

ارزیابی ریزساختار کُک و تأثیر آن در تولید گرافیت

سعید فتوره‌چیان، شکوفه احمدی

مرکز تحقیقات هسته‌ای، سازمان انرژی اتمی ایران

چکیده

انواع کُک‌ها (متالورژی، نفتی و غیره) کاربردهای وسیعی در صنایع جدید پیدا کرده‌اند. کُک ماده‌ای غنی از کربن است که در ساخت مواد کربن دار، مانند انواع گرافیت‌ها، فولاد، سیلیکون کارباید، تیتانیوم کارباید و غیره نقش اساسی دارد. یکی از موارد کاربرد مهم کُک تولید انواع گرافیت است که بسته به مورد کاربرد، نوع کُک بکار رفته متفاوت است. چون ساختار بلوری گرافیت (شش وجهی با پیوند^۱ SP^۲) ریشه در ریزساختار^(۱) کُک داشته و سبب ایجاد ناهمسانگردی در خواص گرافیت تولیدی می‌شود، بررسی و شناخت ریزساختار و درجه ناهمسانگردی کُک بسیار مورد توجه بوده است. روشهای نظری و عملی مختلفی برای تعیین درجه ناهمسانگردی در کُک وجود دارد. براساس این روشها، آزمایشهای گوناگونی بر روی انواع مختلف کُک بسته به نوع کاربرد انجام گرفته و با توجه به آن کاربردها تلاش شده است روشی عملی برای شناخت ریزساختار کُک و درجه ناهمسانگردی آن ارائه گردد.

۱- مقدمه

(درجه ناهمسانگردی^(۱))، ضریب انبساط حرارتی، و مقاومت مکانیکی کُک را نام برد [۱]. هریک از این مشخصه‌ها به نوعی در خواص گرافیت تولیدی مؤثر است، اما عاملی که نقش اساسی را به عنوان حلقه ارتباطی خواص کُک بر عهده دارد ریخت‌شناسی^(۷) ریزساختار است که با شناسایی آن می‌توان خواص گرافیت تولیدی را پیشگویی کرد.

هدف این پژوهش، تبیین ارتباط ریخت‌شناسی ریزساختار و درجه ناهمسانگردی گرافیت تولیدی با ریزساختار بلوری کُک بکار رفته است. در این باره سعی شده است با ارائه روش علمی جهت شناخت این موارد، انتخاب کُک مناسب برای تولید گرافیت‌های مورد نیاز میسر شود.

کُک ماده‌ای است با درصد کربن بالا که از تجزیه حرارتی و پلیمری شدن مواد آلی تهیه می‌شود. در فرایندهای تولید کُک معمولاً از دما و فشار بالا استفاده می‌شود. با افزایش دما، مواد فُزار خارج شده و کربنهای باقیمانده به صورت اتصال C-C به یکدیگر متصل می‌شوند و زنجیره‌های حلقوی با جرم مولکولی حدود ۳۰۰۰ را تشکیل می‌دهند [۱]. کُک معمولاً از مواد اولیه‌ای مانند باقیمانده‌های تقطیر نفت خام و قطران زغال‌سنگ، طی فرایندهایی همچون ناپیوسته^(۲)، تأخیری^(۳) و کُک‌سازی سیالی^(۴) تولید می‌شود [۲] و نیاز صنایع آلومینیوم، فولاد و تولید موادی مانند گرافیت، سیلیکون کارباید و غیره را رفع می‌کند. به طور کلی، کمیت و کیفیت کُک تولیدی به مشخصه‌های مواد اولیه و تا اندازه‌ای هم به شرایط فرایند کُک‌سازی بستگی دارد.

برای تولید گرافیت، از کُک‌های مختلفی مانند کُک نفتی یا کُک حاصل از قیر قطران زغال‌سنگ به عنوان ماده پرکننده^(۵) استفاده می‌شود که مقدار آن در حدود ۷۰ تا ۸۰ درصد وزنی محصول است [۳]. عوامل متعددی در انتخاب کُک مناسب برای تولید گونه‌های مختلف گرافیت مؤثرند که از آن جمله می‌توان چگالی، درصد گوگرد، خاکستر، مواد فُزار، رطوبت، ریزساختار

۱- microstructure

۲- batch

۳- delayed

۴- fluid coking

۵- filler

۶- anisotropic degree

۷- morphology



۲- بخش نظری

۱-۲- ریزساختار میکروسکوپی کُک

با توجه به مطالب پیش گفته، عوامل متعددی از جمله نوع مواد اولیه، نوع فرایند و شرایط تولید بر شکل گیری ریزساختار کُک مؤثرند که بر اساس آن طبقه بندیهای مختلفی به وجود می آید. جدول ۱ نمونه ای از انواع ریزساختار کُک را براساس نوع فرایند تولید نشان می دهد [۴].

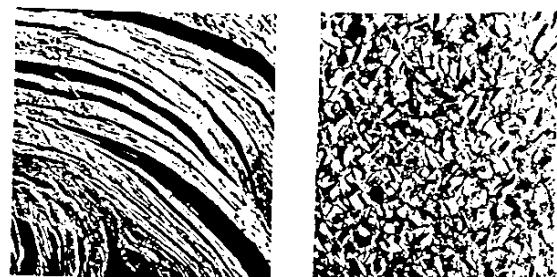
کُک به طور کلی دو نوع ریزساختار کاملاً متمایز دارد که عبارتند از: ساختار ناهمسانگرد (به عنوان مثال در کُک سوزنی) و ساختار همسانگرد (در کُک موزاییکی)؛ بین این ساختارها نیز ساختارهای مختلف دیگری به لحاظ درجه ناهمسانگردی مشاهده می شود. در شکل ۱ نمونه ای از ساختارهای همسانگرد و ناهمسانگرد کُک نشان داده شده است [۵].

جدول ۱- طبقه بندی ریزساختار میکروسکوپی کُک براساس فرایند تولید

کُک سازی سیالی-ناخیری	کُک سازی سیالی	کُک سازی ناخیری
کُک بی شکل	کُک لایه ای	کُک سوزنی
کُک میان فاز اولیه	کُک غیر لایه ای	کُک عدسی وار
کُک میان فاز	کُک توده ای	کُک لایه های مختلط
		کُک اسفنجی
		کُک ساجبه ای

(ناهمسانگرد-کُک سوزنی)

(همسانگرد-کُک موزاییکی)



شکل ۱- ریزساختارهای همسانگرد و ناهمسانگرد کُک های موزاییکی و سوزنی

برش های مقاطع عرضی و طولی کُک سوزنی بافتهای کاملاً متفاوت دارند و در فرایند گرافیتی شدن، تشکیل لایه های گرافیتی در دماهای پایین تری صورت می گیرد، علاوه بر این، ناهمسانگردی خواص گرافیت تولیدی نیز بسیار زیاد است. در مقابل، بررسی مقاطع عرضی و طولی کُک موزاییکی، بافتهای یکسانی را نشان می دهد و شروع گرافیتی شدن آن در دماهای بالاتر از ۲۴۰۰ درجه سانتی گراد می باشد؛ چون درصد گرافیتی شدن آن کمتر از کُک سوزنی است ناهمسانگردی خواص گرافیت تولیدی نیز کمتر خواهد بود.

۲-۲- ساختار بلوری گرافیت

گرافیت دارای ساختار بلوری لایه ای است که در آن هر اتم کربن با سه پیوند کووالانسی از نوع پیوند sp^2 (۸) به هم متصل شده و لایه های بلوری را تشکیل می دهند. پیوند بین لایه ها از نوع جاذبه واندروالسی است و این اختلاف در نوع پیوندها سبب بروز ناهمسانگردی در بلور گرافیت می شود [۶].

در عمل شکل بلور گرافیت به دو گونه شش وجهی (۹) با سطوح لوزی (۱۰) مشاهده شده است که شکل شش وجهی آن معمولاً ۹۵٪ کل ساختار بلوری را تشکیل می دهد (شکل ۲). تشکیل بلور گرافیت در جریان فرایند تولید را می توان با شکل ۳ نشان داد. همچنین لایه های گرافیت در اثر افزایش دما و تغیری که در آرایش ریزساختار بلورهای کُک به وجود می آید تشکیل می شوند. در واقع همان بلورهای کُک هستند که در اثر عملیات حرارتی جهت دار می شوند [۶].

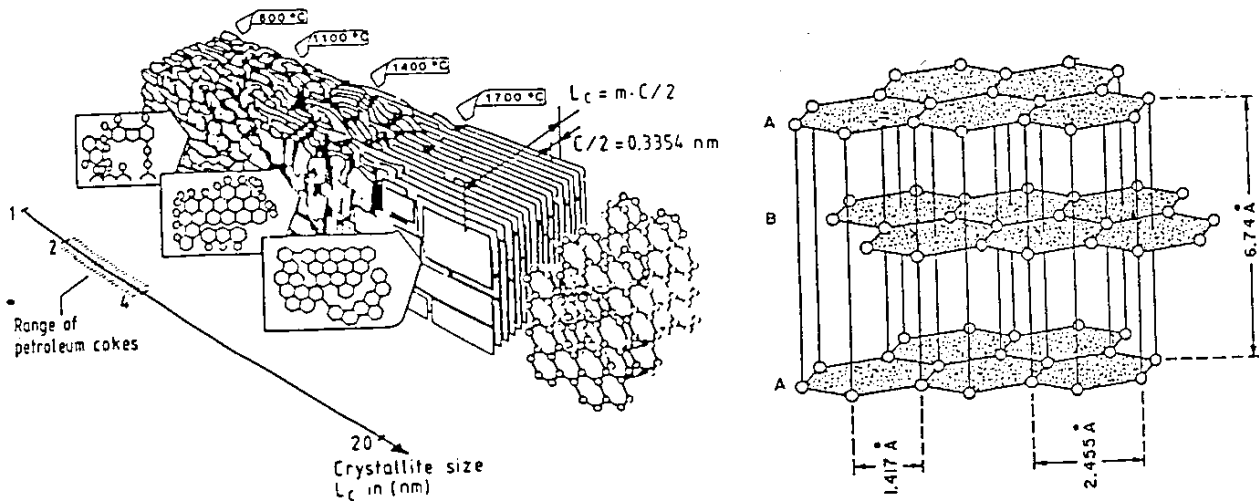
۲-۳- ناهمسانگردی خواص در گرافیت

ناهمسانگردی خاصیتی است که از تنوع ساختار بلوری مواد ناشی شده و در عمل، به عنوان اختلاف خواص فیزیکی در جهات اصلی متفاوت اندازه گیری و تعریف می شود. گرافیت دارای ساختار بلوری شش وجهی سه بعدی است، اما به علت

۸- hybrid

۹- hexagonal

۱۰- rhombohedral



شکل ۲- شکل شش وجهی در بلور گرافیت

شکل ۳- تشکیل بلور گرافیت طی فرایند تولید

جهت گیری ذرات کک (ایجاد ناهمسانگردی) در ساخت گرافیت عبارتند از [۷]:

- نوع مواد اولیه (کک)
- مقدار و نوع فشار در مرحله شکل دهی
- اندازه و شکل ذرات کک
- درجه حرارت مرحله شکل دهی
- طرح و شکل قالب و اندازه قطعات ساخته شده.

۲-۴ - روشهای تعیین ساختار بلوری در مواد

برای تعیین ساختار بلوری در مواد، روشهای علمی متعددی براساس نورسنجی میکروسکوپی و پراش پرتوهای X بکار می روند. به دلیل تشابه روش مورد استفاده ما با نورسنجی، در این جا به روشهای منطبق با این کاربرد اشاره می شود.

الف - روش OTI (۱۲)

از این روش برای تعیین ریزساختار فازهای موجود در مواد استفاده می شود و اساس آن بر مبنای مطالعه نور عبوری از ماده و یا نور منعکس شده از سطح آن است. نور انعکاسی بیشتر در مطالعه فازهای موجود در مواد کریستالین بکار می رود. از این روش می توان برای ارزیابی اندازه و شکل و مقدار خلل و فرج، وجود یا عدم وجود ناهمسانگردی، تخمین اندازه و شکل مناطق ناهمسانگرد استفاده کرد. پس از تهیه مقطع از نمونه و استفاده از

این که در صفحات پایه ای، یعنی صفحات بالایی و پایینی بلور شش وجهی، اتصالی از نوع کووالان با اتم های هم جنس وجود دارد دارای خواص همسانگرد است. ولی در اتصال صفحات به هم که با مشارکت آنها ساختار شش وجهی سه بعدی برای گرافیت تعریف می شود اتصالات از نوع واندروالس ضعیف هستند، در نتیجه گرافیت را به ماده ای ناهمسانگرد تبدیل می کند که میزان ناهمسانگردی آن به نوع و اندازه ذرات مواد اولیه (کک) و فرایند تولید بستگی دارد. نوع و اندازه ذرات کک در تولید گرافیت به عنوان عامل کنترل کننده در اختیار تولیدکنندگان است که می توانند بر حسب نیاز خود آنها را انتخاب نمایند. یکی از موارد اصلی ایجاد ناهمسانگردی خواص در گرافیت، مرحله شکل دهی قطعات خام طی فرایند تولید است که بسته به روشهای مورد استفاده مانند برون رانی (۱۱)، قالب گیری و پرس هم فشار، جهت و میزان ناهمسانگردی متفاوت خواهد بود [۷]. در واقع، نخستین مرحله جهت گیری ذرات کک در جریان این فرایند اتفاق می افتد، این جهت گیری در روش برون رانی موازی با جهت فشار و در روش قالب گیری عمود بر جهت فشار است. استفاده از پرس هم فشار، به منظور به حداقل رساندن ناهمسانگردی در گرافیت است. تحقیقات انجام گرفته نشان می دهند، چنانچه از مواد اولیه یکسان استفاده شود، قطعات گرافیت تولید شده به روش برون رانی دو برابر ناهمسانگردتر از قطعات تولید شده با قالب گیری می باشند [۲]. در حالت کلی، عوامل مؤثر در



برای محاسبه ناهمسانگردی در یک نمونه می توان از روابط زیر استفاده کرد [۵].

$$\bar{f}_i = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{j=1}^n f_j \quad \& \quad f_j = L_j \cdot \cos \theta_j$$

L_j : طول بردار واحد ناهمسانگرد (j)

n : تعداد واحدهای موجود در هر ستون i

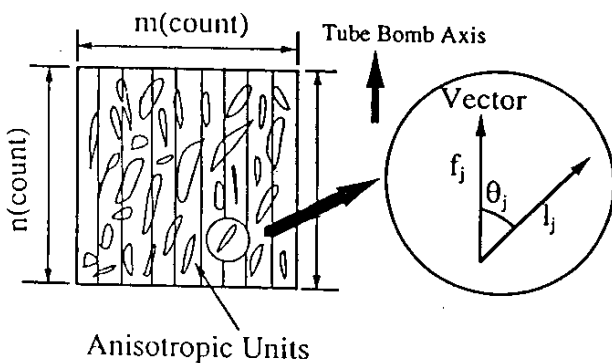
f_j : جزء محوری یک بردار واحد ناهمسانگرد در ستون i

f_i : میانگین f_j در ستون i

θ_j : زاویه بردار ناهمسانگرد j با محور

ج - روش مورد استفاده

مقطع های تهیه شده از کُک به وسیله میکروسکوپ متالورژی و با نور انعکاسی (بزرگنمایی حداقل ۱۰۰) ارزیابی شده اند. این روش از استاندارد GOST استخراج شده و اساس کار کاملاً تجربی است که به سبب سادگی، موارد کاربرد گسترده ای دارد. برای این کار نقاط متعددی از سطح هر مقطع تهیه شده مورد بررسی قرار گرفته و با مقایسه هر یک از نقاط با تصاویر استاندارد ساختارهای بلوری، درجه ناهمسانگردی نقاط و در نهایت کل مقطع تعیین می گردد. بر اساس این روش انواع کُک به لحاظ ساختار بلوری عبارتند از: همسانگرد، نیمه همسانگرد، نیمه ناهمسانگرد و ناهمسانگرد. این ویژگی با تعیین درجه ناهمسانگردی (A.D) مشخص شده است. جدول ۳ مشخصات مربوط به تصاویر استاندارد ساختارهای بلوری کُک را که برای مقایسه و تعیین درجه ناهمسانگردی بکار رفته اند نشان می دهد [۸].



شکل ۴ - واحدهای ناهمسانگرد در روش مونتاژ

نور قطبی، این ساختارها به وسیله مطالعه رنگهای تداخلی که در اثر وجود لایه های گرافیتی ایجاد می شوند صورت می گیرد [۶]. در این بررسی، مواد کربن دار ساختاری متشکل از یک رشته ریزساختارها را در محدوده ای مشترک از لایه های گرافیتی / آروماتیکی از خود نشان می دهند که به وسیله آن می توان شکل و اندازه مناطق ناهمسانگرد را که در محدوده یک تا چند میکرون قرار می گیرند برآورد کرد. شاخص OTI، به عنوان عامل توصیف کننده انواع ریزساختارها در مواد کربن دار مورد استفاده قرار می گیرد. در جدول ۲ ویژگیهای مربوط به این شاخص و محدوده عملکرد آن ارائه شده است. برای محاسبه شاخص OTI در یک نمونه می توان از ضرب جزء سازنده تصویر در فاکتور OTI مربوط به آن استفاده کرد [۶].

$$OTI_{sample} = \sum_{i=1}^n (fraction\ of\ image)_i \cdot OTI_i$$

جدول ۲ - تعاریف مربوط به روش OTI

نوع ساختار	اندازه (میکرومتر)	فاکتور OTI
همسانگرد	فقد فعالیت نوری	۰
موزائیکی ریز	قطر کمتر از ۰/۸	۱
موزائیکی متوسط	۲/۰ < قطر < ۰/۸	۳
موزائیکی درشت	۱۰/۰ < قطر < ۲/۰	۷
جریانی دانه ای	طول < ۲، عرض < ۱	۷
جریانی درشت	طول < ۱۰، عرض < ۲	۲۰
لایه ای	طول < ۲۰، عرض < ۱۰	۳۰

ب - روش مونتاژ

بررسی «سطح مقطع های تهیه شده از کُک» به وسیله میکروسکوپ با نور انعکاسی و بزرگنمایی کم (حدود ۵۰ برابر)، نشان دهنده حضور واحدهای ناهمسانگرد با اندازه ها و حالت های ویژه است. با این روش می توان ضمن بررسی هر واحد ناهمسانگرد، فاصله زاویه ای جهت گیری تک محور مختصات کربنی را در نمونه کُک تعیین کرد. شکل ۴ چگونگی اندازه گیری واحدهای ناهمسانگرد را در یک توده کُک و طریقه تعیین امتداد جهت گیری آنها را نشان می دهد.

جدول ۳- تقسیم‌بندی ریزساختارهای میکروسکوپی کک براساس روش مورد استفاده

A.D = 5	A.D = 4	A.D = 3	A.D = 2	A.D = 1	درجه ناهمسانگردی
					تصویر استاندارد
نیمه همسانگرد	نیمه همسانگرد	همسانگرد	همسانگرد	همسانگرد	نوع ساختار
35 - 70 μm	14 - 35 μm	7 - 14 μm	3 - 7 μm	< 3 μm	طول رشته‌های کربنی
A.D = 10	A.D = 9	A.D = 8	A.D = 7	A.D = 6	درجه ناهمسانگردی
					تصویر استاندارد
ناهمسانگرد	ناهمسانگرد	ناهمسانگرد	نیمه ناهمسانگرد	نیمه ناهمسانگرد	نوع ساختار
> 600 μm	> 600 μm	400 - 600 μm	200 - 400 μm	70 - 200 μm	طول رشته‌های کربنی

۳- کارهای تجربی

برای بررسی ریزساختار کک به روش مورد نظر، ابتدا مقطع‌های لازم براساس روش نمونه‌برداری استاندارد (ASTM-D 346) و با اندازه ذراتی بین ۲ تا ۴ میلیمتر تهیه شده‌اند. در تهیه این مقطع‌ها، مواد پلیمری به عنوان زمینه نگهدارنده ذرات کک بکار رفته‌اند و از ماشین صیقل‌دهنده و پودرهای ساییده، مانند اکسید آلومینیوم و کروم، برای آینه‌ای کردن سطوح نمونه‌ها استفاده شده است. میکروسکوپ مورد استفاده از نوع نوری (با نور انعکاسی) و بزرگ‌نمایی ۱۰۰ بوده است. در این بررسی پنج نوع کک (شامل کک نفتی و قیر قطران زغالسنگ) مورد ارزیابی قرار گرفته‌اند که از هر نمونه دو مقطع به قطر ۳۰ میلیمتر ساخته شده و روی هر مقطع ۳۰ نقطه (جمعاً ۶۰ نقطه برای هر نمونه) مورد آزمایش قرار گرفته است. محاسبات بر مبنای روش کار بیان شده در بخش نظری، انجام گرفته و نتایج حاصل در جدول‌های ۴ و ۵ ارائه گردیده است. کک‌های مورد آزمایش به طریقی انتخاب شده‌اند که تقریباً

با توجه به اندازه مقطع‌ها و با پیروی از خاصیت توزیع بهنجار روی هر مقطع، دست‌کم ۳۰ نقطه و برای هر نمونه ۶۰ نقطه مطالعه شده است. برای محاسبه درجه ناهمسانگردی از روابط زیر استفاده می‌شود.

$$(AD)_{sample} = \left(\frac{1}{n}\right) \sum_{i=1}^n (AD)_i$$

$$(AD)_i = \sum_{j=1}^m f_j \cdot (AD)_j$$

$(AD)_i$: درجه ناهمسانگردی هر نقطه

$(AD)_j$: درجه ناهمسانگردی حاصل از مقایسه با تصاویر استاندارد

f_j : درصد حضور هر کدام از ساختارها در هر نقطه مورد بررسی

n : تعداد کل نقاط (حداقل ۶۰ نقطه)

m : تعداد ساختارها در هر نقطه

خواص فیزیکی آنها نیز بررسی و از خاصیت انبساط حرارتی به عنوان عامل ارزیابی کننده درجه ناهمسانگردی استفاده شده است. مشخصات عمومی نمونه‌ها، یعنی نوع مواد اولیه، فرایند تولید مورد استفاده و درجه ناهمسانگردی حاصل از کاربرد روش مورد نظر در جدول ۴ مندرج است. شکل ۵ نیز توزیع انواع ریزساختارهای نمونه‌ها را بر مبنای این روش نشان می‌دهد.

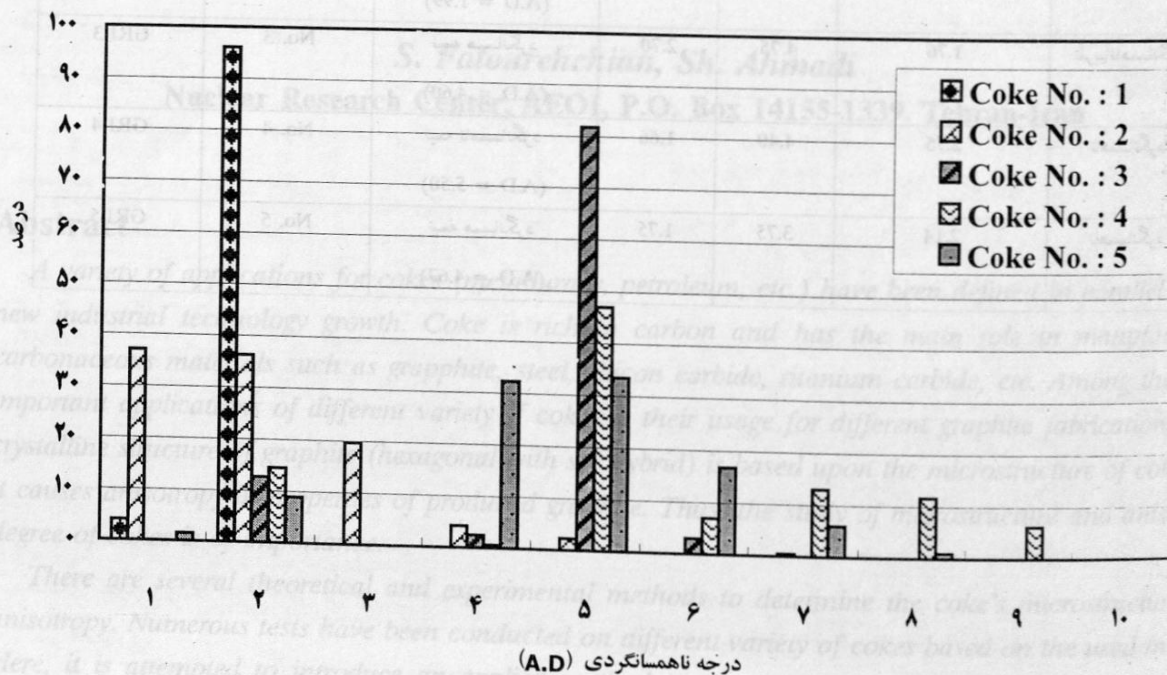
دارای خواص فیزیکی و شیمیایی یکسان بوده و تفاوت عمده آنها در نوع ریزساختار و درجه ناهمسانگردی باشد. سپس به منظور تعمیم دادن نتایج حاصل از این بررسی به محصول تولیدی «گرافیت»، با استفاده از امکانات کارگاهی موجود و اعمال روش قالب‌گیری، طی فرایندهای خاص حرارتی اقدام به ساخت قطعات گرافیت با کُک‌های نمونه شده است. پس از ساخت قطعات،

جدول ۴- نتایج حاصل از بررسی درجه ناهمسانگردی در کُک‌های نمونه

درجه ناهمسانگردی	توضیحات	شماره نمونه
A.D = 1.96	کُک نفتی حاصل از پیرولیز رزین با فرایند Batch	Coke No.:1
A.D = 1.99	کُک حاصل از فیر قطران زغالسنگ با فرایند Batch	Coke No.: 2
A.D = 4.60	کُک حاصل از کراکینگ باقیمانده‌های تقطیر نفت خام با فرایند Delayed	Coke No.: 3
A.D = 5.50	کُک نفتی حاصل از پیرولیز رزین با فرایند Delayed	Coke No.: 4
A.D = 4.67	کُک حاصل از کراکینگ باقیمانده‌های سنگین تقطیر نفت خام با فرایند Delayed	Coke No.: 5

همسانگرد در محصول شود. بنابراین روش مورد استفاده ممکن است منجر به طبقه‌بندی خاصی برای شناسایی انواع ریزساختارها در کُک مورد استفاده گردد.

به طوری که مشاهده می‌شود، نمونه‌های دارای درجه ناهمسانگردی بالا، معمولاً از ساختارهای ناهمسانگرد تشکیل شده‌اند. از جدول ۴ چنین استنباط می‌شود که استفاده از فرایند ناپیوسته برای تولید کُک ممکن است عامل ایجاد ساختار



شکل ۵- توزیع انواع ریزساختارها در نمونه‌ها بر مبنای روش مورد استفاده



۴- نتیجه گیری و بحث

شناخت ریزساختار کُک به منظور پیشگویی خواص گرافیت تولیدی از نظر ساختاری و ناهمسانگردی خواص بسیار مهم است. به همین جهت، نتایج بررسی ناهمسانگردی خواص گرافیت‌های ساخته شده بر مبنای نوع کُک مورد استفاده در جدول ۵ ارائه شده است. در این جدول از ضریب انبساط طولی گرافیت (در دو جهت عمود و موازی با جهت فشار در فرایند شکل دهی) به عنوان عامل بررسی ناهمسانگردی برای مقایسه استفاده شده است. به طوری که مشاهده می‌شود گرافیتی که ناهمسانگردی کمتری دارد نتیجه استفاده از کُک همسانگرد است. باید در نظر داشت که ساخت گرافیتی با ناهمسانگردی «۱» (یعنی کاملاً

همسانگرد) کاری بسیار دشوار است، زیرا سرشت بلور گرافیت ارائه دهنده ماده ناهمسانگرد است.

نتیجه نهائی اینکه می‌توان با استفاده از مواد اولیه و فرایندهای مناسب، گرافیتی با ریزساختار و با درجه ناهمسانگردی مورد نظر تولید کرد. به عنوان مثال در صنایع هوافضا و هسته‌ای که نیاز به گرافیتی با ناهمسانگردی کمتر است، استفاده از کُک همسانگرد و در تولید الکتروگرافیتی برای صنایع فولاد که نیاز به ناهمسانگردی بیشتر می‌باشد استفاده از کُک ناهمسانگرد توصیه می‌شود. با این روش می‌توان به طور نسبی ساختار بلوری و درجه ناهمسانگردی گرافیت‌های مختلف را تنها بر اساس شناخت ریزساختار کُک مورد استفاده مشخص کرد.

جدول ۵- نتایج حاصل از مقایسه خواص گرافیت‌های ساخته شده با نمونه‌های کُک

ساختار گرافیت	ضریب انبساط طولی گرافیت ($10^{-6}.K^{-1}$)			ریزساختار کُک (درجه ناهمسانگردی)	نمونه کُک	کد گرافیت
	نسبت موازی α / عمود α	عمود، α	موازی، α			
تقریباً همسانگرد	1.22	4.50	3.70	همسانگرد (A.D = 1.96)	No. 1	GRI-1
تقریباً همسانگرد	1.30	4.49	3.45	همسانگرد (A.D = 1.99)	No. 2	GRI-2
تقریباً ناهمسانگرد	1.76	4.75	2.70	نیمه همسانگرد (A.D = 4.60)	No. 3	GRI-3
ناهمسانگرد	2.75	4.40	1.66	نیمه ناهمسانگرد (A.D = 5.50)	No. 4	GRI-4
ناهمسانگرد	2.14	3.75	1.75	نیمه همسانگرد (A.D = 4.67)	No. 5	GRI-5



References

1. K. Othmer, " Encyclopedia of chemical technology ", John wiley&Sons, 3rd edition, vol 4, p. 571,572, (1978).
 2. C.L. Mantel, " Carbon and graphite Handbook ", John wiley & Sons, p. 149-152, (1968).
 3. R.E. Nightingale, " Nuclear Graphite ", Academic press, p.32,107, (1963).
 4. R.J. Grary, " Some petrographic applications to coal, coke and carbons ", Org Geochem., vol 17, No. 4, p. 535-555, (1997).
 5. P.A. Thrower, " Chemsitry and physics of carbon ", Marcel dekker , vol 24, p. 115,137, (1994).
 6. G. Savage, " Carbon - Carbon composites ", Chapman & Hall, p.10, 13, 16, (1992).
 7. L.M. Currie, " The production and properties of graphite for reactors ", Proceedings of the first UN international Conf. on the peacefull use of atomic energy, Geneva, vol 8, p.453, (1955).
- ۸- احمد قریب، منوچهر مددی، سعید فتوره‌چیان، فاطمه اهری‌هاشمی، شکوفه احمدی، "گزارش عملکرد فیزیکی تولید گرافیت در مقیاس آزمایشگاهی"، مرکز پژوهشی سازمان انرژی اتمی ایران، ص ۳۷، (۱۳۷۷).

Evaluation of coke microstructure and its effect on graphite fabrication

S. Fatourehchian, Sh. Ahmadi

Nuclear Research Center, AEOI, P.O. Box 14155-1339, Tehran-Iran

Abstract

A variety of applications for cokes (metallurgy, petroleum, etc.) have been defined in parallel to the new industrial technology growth. Coke is rich in carbon and has the main role in manufacturing carbonaceous materials such as grapphite, steel, silicon carbide, titanium carbide, etc. Among the most important applications of different variety of cokes is their usage for different graphite fabrications. The crystalline structure of graphite (hexagonal with sp^2 hybrid) is based upon the microstructure of coke and it causes anisotropy in properties of produced graphite. Thus, the study of microstructure and anisotropy degree of cokes is of importance.

There are several theoretical and experimental methods to determine the coke's microstructure and anisotropy. Numerous tests have been conducted on different variety of cokes based on the used method. Here, it is attempted to introduce an applied method to determine the microstructure and anisotropy degree of cokes based upon the kind of application.