭，其化学成分及物理-化学性质的变化很大：灰分、氢和硫的含量显著减少。在 X 光照片上明显地显出石墨特征。当焦炭被加热到 1200°C 时，平均燃烧热有些降低，而

加热时焦炭性质的变化与煤变质程度的关系

表 3

焦 炭	电阻, 欧姆/毫米 ² ·米			实际比重, 克/厘米 ³			反 应 性		
	变 质 程 度								
	低	中	高	低	中	高	低	中	高
原焦	677	555	584	1.852	1.921	1.949	44.2	51.1	53.2
加热至1200℃时	471	351	323	1.883	1.998	2.019	35.8	45.0	47.4
加热至1750℃时	192	101	86	1.961	2.062	2.083	30.0	27.2	24.3

当加热到 1750°C 时，又重新升高。反应性和电阻系数随加热速度的提高而降低，而焦炭的实际比重则随之提高。

一种焦炭转为另一种焦炭时，成分和性质的变化很大。变质程度低的煤炼得的焦炭，其电阻系数较高，比重较低。年老的煤炼得的焦炭，其电阻系数较低，比重较高。在加热到较高的温度时，仍然保持着这样的关系。

近几年来，对加热到不同温度的焦炭进行了很多 X 光研究。

A.E. 勃列斯列尔, B.И. 札巴文和 A.M. 朱布克 [16] 在 $450, 500, 600, 750, 900, 1200$ 和 1500°C 加热温度下，研究了 Г 煤及 OC 煤炼得的焦炭。

根据作过的研究，我们可以肯定，与以前提出的焦炭是石墨结晶结构的观点相反 [15]，焦炭的基本结构不是三度结晶，而是彼此方向不定的平行排列的芳香族网格组。在由 350 至 1200°C 的加热过程中，靠挥发分排出过程中脱出的碳，发生激烈地增网格现象。

A.M. 朱布克和 E.3. 斯彼克托尔 [17] 用 X 光照相法，研究了自高炉不同高度上取出的焦炭。焦炭取自高炉炉顶、第一和第二料面，炉腹，炉缸和出铁口。这些点大约相当于 $400, 750, 1000, 1500, 1800$ 及 2000°C 温度区。他们得出的结论是：当焦炭移到低于高炉料面时，部分焦炭石墨化，改变了本身的物理和机械性质。在取自出铁口的焦炭中，出现了大而完整的石墨结晶。从炉腹和更低的部分起，焦炭结构中出现两个部分：由平行芳香族网格构成的组和石墨结晶。

这两位著者指出，不同的焦炭其石墨化开始温度亦不同。例如，高尔罗夫斯克焦化厂的焦炭在高炉中开始石墨化的部位，比莫斯科炼焦煤气厂的焦炭的要高得多。

著者根据取自高炉中的焦炭和在相应温度下灼热的试验室焦炭的研究比较断定，焦炭在高炉中随着自炉顶至出铁口移位的程度而发生的结构变化，与同样的焦炭在试验室于同样温度和真空中灼热的焦炭结构变化不相同。在高炉中，焦炭石墨化开始温度

低。

M.A.达維多娃, B.И.卡薩托奇金, Л.Н.穆哈諾夫和E.M.泰茨〔18〕用X光結構分析法及显微硬度和破碎强度試驗法,研究了安格連褐煤,长焰煤(庫茲巴斯列宁产地茹林斯克煤层), 頓涅茨无烟煤(涅斯維泰——无烟煤托拉斯)和气煤热处理产品。他們认为, 与焦炭相类似的、具有空間聚合結構的材料, 其机械性质取决于原子間化学鍵的性质和数量, 也取决于焦炭中未松弛的內应力的的大小。在此情况下, 物料的不均匀性和能够显著降低物料强度的显微裂紋的数量的增加具有很大的意义。

他們根据焦炭分子結構的变化(表現在芳香族网格的增长和网格間整序程度上)来研究煤在热处理时机械性质的变化。他們划分出半焦——焦炭在加热过程中的三个变化阶段。

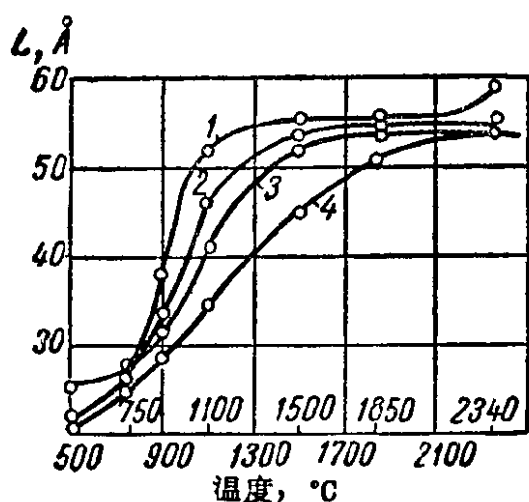


图 2 芳香族碳平面网格尺寸 L 的变化与温度的关系曲线

1—无烟煤; 2—气煤; 3—长焰煤;
4—褐煤

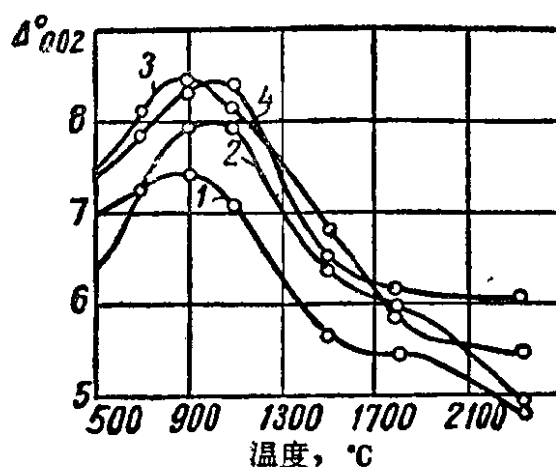


图 3 网格間整序程度随温度的变化曲线

1—无烟煤; 2—气煤; 3—长焰煤;
4—褐煤

在第一阶段, 由 500 至約 1000°C 温度范围内, 进行着芳香族网格的增长过程(图 2)。在煤的热处理过程中产生的側基的破坏, 使价鍵空間晶格数量增多, 由此而引起网格間的不整序性(图 3)。因此可能产生內应力的增长, 因而出現显微硬度的增高(图 4)。由于煤在一定温度下开始变脆, 所以在此温度范围抗碎强度降低(图 5)。

在第二阶段，由 1000 至 1800°C 范围内，芳香族碳原子晶格的增长过程，在烟煤中终止，而在褐煤中则继续。侧基的再化合过程，只能部分地补偿破坏过程。因此，芳香族碳层间的空间侧基网格的数量减少，有了内应力松弛的条件。所以网格间整序程度增大（见图 3），显微硬度减小（见图 4）。在此阶段，破碎强度提高（见图 5），可能是由于松弛速度增高而内应力减小的缘故。

在第三阶段，由 1800°C 起，网格间整序曲线和显微硬度曲线是缓慢倾斜的。每一种煤都有它自己的极限网格间整序值，其整序程度随煤的年龄而增长。显微硬度取决于芳香族碳层之间没有破坏的空间键的数量。因此，不同的煤的显微硬度值与网格间整序程度是不相适应的。在此阶段中，破碎强度之所以提高，是由于在此温度范围内物料的塑性增大，在破碎过程中需要补加的功用于可塑变形。

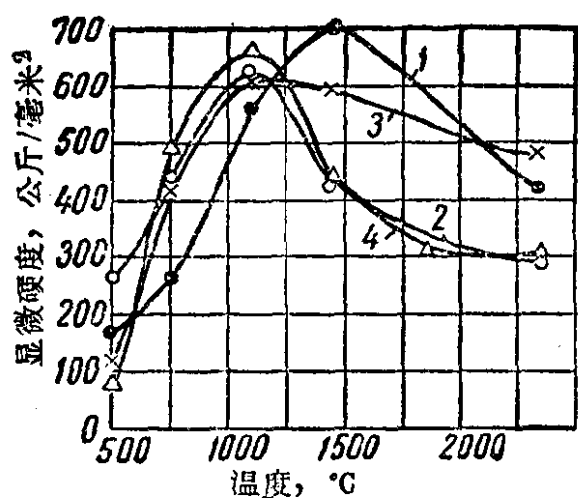


图 4 显微硬度的变化与热处理温度的关系曲线

1—无烟煤；2—气煤；
3—长焰煤；4—褐煤

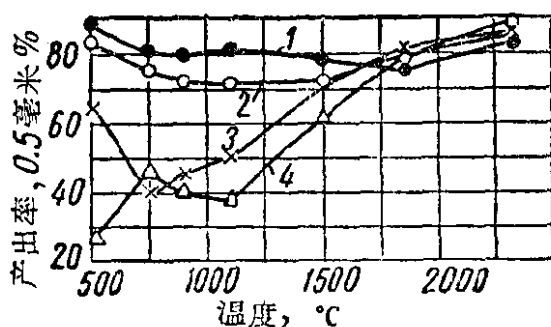


图 5 破碎强度的变化与热处理温度的关系曲线

1—无烟煤；2—气煤；
3—长焰煤；4—褐煤

此研究工作具有重大的实际意义，因为长焰煤、褐煤和无烟煤都有可能作为制取冶金焦的煤料的组分。此研究工作表明，长焰煤和无烟煤超过 1100°C 和褐煤超过 1400°C 后的热处理产品的物质强度（显微硬度）开始下降。正是我们下面将要指出的那