共炭化における石炭塊内の光学的異方性組織の展開

持田 勲^{*1)}, 前田 恵子^{*1)}, 竹下健次郎^{*1)}, Harry MARSH^{*2)}

石炭と添加剤の共炭化による光学的異方性組織の展開における石炭成分の物質移動の効果を議論するために、半無煙炭から亜れき青炭に分類される4種のイギリス塊炭と水素化—石油ピッチとの共炭化生成コークスを顕微鏡で検討した。強粘結炭では塊炭の境界は全く消失しほぼ全面に $M_c \sim F/D$ 組織が展開し、微粉炭共炭化の場合と同様であった。これに対して、半無煙炭、弱粘結炭、亜れき青炭は、いずれも石炭塊の周囲は異方性発現に対して添加効果が顕著であるが、塊内部となるに従って効果が小さくなりついには石炭単独炭化の組織となる。塊内部であっても、細孔周辺に異方性の展開が認められた。つまり、石炭成分の物質移動、添加剤の石炭細孔内拡散が重要である。

1. 緒 言

石炭はエネルギー源のみならず、製鉄用コークス源として重要であるが、良質のコークスの原料は主に粘結炭に依存している。しかし、これら原料の不足を補い、資源の有効利用を図る点で、低品位炭から良質コークスを製造することが緊急の課題となっている。すでに、成型炭配合法^{1),2)}、成型コークス法³⁾が開発され、企業化されている。いずれの方法でも、使用する添加粘結剤が極めて重要な役割を果たしている。松本ら⁴⁾はかっ炭と石油ピッチの配合により、強粘結炭に類似した粘結性、つまりコークス強度をもつソルボリスピッチが生成すると報告している。真田ら⁵⁾は、石炭と添加剤の相溶性の観点から共炭化反応におけるコークス化を考察している。ところで、コークス中に展開する光学的異方性組織はコークスの強度、とくに反応後強度に関連する重要な構造因子である。従って、非粘結炭をコークス源として利用する際には、この異方性組織の展開を計ることが極めて大切となる。この観点に立って、著者らは先に、種々の品位の粉炭と添加剤との共炭化を検討し、石炭の異方性組織の拡大をもたすことが可能であることを示した^{6),7)}。石炭/添加剤の共炭化系においても、ピッチ類の炭化でしばしば認められるように、異方性組織の展開はメソフェースの形成、成長、合体の段階を経由するものである。こうした経路が可能であるためには、非熔融の石炭は添加剤の助けにより熔融状態を経ることが必須となる。この熔融状態は石炭の添加剤への溶解、もしくは添加剤による液化反応を通じて実現するものである⁷⁾。これらの反応においては、石炭あるいは添加剤成分の相互拡散による混合が、ひとつの支配因子となりうる。特に非熔融の石炭にあっては、固体の石炭と添加剤との接触によって液化が初めて進行するから、成分の拡散が不可欠である。こうした状況での物質移動は石炭粒の寸法と密接に関連してくることになる。

本報では、共炭化過程における石炭塊内の光学的異方性組織の展開を、相互成分の物質移動の観点から議論するために、半無煙炭から亜れき青炭に分類される4種の塊炭の共炭化を、これまで著者らが開発した強力な添加剤である水素化した石油系ピッチ水素化アシュランドピッチ (H-A 200) を使用して検討

した。

2. 実 験

2.1 試 料

使用した石炭は、イギリス炭 Bettshanger East, Sacriston Victoria, Markham Deep Hard, Lea Hall Shallow Seam の4種で、NCB 分類では、それぞれ CR 204, 301, 702, 902 に属している。Table 1 に揮発分、炭素含量、ボタン指数も示した。粘結添加剤としては、Ashland A 200 ピッチを前報^{6),8)}に記した方法 (Reggel らの方法⁹⁾) で Birch 還元を施し、水素化して得られた H-A 200 ピッチを用いた。H-A 200 は全てベンゼン可溶分から成り、H/C 比 1.2 であり、NMR 測定による水素分布は $H\alpha/H$ 0.14, $H\beta/H$ 0.37, $H\gamma/H$ 0.38, $H\delta/H$ 0.11 である。

Table 1 Description of Coals

	N. C. B. Coal Rank Number	V. M. (d. a. f.)	Carbon Content (%)	Swelling Index
Bettshanger East	204	18.1	90.9	8
Sacriston Victoria	301	25.2	89.6	8 1/2
Markham Deep Hard	702	38.5	84.6	2 1/2
Lea Hall Shallow Seam	902	—	77.4	0

2.2 炭 化

約5mm角の石炭粒と添加剤を1:5(重量比)の割合でバイレックス管 (30mm×300mm) に入れ、窒素気流下、昇温速度 600°C/hr で、550°C 1時間熱処理した。

2.3 偏光顕微鏡観察

炭化後、コークス中の石炭に由来する中心部分とピッチに由来する周辺部分とをそれぞれ切出し、樹脂に埋め込み、常法に従って研磨後、M41Vickers 偏光顕微鏡により、直交ニコル下で組織を観察した。活性質に由来する組織は電極用コークスに対する分類¹⁰⁾を参考にして、石炭コークスに適合するように前報^{6),7)}に従って分類した。ここでは光学的異方性単位¹¹⁾の寸法および型を勘案して分類したが、現在の所、分類の根拠は確立していない。

- 基本異方性 (B)
- 等方性 (I)
- 微小モザイク ($M_f < 1.2\mu$ (直径))

昭和 54 年 8 月 22 日受理

^{*1)} 九州大学生産科学研究所 (812 福岡市東区箱崎 6-10)^{*2)} University of Newcastle upon Tyne (Newcastle upon Tyne, NE1 7RU England)

中粒モザイク	$(M_m) < 5.0\mu$ (直径)
粗粒モザイク	$(M_c) > 5.0\mu$ (直径)
流れ	$(F) > 5.0\mu$ (幅)
流れ/ドメイン	$(F/D) > 60\mu$ (幅)
ドメイン	$(D) > 60\mu$ (幅)

3. 結 果

3.1 2種の石炭塊の同時炭化

強粘結炭に属する Sacriston Victoria 塊炭に、微粘結炭および非粘結炭に属する Markham Deep Hard もしくは Lea Hall Shallow Seam の塊炭を接触状態に保って炭化して得られたコークスの組織を **Fig. 1** に示す。いずれの石炭の添加によっても、異方性組織と等方性組織の境界が明瞭に現れており、Sacriston Victoria 炭と Markham Deep Hard 炭あるいは Lea Hall Shallow Seam 炭が混合共炭化することではなく、接触はしているが独自に炭化していることを示している。

3.2 石炭塊と H-A200 との共炭化

半無煙炭に属する Bettshanger East 炭、強粘結炭である Sacriston Victoria 炭を H-A200 ピッチ中で炭化して得られるコークスの偏光顕微鏡写真を **Fig. 2** に示す。**Fig. 2 (a)** に示されるように Bettshanger East 炭では、石炭塊の表面周辺には F, M_c, M_m 組織が認められるが、塊の中心部では同石炭を単独で炭化した時に生じる主な光学組織である D あるいは幅広い F/D 組織が展開している。このように、この種の石炭塊から、ピッチの影響によって修飾されて展開する光学的異方性組織は塊の表面周辺に限定された範囲である。この組織は HA200 あるいは石炭単味で生成するものとは異なっているため、両者が混合共炭化したものと考えられる。Sacriston Victoria 炭の単独炭化では M_f 組織を呈するが、H-A200 を添加して炭化すれば **Fig. 2 (b)** に示すようにコークスのほぼ全面に渡って M_c または F/D 組織が展開し、微粉炭炭化の場合⁷⁾と同様、ピッチの添加により炭化性が大幅に改善されている。

Heat-treatment : 550°C-2 hr, Heating rate : 600°C/hr
(a) Sacriston Victoria+Lea Hall Shallow Seam
(b) Sacriston Victoria+Markham Deep Hard

Fig. 1 Cocarbonization of Coal Pieces

Heat-treatment : 550°C-1 hr, Heating rate : 600°C/hr, Mixing ratio : Coal/pitch=1/5
(a) Bettshanger East, (b) Sacriston Victoria

Fig. 2 Cocarbonization of Larger Coal Pieces with H-A200

Heat-treatment : 550°C-1 hr, Heating rate : 600°C/hr, Mixing ratio : Coal/pitch=1/5
(a) Main piece, (b) Broken piece, (c) Pitch part

Fig. 3 Cocarbonization of Markham Deep Hard Coal Piece with H-A200

Heat-treatment : 550°C-2 hr, Heating rate : 600°C/hr
Mixing ratio : Coal/pitch=1/5, Coal : Lea Hall Shallow Seam
a) Surface, b) Intermediate, c) Core

Fig. 4 Cocarbonization of Large Coal Piece with H-A200

微粘結炭に属する Markham Deep Hard 炭と H-A200 との共炭化によって生成するコークの偏光顕微鏡写真を Fig. 3 に示す。この石炭は単独炭化では等方性コークを与えるが、H-A200 の添加により大きな塊炭でも Bettshanger East 炭の場合と同様、石炭塊の周囲からピッチの添加効果が現れ、 M_m 組織が円状に発達している。しかし、中心部へ向かうに従って、 M_m , M_r と異方性単位 の寸法は小さくなり、中心部は I 組織のまま残こされている (Fig. 3a)。一方、主にピッチから生成したと考えられるコークス中に小片となって認められる粒状炭においては、共炭化による異方性組織の展開の様子がさらに明確であり、中心に近い部分にも寸法は極く小さいが異方性組織が出現している (Fig. 3b)。Fig. 3c は主としてピッチ成分から生成したコークスの偏光顕微鏡写真であるが、この異方性組織の中に、石炭の不活性質に由来する等方性組織がとり込まれている。Fig. 3b の結果も併せて、石炭成分の少なくとも一部は、出発時の塊からピッチ中に溶出移動しピッチと完全に混合して、均一な F 組織を与えたと示唆される。

さらに石炭化度が低い高揮発分非粘結炭 Lea Hall Shallow Seam の H-A200 と共炭化して得られるコークスを Fig. 4 に示す。この場合も石炭塊の周囲から中心に向かって光学的異方性組織の展開が認められる (Fig. 4a)。しかし、その異方性組織展開は Markham Deep Hard に比較して一層周辺部に限られ、塊の内部は大部分等方性のままである。しかも展開した組織単位 の寸法は極めて小さい。ただし、塊の内部であっても細孔を基点とする部分的な異方性組織の展開が認められる。

4. 考 察

4.1 石炭炭化における異方性組織展開の機構

有機化合物の炭化において、生成するコークスがどのような光学的異方性組織、ひいては黒鉛化性を有するかについては、一般的には炭化反応中に生成する異方性小球体^{11)~14)}の成長合体過程のつり合によって決定される¹⁵⁾。すなわち小球体が成長して、同一配向性領域を拡大すれば生成するコークの異方性単位は大きくなり、小さいままで系が固化すれば異方性単位は

小さい。小球体の形成が許されない場合には、通常生成するコークスは光学的に等方性となる。異方性小球体は芳香族分子が積層した一種のネマティック液晶であり、その形成ならびに動的特性は出発原料の種類と炭化条件に支配される。これは(1)炭化相の溶解性、(2)炭化速度、(3)炭化中間体の構造、さらには(4)反応マトリックスの粘度等有機化合物の重縮合芳香族化と分子積層とに重大な影響をもつからである¹⁶⁾。石炭のコークス化も半無煙炭の場合を除き同様な原理に従う。

石炭は熔融炭と非熔融炭に大別されるが、非熔融低炭化度炭から異方性組織を展開させるためには、石炭に溶解性を与えることが必須となる。添加剤は、(1)溶解作用、(2)溶媒和、(3)加溶媒分解機構を通じて溶解性を付与できるが、その能力は添加剤の物性、反応性と密接に関連している¹⁷⁾。たとえば、熔融炭から生成した液相は非熔融炭に溶解性を付与できないから **Fig. 1 a** に示したように、個々に炭化したと同様の結果となる。この場合、熔融炭は非熔融炭の表面に強固に接着し、バインダーの役割を果たすことができる。非熔融炭に溶解性を与えるための化学反応として、水素化⁹⁾、アルキル化¹⁸⁾、解重合^{19)~21)}、反応等が考えられるが、前報^{6), 22)}にも記したように、炭化中に溶解性を与えるためには、このような第(3)の分類に属する化学反応が起こることが必要である。H-A200を添加すれば、非熔融炭である Lea Hall Shallow Seam 粉炭からも M_f , M_m 組織が広い範囲に渡って展開した²³⁾。これは、Exxon法の石炭液化で考えられているのと同様に、ナフテン環構造を有するから水素化剤でもありと考えられる H-A200 から石炭への水素移動によるソルボリス反応が進行して炭化時に液相を実現し、さらに流動性、炭化速度等異方性組織の展開に必要な条件を改善したためと理解できる。この事情はピッチの共炭化の場合と共通している²⁴⁾。

4.2 石炭成分の物質移動と流動性ならびに添加剤の石炭塊内物質移動

溶媒による石炭の抽出液化は、溶融状態実現のひとつの過程である。この抽出に関して種々報告^{25)~30)}があるが、抽出の程度は石炭化度と溶剤の溶解能によっている。石炭の加熱による抽出量の変化は、粘結炭では温度とともに次第に増加し、400°C付近で極大抽出量があるが、非粘結炭では加熱に伴って逆に抽出量は減少する。これらの事実は石炭の溶解性と関連させて理解できよう。

一方、こうした石炭の溶解性は、石炭および添加剤成分間の物質移動としてもとらえることができる。2種の石炭の混合においては、**Fig. 1** で明らかなように、強粘結炭に由来する溶融相への非熔融炭成分の移動は起こらない。逆に、溶融相の非熔融炭固相への移動も極めて限定されている。一方、H-A 200ピッチと石炭との共炭化系では、**Fig. 3** に示された異方性組織の展開が示唆するように、両成分の分散移動がみられた。しかし、この移動の程度は石炭の溶解性と密接に関連している。つまり、**Figs. 2~4** で示したように、熱溶解性の高い炭種 Sacriston Victoria では、石炭の活性成分は炭化時に、粘度の低い液相を形成しピッチ成分中に均一に分散、溶解、混合するため、完全な共炭化が実現し、均一な組織展開を有するコークスが生成する。この際、水素移動によって系全体の異方性組織

Letters in Figure show the size of anisotropic area.

Fig. 5 Schematic Description of Optical Texture of Coke from Coccarbonization of Coal Piece with H-A200

展開が容易となると考えれば、系単位の寸法は相当に増大していることが説明できる。これに対し、熱溶解時の粘度の高い Markham Deep Hard, さらに熱溶解しない Lea Hall Shallow Seam では、熱処理時のピッチ添加剤との二液混合は順次困難になり、異方性展開はピッチと石炭の界面に限定されるソルボリス反応の進行による液相炭化の実現を経由しなければならなくなる。高炭化度炭の Bettshanger East 炭も熔融はするが、その粘度がかなり高いため、かくはんしない炭化時には成分の拡散は容易でなく、同様の結果となる。この場合、高炭化度炭であるため、石炭成分からは D 組織が³¹⁾、石炭/ピッチ混合部分からは流動性の向上により $F \sim M_m$ 組織が展開する。このような塊状炭とピッチの共炭化における異方性組織展開を模式的に **Fig. 5** に示した。ここで、異方性組織が展開する層の厚さおよび単位の寸法の大きさは石炭の炭化性、溶解性に依存する。これらの性質は近似的に石炭化度によって記述できよう。

ピッチ共炭化添加剤は、コークス化過程で形成される石炭中の細孔内を拡散することも可能であろう。この拡散によって、添加剤は石炭の内部表面と接触し、そこを基点にソルボリス反応が進行して異方性組織が展開する。このように非熔融炭から形成されるコークス中に異方性領域が拡大できるので、塊状炭の炭化においては添加剤の拡散能、つまり流動性および石炭に対する濡れ性も重要な因子となろう。

4.3 共炭化プロセスの今後の問題

共炭化反応によるコークス性状の改善は、触媒添加による場合と異なって、コークスの汚染あるいは洗浄除去という操作が省略でき、また、添加剤としての重質残さや高分子廃棄物の有効利用も計られる。しかし、さらに低炭化度炭や風化炭などの非熔融炭の炭化性改善のためには、溶解能、浸透性に優れ、ソルボリス反応性の高い添加剤の開発が必要である。特に、工業的コークス化過程においては粉じんによる作業環境の劣悪化を回避するためにも、作業能率を高めるためにも、使用する石炭塊寸法はかなり大きいものになり、添加剤の浸透性が重要となる。その意味で、“相性”の理論を化学的な立場からとらえる

と同時に、物理的拡散性をも考慮して製鉄用コークス過程を考察すべきものである。

謝 辞

この研究は文部省特定研究、鉄鋼協会原料炭基礎物性部会の研究費補助を受けたことを記し、謝辞を表する。

References

- 1) Jō, H., *J. Fuel Soc. Japan*, **26**, 98 (1947).
- 2) Miura, Y., *J. Fuel Soc. Japan*, **57**, 384 (1978).
- 3) Tsuyuguchi, T., Kiriyaama, Y., *J. Fuel Soc. Japan*, **56**, 886 (1977).
- 4) Matsumoto, S., Yamada, Y., Honda, M., Honda, H., *Coke Circular*, **27**, 185 (1978).
- 5) Kumai, J., Yamaguchi, K., Maruyama, K., Kimura, H., Sanada, Y., *J. Fuel Soc. Japan*, **55**, 164 (1976); Sanada, Y., *ibid.*, **57**, 3 (1978).
- 6) Mochida, I., Moriyama, S., Matsuoka, H., Maeda, K., Fujitsu, H., Takeshita, K., *J. Fuel Soc. Japan*, in press.
- 7) a) Grint, A., Swietlik, U., Marsh, H., 5th London Carbon and Graphite Conference, 226 (1978), London; b) Mochida, I., Amamoto, K., Maeda, K., Takeshita, K., Marsh, H., *ibid.*, 237 (1978); c) Mochida, I., Marsh, H., Grint, A., *ibid.*, 245 (1978); d) Mochida, I., Marsh, H., 14th American Carbon Conference.
- 8) Mochida, I., Kudo, K., Takeshita, K., Takahashi, R., Suetsugu, Y., Furumi, J., *Fuel*, **53**, 253 (1974).
- 9) Reggel, L., Raymond, R., Friedman, S., Freidel, R. A., Wender, I., *Fuel*, **37**, 126 (1958).
- 10) White, J., *Petroleum driven Carbon*, **21**, 282 (1976).
- 11) Brooks, J. D., Taylor, G. H., "Chemistry and Physics of Carbon", (Ed. By Walker P. L. Jr.), Vol. 7, 237, (1971) Marcel Dekker, New York.
- 12) Yamada, Y., Imamura, T., Kakiyama, H., Honda, H., Oi, S., Fukuda, K., *Carbon*, **12**, 307 (1974).
- 13) Dubois, J., Agache, C., White, J. L., *Metallography*, **3**, 337 (1970).
- 14) Evans, S., Marsh, H., *Carbon*, **9**, 733 (1971); Marsh, H., *Fuel*, **52**, 205 (1973).
- 15) Mochida, I., Marsh, H., *Fuel*, in press.
- 16) Mochida, I., Nakamura, E., Maeda, K., Takeshita, K., *Carbon*, **13**, 489 (1975); **14**, 123 (1976); Mochida, I., Takeshita, K., *J. Petrol. Chem.*, **20**, 183 (1977).
- 17) Grint, A., Mochida, I., Marsh, H., 14th American Carbon Conference, Pennsylvania State University (1979), *Fuel*, in Press.
- 18) Sternberg, H. W., *Fuel*, **50**, 432 (1971).
- 19) Heredy, L. A., Neuworth, M. B., *Fuel*, **41**, 221 (1962).
- 20) Darlarge, L. J., Weidner, J. P., Block, S. S., *Fuel*, **53**, 54 (1974); **55**, 205 (1976).
- 21) Ouchi, K., *J. Fuel Soc. Japan*, **56**, 779 (1977).
- 22) Mochida, I., Takarabe, A., Takeshita, K., *Fuel*, **58**, 17 (1979).
- 23) Mochida, I., Marsh, H., 14th American Carbon Conference, Pennsylvania State University (1979).
- 24) Mochida, I., Amamoto, K., Maeda, K., Takeshita, K., *Fuel*, **56**, 49 (1977); **57**, 225 (1978); *J. Fuel Soc. Japan*, **56**, 187 (1977); *J. Petrol. Chem.*, **20**, 1025 (1977); **21**, 52 (1978).
- 25) Clark, A. H., Wheeler, R. V., *J. Chem. Soc.*, **103**, 1704 (1913).
- 26) Krevlen, D. J. M., *Chem. Weekblad*, **31**, 761 (1934).
- 27) Kiebler, M. W., *Ind. Eng. Chem.*, **32**, 1389 (1940).
- 28) Kann, L., *Ind. Eng. Chem.*, **30**, 47 (1951).
- 29) Sanada, Y., Honda, H., *Bull. Chem. Soc. Jap.*, **35**, 1358 (1962).
- 30) Osawa, Y., Shii, J., Tsunoda, T., Fujishiro, M., *Kozo Kogaku Zasshi*, **73**, 2212 (1970).
- 31) Carbonization mechanism of semianthracite which provides domain optical texture will be reported later. Mochida, I., Takeshita, K., Komatsubara, K., Koba, K., Ida, S. to be published.

Summary

Development of Optical Anisotropy in the Coal Grain during Cocarbonization Process

Isao MOCHIDA^{*1)}, Keiko MAEDA^{*1)}, Kenjiro TAKESHITA^{*1)} and Harry MARSH^{*2)}

In order to utilize non-fusible coals as a source of blast-furnace cokes, it is necessary to modify their carbonization properties, and for implementation, the development of optical anisotropy is one of the most important means. For its development, the fused state at the final stage of carbonization around 500°C that can be achieved by addition of a suitable additive is one of the most decisive factors.

In the present paper, anisotropic development in the coal grain was studied to reveal the role of mass-transfer during cocarbonization, using four kinds of English coals (a semianthracite, a strong, a weak and a non-coking coal) and hydrogenated Ashland A200 pitch (H-A200).

A coking coal and a non-coking coal, which are in contact, were carbonized rather independently of each other. Moreover, they exhibited their original isotropic and anisotropic areas (**Fig. 1**). In contrast, H-A200, a powerful modifier for carbonization, can effect optical textural development in the coke, the extent of the development being subject to the coal properties. The optical texture of the coal grain of Bettshanger East, a semi-anthracite, was modified only around its periphery to give *F* (fibrous), *M_c* (coarse mosaic) and *M_m* (medium mosaic) textures; however, the texture at the central area of the grain remained the same as the original *D* (Domain) texture (**Fig. 2a**). Grain coal, when cocarbonized, lost its margin in the coke derived from the pitch to provide *M_c* and *F* structures as observed in the cocarbonization of powdered coal, however differing from the *M_f* texture produced by carbonization singly (**Fig. 2b**).

In the case of Markham Deep Hard, a weakly caking

coal, which produced an isotropic coke when carbonized singly, though slightly fusible, the *M_m* structure was formed around the coal grain, but the isotropic texture still remained in the central area of large pieces (**Fig. 3a, b**). In addition, some inert pieces from the coal were observable in the coke from the pitch (**Fig. 3c**), indicating that dissolution and migration of part of the coal grain into the pitch. Lea Hall Shallow Seam (non-coking coal) showed similar cocarbonization behavior, however, the area of anisotropic development was more restricted to its periphery (**Fig. 4**).

Effects of H-A200 on cocarbonization with coals may be ascribed to the dissolution of coal and/or to solvolytic reaction by hydrogen transfer from the hydrogenated part to the coal during heat treatment. The liquid phase thus derived in the cocarbonization process can induce development of optical anisotropy because of its appropriate fluidity and rate of carbonization as in the case of partial hydrogenation of condensed aromatic rings indicated in previous papers¹⁰⁾.

The dissolution of coal and/or the solvolytic reaction is, on the other hand, governed by mutual mass-transfer or diffusion of the reacting substances. The carbonizing substances from a fusible coal as a liquid mixture can contact efficiently with the additive added. In contrast, slightly or non-fusible coals can only be liquified by the additive through the surface reaction between solid coal and liquid additive. Therefore, the extent of liquefaction is strongly influenced by the rate of increase in the reactive region between coal and additive matrix that provides constantly a fresh surface of the coal to the additive.

Such a mechanism indicates a lesser probability of appropriate cocarbonization at the inner region of the grain and a lesser extent of anisotropic development, maintaining intrinsic optical texture of the coal-coke being produced at the core of the grain.

^{*1)} Research Institute of Industrial Science, Kyushu University (6-10-1, Hakozaki, Higashi-ku, Fukuoka 812)

^{*2)} University of Newcastle upon Tyne (Newcastle upon Tyne, NE 1 7RU England)

Keywords

Anisotropy development, Coal, Cocarbonization, Pitch