

Elektromotoren De Vier vof
Slijperweg 15
1032 KT Amsterdam
T: 0031 (0)20 6360407
F: 0031 (0)20 6342005
info@elektromotorendevier.nl

Herstellung von Grafit.

Elektrografit ist Energie, etwa 50 kWh je kg. Sein Hauptrohstoff ist Koks, gewonnen entweder aus dem Erdöl (Petrolkoks) oder aus der Steinkohle (Pechkoks). Um aus diesen Koksen Grafit herzustellen sind mehrere thermische Prozesse erforderlich. Man kann die Erzeugung von Grafit als keramisches Verfahren bezeichnen. Die Rohstoffe Pech- und/oder Petrolkoks werden zerkleinert und in verschiedene Kornfraktionen gesiebt, klassiert und in Silos zwischengelagert. Aus diesen Kokskornfraktionen wird eine Trockenrezeptur über eine automatische Wägestation hergestellt, die Mischung. Dann werden Bindemittel, Teer und Pech zugesetzt und es folgt die Vermischung zu einer im heißen Zustand plastischen Masse. Bei COVA werden hierzu Drehflügelmischaggregate eingesetzt.

Zur Formgebung werden für grobkörnige Mischungen mit Maximalkorn 0,35 bis 6 mm und größer, hydraulische Strangpressen verwendet. - **Bild 1** - zeigt eine Strangpresse für große Grafitkörper. Für fein- und feinstkörnige Mischungen erfolgt die Abformung auf Gesenkpresen oder isostatischen Pressen. Während bei stranggepreßten Grafiten vorgepreßte und vorerwärmte zylindrische Ballen in den Pressenzylinder eingesetzt werden, werden beim gesenk- und isostatischen Pressen die erkalteten Mischungen erneut aufgemahlen zu preßfähigen Pulvern, die Koks und Bindemittel im Preßkorn enthalten. Die Plastifizierung des Bindemittels und die Bindung der Kokskörner aneinander erfolgt hier durch den angewandten Preßdruck.



Bild 1

Die Auswirkungen des Preßverfahrens auf die Kornausrichtung zeigt - **Bild 2** -. Die Auswirkungen auf die Eigenschaften, die Isotropie oder Anisotropie der technischen Daten des späteren Grafits zeigt - **Bild 3** -. Stranggepreßter Grafit weist ausgeprägte Richtungsabhängigkeit auf, z.B. bei der

Wärmeleitfähigkeit und der elektrischen Leitfähigkeit, die in Preßrichtung wesentlich besser ist als quer dazu. Bei manchen Einsatzzwecken kann dies von Vorteil sein.

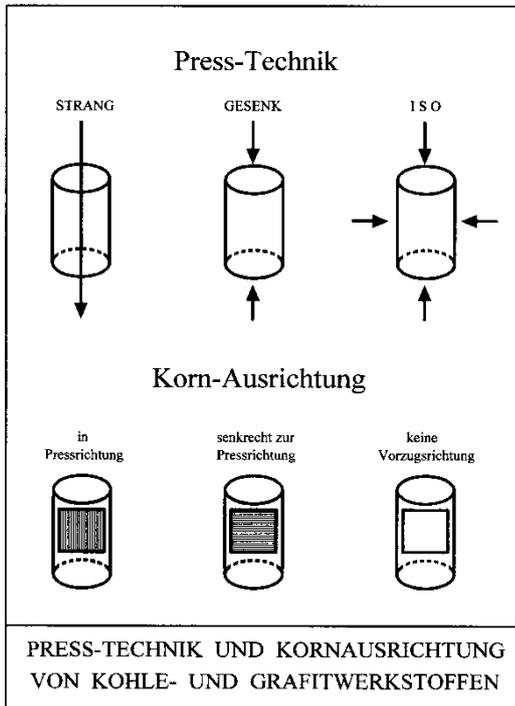


Bild 2

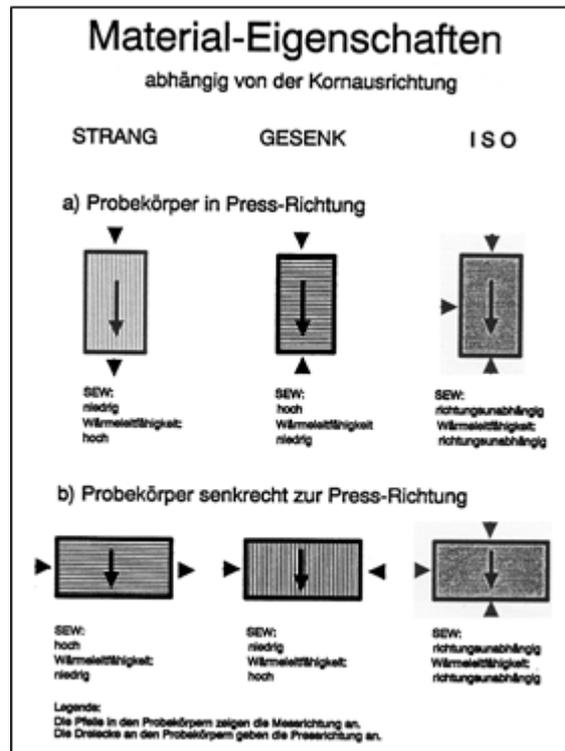


Bild 3

Gesenk- und isostatisch abgeformte Graphite sind feinkörniger und wesentlich teurer in der Herstellung. Sie sind mechanisch fester bei allerdings geringerer Wärmeleitfähigkeit. Sie kommen vielfältig, insbesondere bei Kokillen für den Strangguß zur Anwendung.

Bei gesenkgepreßten Körpern liegen die Körner quer zur Preßrichtung. Das bedeutet, daß zum Beispiel die Wärmeleitfähigkeit quer zur Preßrichtung besser ist als in Preßrichtung.

Die durch Pressen abgeformten Körper, die bereits eine große Eigenfestigkeit haben, nennt man grüne Körper. Sie müssen einem Brennprozeß zugeführt werden. Der Brennprozeß, bei dem die thermische Zersetzung des Bindemittels, die Verkokung, erfolgt, wird in Ringkammeröfen - **Bild 4** - durchgeführt. In diesem mehrwöchigen Prozeß entweichen die gasförmigen Zersetzungsprodukte des Peches und des Teers und es entsteht ein Kohlenstoffbindegerüst, das die Kokskörner zusammenhält. Ringkammeröfen bestehen aus mit einander durch Kanäle verbundenen Kammern. In einem Ringofen laufen in der Regel mehrere Feuer um, die in bestimmten Zeitintervallen zur jeweils benachbarten Kammer versetzt werden. Die heißen Abgase einer Feuerkammer werden durch die davor, das heißt in Richtung der Bewegung des Feuers gelegenen Kammern geführt und wärmen den Inhalt dieser Kammern an. Die Gase kühlen dabei ab. Die gekühlten Abgase werden einer Abgasreinigungsanlage zugeführt. Das Ofenprinzip ist sparsam im Energieverbrauch und erlaubt zudem ein schonendes langsames Aufheizen der Grünkörper. Rißbildung in der Kohlenstoffkeramik durch zu rasche Zersetzung des Bindemittels wird vermieden. Die höchste Temperatur des Brennprozesses liegt bei ca. 1.200 Grad C.



Bild 4

Die entweichenden Gase hinterlassen Poren im amorphen Kohlekörper. Diese zugänglichen, offenen Poren können durch eine Vakuum/Druckimprägnierung wieder mit Pech gefüllt werden. - **Bild 5** - zeigt die Anlage, in der diese Imprägnierung erfolgt. Das Pech wird dann in einem weiteren Brennprozeß thermisch zersetzt, verkocht. Die Porosität des Kohlekörpers nimmt dabei ab, sein spezifisches Gewicht nimmt zu. Meistens wird einmal nachverdichtet, imprägniert. Das Imprägnieren kann, falls erforderlich, auch mehrmals durchgeführt werden. Da aber nach jedem Brennprozeß, der einem Imprägnieren mit Pech folgt, wieder Poren entstehen, können völlig porenfreie Kohle- und Grafitkörper nicht erreicht werden. Nach zweimaliger Nachverdichtung sind zudem die Poren im Kohlekörper meist so klein, daß Imprägnierpech in wirtschaftlich vernünftigen Zeiträumen nicht mehr eindringen kann. Technisch wird man sich daher auf maximal 2 Imprägnierungen beschränken.



Bild 5

Die Umwandlung des Kohlekörpers in Elektrografit erfolgt durch Grafitieren, einen Temperaturprozeß bis zu 3.000 ° C. Hierfür stehen zwei Verfahren zur Verfügung, zum einen die seit Ende des vorigen Jahrhunderts praktizierte Achesongrafitierung - **Bild 6** -, bei der die

Kohlekörper in ein Schüttbett aus Kokskörnern eingelegt werden, das als Widerstandsmaterial für die elektrische Erhitzung dient und zum anderen die moderne Strang- oder Längsgrafitierung - **Bild 7** -, bei der die Kohlekörper selbst den Heizwiderstand darstellen. Es fließen dabei Ströme von bis zu 160 kA. Die Koksschüttung dient in diesem Verfahren nur der Abdeckung der Körper zum Schutz vor Oxidation und zur thermischen Isolierung. Beim Grafitieren erfolgt in den Kohlekörpern durch Verschiebungen und Umlagerungen infolge thermischer Bewegung im atomaren Bereich die Umwandlung der ungeordneten mikrokristallinen Kohlenstoffstruktur in größere Bereiche dreidimensional geordneter Grafitstruktur. Die technischen Eigenschaften ändern sich durch diese Kristallisation sehr stark. Aus der harten, rauhen und schlecht leitfähigen Kohle wird weicher, gleitfähiger und gut leitfähiger Grafit.



Bild 6



Bild 7

Nach dem Grafitieren liegen Halbfabrikate bzw. Rohlinge aus Elektrografit vor.

Aus diesen Grafitrohlingen entstehen die Fertigprodukte, wie z.B. Kokillen, Tiegel usw. durch mechanische Bearbeitung. Endmaße und Details, wie Schlitze, Bohrungen, Konturen werden auf Maschinen hergestellt, wie sie in der Metallbearbeitung üblich sind. Der Designvielfalt sind fast keine Grenzen gesetzt. Zu beachten ist nur, daß Grafit als quasi keramischer Werkstoff einer gewissen Bruchgefahr unterliegt.

Eigenschaften von Grafit.

Grafit ist eine der beiden in der Natur vorkommenden Kohlenstoffmodifikationen. Das Kristallgitter des Grafits - **Bild 8** - besteht aus übereinandergelagerten ebenen Kohlenstoffschichten, in welchen die Kohlenstoffatome zu lauter Sechsecken der Kantenlänge 1,42 Angström zusammengefügt sind. Die einzelnen Schichten haben voneinander einen Abstand von 3,35 Angström. Der Grafiteinkristall ist stark anisotrop. Zwischen den Schichtebenen sind nur schwache Van Der Waal'sche Kräfte wirksam. Die einzelnen Schichten des Gitters sind daher gegeneinander verschiebbar. Grafit ist bedingt durch diese Schichtgitterstruktur ein hervorragendes Trockengleitmittel. Er bietet dadurch und wegen der geringen Benetzung durch flüssige Metalle beste Voraussetzungen für den Einsatz als Kokillenwerkstoff für das Stranggießen von Bunt- und Edelmetallen sowie Grauguß.

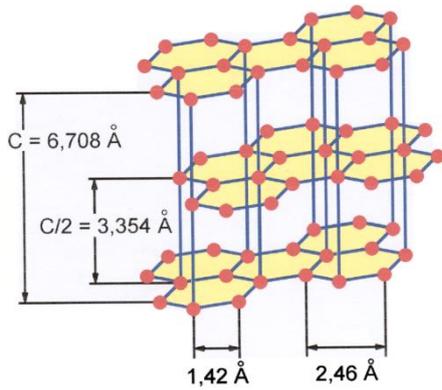


Bild 8

In den Schichtebenen sind Elektronen frei beweglich. Der spezifische elektrische Widerstand des Graphits in den Schichtebenen beträgt nur 0,5 Ohm mm²/m, ein Wert, etwa wie bei Titan. Die Widerstandswerte des technischen Elektrographits liegen allerdings eine 10er Potenz höher.

Seine Wärmeleitfähigkeit ist mit etwa 50 % der Kupferwärmeleitfähigkeit, besser als bei vielen Metallen.

- **Bild 9** - zeigt die Abhängigkeit einiger technischer Werte des Graphits von der Temperatur.

Bemerkenswert ist, daß die mechanische Festigkeit mit zunehmender Temperatur ebenfalls zunimmt. Der Elastizitätsmodul verhält sich entsprechend. Die thermische Ausdehnung ist gering. Das erklärt die gute Thermoschockbeständigkeit von Graphit. Der ungewöhnliche Verlauf der Kurve des elektrischen Widerstandes erklärt sich aus der Kombination der halbleitenden Eigenschaften über die Schichtebenen hinweg mit der metallischen Leitung innerhalb der Schichtebenen.

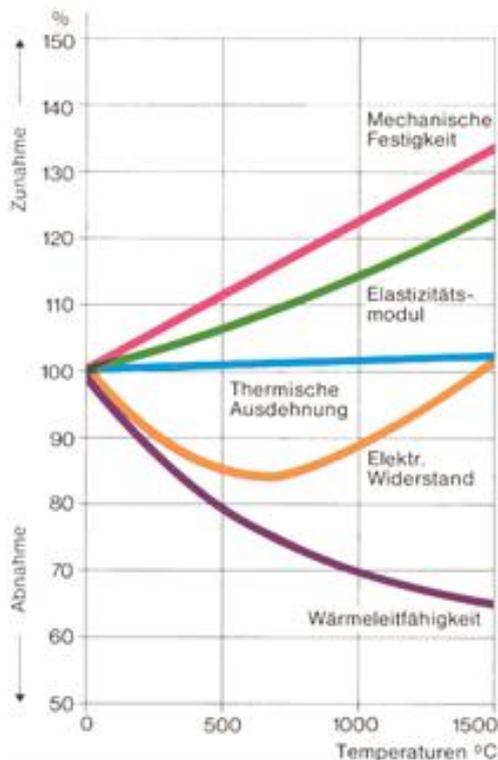


Bild 9

Vergleich der Eigenschaften und der technischen Daten verschiedener Graphitsorten.

Hierzu - **Bild 10** - Technische Daten von Strang-/Gesenk- und Isogرافiten.

Was fällt auf? Gesenk- und isostatisch gepreßte Graphite haben eine höhere Dichte und eine geringere Porosität. Sie sind mechanisch fester, wie man aus den Werten von Druck- und Biegefestigkeit erkennt. Stranggepreßte Graphite haben eine bessere Wärmeleitfähigkeit und einen geringeren spezifischen elektrischen Widerstand und sie sind weicher. Die Wärmeausdehnung ist etwas geringer.

An Luft ist Graphit bis ca. 400 °C beständig. Darüber hinaus findet Oxidation statt. Diese temperaturabhängige Oxidation führt zu Verschleiß, der die Standzeit begrenzt. Für den Temperaturbereich bis 1200 °C wurde eine oxidationshemmende Imprägnierung (OH26-1) entwickelt, die den Verschleiß reduziert. Unter neutralem Schutzgas, Argon, Stickstoff und im Vakuum ist Graphit bis etwa 300 °C beständig.

Technische Daten für Elektrographit
Ausschnitt aus dem CME – Produktprogramm

Qualität	Standard- formate (mm)	Raum- gewicht (g / cm ³)	Porosi- tät (%)	Spez. el. Wider- stand * (Ω mm ² / m)	Druck- festigkeit (N / mm ²)	Biege- festigkeit (N / mm ²)	Asche- gehalt (%)	Thermischer Ausdehnungs- koeffizient * (10 ⁻⁶ / K)	Wärme- leit- fähigkeit (W / m K)
Strang- gepresst									
CCF/XN	∅ 30 .. 105	1,72 - 1,75	14 - 17	6 - 8	30 - 40	20 - 25	<0,1	1,8 - 2,5	120 - 140
CCF/XN	∅ 110 .. 280	1,70 - 1,73	16 - 19	6 - 8	26 - 32	17 - 20	<0,1	1,6 - 2,2	120 - 140
CCF/XN	□ Platten**	1,66 - 1,73	18 - 20	5 - 8	22 - 28	16 - 19	<0,1	1,6 - 2,2	120 - 140
EL/XN	∅ 300 .. 600	1,67 - 1,73	17 - 20	5 - 7	23 - 28	10 - 14	<0,8	1,5 - 2,0	130 - 150
Gesenk- gepresst									
B 513 XN	∅25..400, 300x240x500	1,75	16	14 - 20	53	24	<0,1	3,5 - 4,5	100
B 527 XN	∅25..135, 75x150x500	1,75	15	13 - 20	57	25	<0,1	3,5 - 4,5	95
B 527 DXN	∅50..300	1,84	11	12 - 16	68	35	<0,1	4 - 5	110
Isostatisch gepresst									
B 640 XN	auf Anfrage, Rund- und Rechteck- formate	1,76	13	16 - 18	79	34	<0,15	3,3	80
B 644 XN	auf Anfrage, nur Rechteck- formate	1,82	8	12	137	62	<0,1	5,6	112

Alle Werte sind als Mittelwerte / typische Wertebereiche zu betrachten!