

Ziehsteine aus Naturdiamant in der kristallinen Orientierung $\langle 111 \rangle$

Ulrich Kiwus

**UKD Ulrich Kiwus Diamanttechnik
Ottostrasse 55
D-52070 Aachen
Germany**

08 / 1995

Ziehsteine aus Naturdiamant in der kristallinen Orientierung $\langle 111 \rangle$

Spätestens seit man in den Werkstätten der Renaissance im 15. Jahrhundert Diamanten für Schmuck schliff, um ihnen mehr Brillanz zu verleihen, war bekannt: Diamant besitzt eine von der Richtung abhängige Härte.

Für die Nutzung der Härteunterschiede durch definierte Lageorientierung des Diamant für industrielle Anwendungszwecke, so auch für das Drahtziehen, gibt es Belege seit dem Ende des 19. Jahrhunderts. Dieses Thema wurde neu belebt, als die Firma Sumitomo Electric 1987 erstmals synthetisch hergestellten monokristallinen Diamant für industrielle Zwecke gezielt in der Kristallorientierung $\langle 111 \rangle$ auf den Markt brachte.

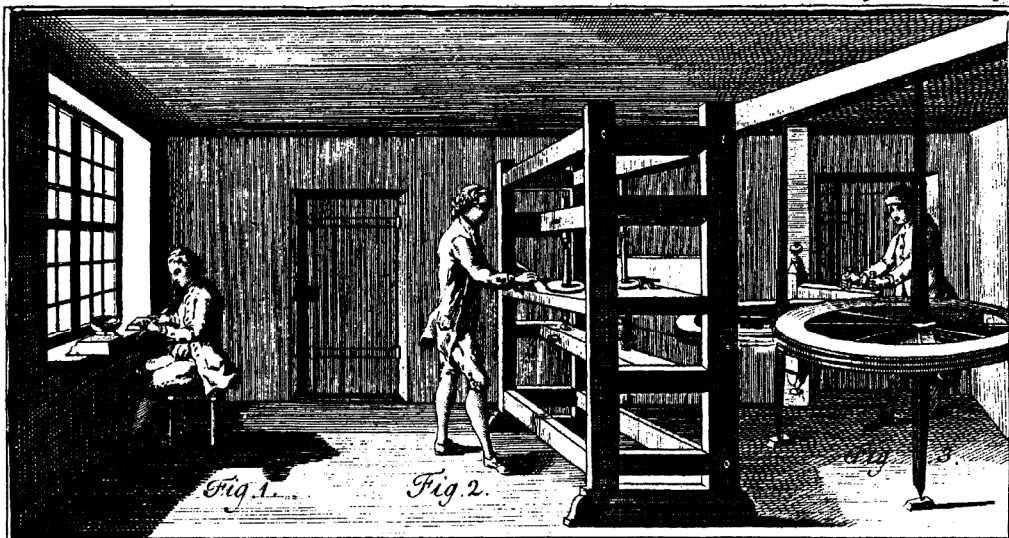
Seit Bekanntwerden dieser neuen Materialien hat UKD Ulrich Kiwus Diamanttechnik als Hersteller von Ziehsteinen umfangreiche Versuche durchgeführt. Vor allem zusammen mit Stahldrahtziehern, da bei harten Materialien Resultate relativ rasch erkennbar waren. Parallel dazu wurde die Schleiftechnik bei Naturdiamant systematisiert und Ziehsteine aus Naturdiamant mit verschiedener Orientierung getestet.

Seit 1992 sind wir bei UKD dazu übergegangen, die Bohrung der Ziehsteingeometrie in Naturdiamant möglichst exakt in die kristalline Orientierung entsprechend der Millerschen Indizes $\langle 111 \rangle$ zu legen (sog. Dreipunkt-Orientierung). Es entstand das Produkt „UKD Natur- $\langle 111 \rangle$ “. Die Erfahrungen mit diesem Produkt aus den vergangenen drei Jahren zeigen:

- Höhere Rundheit der Ziehsteine über die Einsatzdauer
- dadurch eine Verlängerung der Standzeit der Ziehsteinsätze, besonders bei genau gestuften Sätzen nach Drahtverlängerung (s. unsere Schrift „Ziehsteinsätze“)
- hiermit verbesserte Rohstoffausnutzung in Hinblick auf Wirtschaftlichkeit und Ökologie.

PLATE LIII

Facing Diamond Cutting



1. Diamantwerkstoffe für Ziehsteine

Seit Anfang der 70er Jahre sind polykristalline Werkstoffe für Ziehsteine bekannt. Diese werden durch Drucksinterverfahren aus Diamantpulver hergestellt, Produkte, die vom Praktiker als „synthetischer Diamant“, „Kunststeine“ oder COMPAX (Produktname der Firma General Electric) bezeichnet werden. Andere Produktnamen sind SYNDIE (De Beers), SUMIDIA (Sumitomo Electric) und MANT (Mant USA Inc.).

Wie bereits erwähnt sind seit 1987 auch synthetisch hergestellte Einkristalle im Millimeterbereich als industrielle Rohstoffe verfügbar. Diese werden bei Temperaturen von über 1300 °C und Drücken von 50.000 bar aus Graphit synthetisiert. Auf Grund der hohen Wärmeleitfähigkeit des Diamant wurden diese zunächst als Wärmesenken (Wärme ableitende Bauteile) für die Halbleitertechnik entwickelt, dann aber sogleich von den Herstellern als Ausgangsmaterial für Ziehsteine propagiert. Produktnamen sind SUMICRYSTAL (Sumitomo Electric) und MONODIE (De Beers).

Somit ist der Begriff „synthetischer“ Diamant nicht mehr eindeutig und man unterscheidet begrifflich besser zwischen *polykristallinem* (vielkristallinem) und *monokristallinem* (einkristallinem) Diamant. Zwischen beiden besteht ein erheblicher Unterschied in Struktur, Verschleißverhalten und Bearbeitung.

Dagegen sind die Unterschiede zwischen den in der Natur gefundenen und den synthetisch erzeugten Einkristallen eher graduell, jedoch nicht unbedeutend.

Im folgenden werden die verschiedenen Kristallorientierungen des monokristallinen Diamants erläutert, sowie natürliche und synthetische Einkristalle als Rohstoff für Ziehsteine gegenübergestellt.

2. Orientierung und Verschleißverhalten

Zunächst die wesentlichen Merkmale der Diamant-Einkristalle:

- homogene Körper (eine Phase, richtungsunabhängig gleiche stoffliche Beschaffenheit)
- Kristallisation in der Symmetrie des kubischen Systems
- isotrope (richtungsunabhängige) Eigenschaften: Dichte, Farbe
- anisotrope Eigenschaften: Härte, Wärmeleitfähigkeit, optische Eigenschaften.

Härte verstehen wir im folgenden als Widerstand gegen Verschleiß. Dieser Eigenschaft gilt zunächst unsere Aufmerksamkeit.

Bild 2 zeigt die wichtigsten Formen des regulären Kristallsystems beim Diamant. Es sind: Würfel, Rhombendodekaeder (12-Flach) und Oktaeder (8-Flach). Der Diamant kristallisiert im kubischen System mit 90°-Winkeln. Rechts im Bild 2 sieht man entsprechend dieser Einteilung die tatsächlich in der Natur gefundenen Modelle.

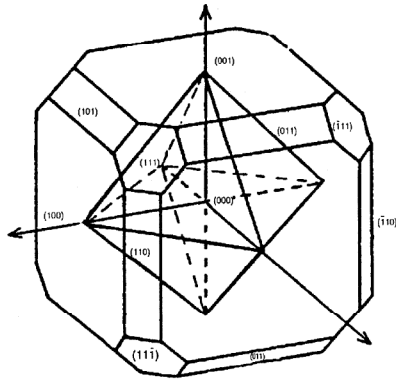
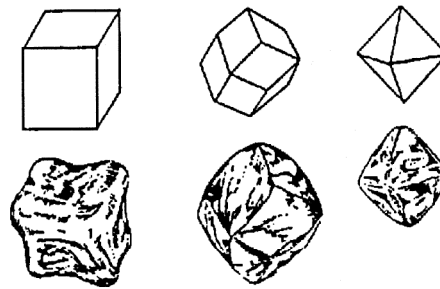


Bild 2 Oktaeder mit seinen Basisflächen



(100) (110) (111)
Kristallflächen der Ebenen

Aus Bild 3 erkennt man, welche Basisflächen an den Diamantkristallen angeschliffen werden können. Das Anbringen von planparallelen Flächen bei Diamanten für Ziehsteine hat folgende Gründe:

- Festlegung der Bohrungsrichtung nach eingehender Untersuchung der Wachstumsrichtung des Kristalls
- Bessere Fixierung in der Ziehsteinfassung und Vermeiden des „Kippens“ beim Einsintern des Diamanten in die Fassung
- Definierte Wandstärke im Einlaufbereich und damit geringere Bruchgefahr des Ziehsteins
- Vermeidung von Ovalitäten, die bei Bohrungen in die natürlichen, unebenen Flächen kaum zu verhindern sind.

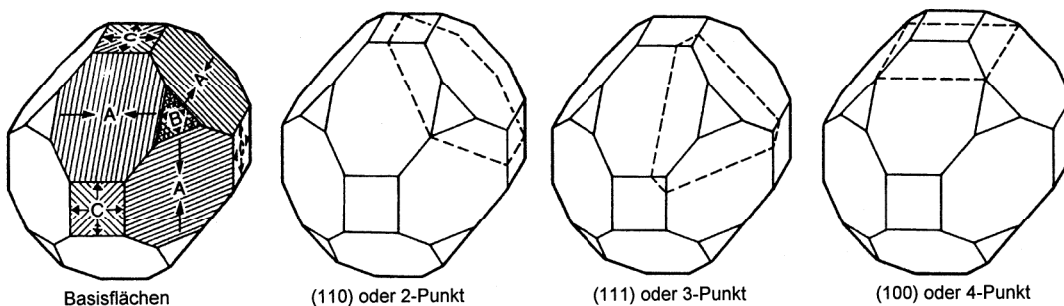


Bild 3 Basisflächen

Nach dem Anschleifen von genügend großen Flächen senkrecht zu den Hauptrichtungen des Diamantkristalls wird die Ziehsteingeometrie eingebracht (Bilder 4-6). Zur Kennzeichnung der Lagen der Flächen werden die in der Kristallographie üblichen Miller'schen Indizes verwendet. Zur Vereinfachung werden nur die drei Hauptflächen von Würfel, Dodekaeder und Oktaeder berücksichtigt. Diese besitzen die niedrigsten kristallographischen Indizierungen.

< 100 >

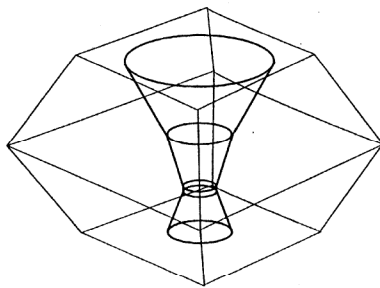


Bild 4
Bohrung senkrecht zur
geschliffenen Oktaederspitze

<110>

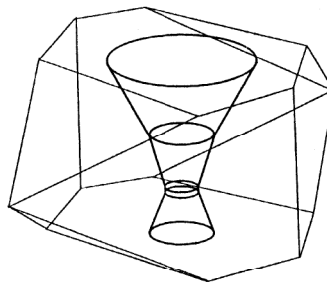


Bild 5
Bohrung senkrecht zur
geschliffenen Oktaederkante

<111>

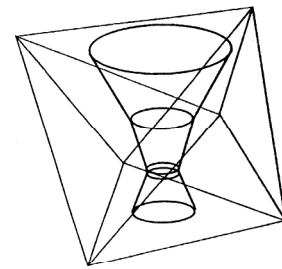


Bild 6
Bohrung im Oktaederkristall
senkrecht zur (111) Ebene

Es wurden in der Vergangenheit eine Fülle von Verschleißuntersuchungen am Diamantkristall vorgenommen, vor allem Eindring- und Schleifversuche, aber auch Abriebversuche (s. Literaturliste). Für die Fertigung von Ziehsteinen können daraus folgende Schlußfolgerungen gezogen werden:

- Der Verschleißfaktor zwischen der härtesten und der weichsten Flächenrichtung beim Diamant beträgt etwa 1:9. Ein erheblicher Unterschied und damit ein Hinweis, daß darauf zu achten ist, wie viele harte Richtungen von der Bohrungswandung im Ziehstein geschnitten werden
- Das günstigste „Gebiet“ für Ziehsteine ist die Bohrung in Richtung <111>, gefolgt von <110>
- Die Bohrungsrichtung <100> ist am ungünstigsten.

Für die Bohrungsrichtungen <110> und <111> ist in den Bildern 7 und 8 der Verschleiß sowohl schematisch, als auch an tatsächlich verschlissenen Ziehsteinen dargestellt (fotografische Aufnahmen der Interferenzringe; mittels Laser erzeugt). Wandert man bei der Bohrung in Bild 7 einmal auf der Umfangslinie herum, so trifft man auf 4 harte Zonen, in Bild 8 dagegen auf 6. Die hexagonale Anordnung der „Stützstellen“ bei <111>-orientierten Ziehsteinen zeitigen einen gleichmäßigeren Verschleiß, dadurch eine geringere Neigung zu Ovalität und somit im Ergebnis eine höhere Standzeit.

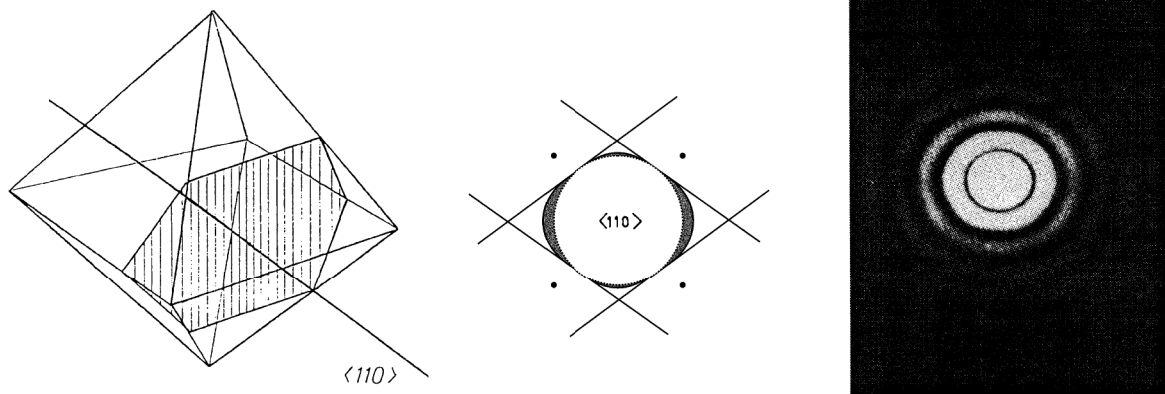


Bild 7 Bohrungsrichtung im Oktaederkristall $\langle 110 \rangle$

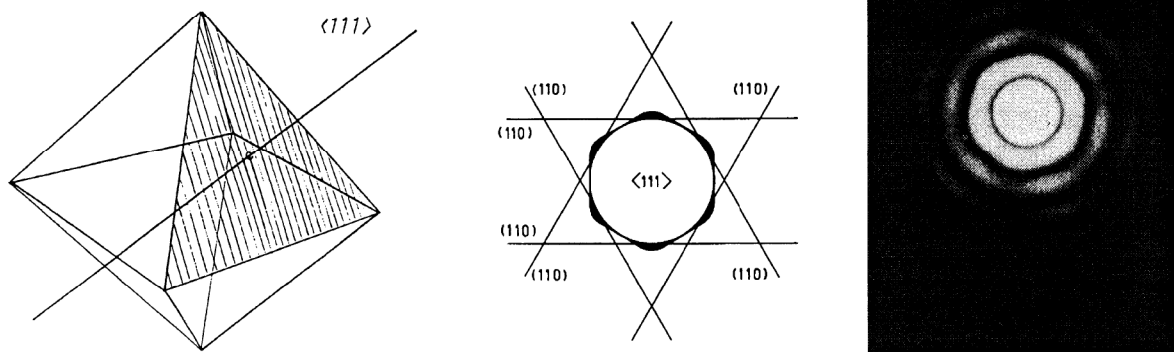


Bild 8 Bohrungsrichtung im Oktaederkristall $\langle 111 \rangle$

Die Bohrungsrichtung $\langle 111 \rangle$ ist für die Ziehsteinherstellung zu bevorzugen.

3. Synthetische Einkristalle und deren kristallographische Orientierung

Zweifelsohne ist die Herstellung synthetischer Diamanten eine beeindruckende wissenschaftliche und technische Leistung auf dem Gebiet der angewandten Thermodynamik. Der Traum der frühen Naturkundler, der Alchimisten, war in Erfüllung gegangen: Zwar nicht beim Golde, jedoch beim Diamant.

Nach labormäßigen Entwicklungen seit den 60er Jahren standen Ende der 80er Jahre industriell nutzbare Einkristalle im Größenbereich von 0,5-1,5 mm zur Verfügung.

Anfänglich wurden auch synthetische Einkristalle in der Kristallorientierung $\langle 100 \rangle$ als Ziehsteinrohlinge angeboten. Aus der Theorie war bereits bekannt, daß Ziehsteine in der Orientierung $\langle 100 \rangle$ relativ ungünstige Verschleißeigenschaften aufweisen. Bei Naturdiamant ist das Abschleifen der Oktaederspitzen (Vierpunktschliff) unwirtschaftlich, da hierbei eher die Schleifscheiben beschädigt werden, als daß ein Abtrag am Diamant erreicht wird.

Bereits bei der Bearbeitung der synthetischen Diamanten mit Bohrung in der Richtung $\langle 100 \rangle$ hatte man den Eindruck, das Material sei „weicher“ als Naturdiamant. Beim Einsatz gingen die Ziehsteine relativ schnell im Maß hoch und wurden unrund.

Die Erfahrungen mit $\langle 111 \rangle$ orientierten synthetischen Diamantkristallen (Bild 9) sind besser. Jedoch werden nach der Meinung einiger unserer Kunden - vor allem Stahldrahtzieher - immer noch nicht die Vorzüge von Naturdiamant erreicht. Insbesondere wenn die Gesamtlebensdauer der Ziehsteine (nach Aufarbeitung) betrachtet wird.

Dies könnte auf folgenden Ursachen beruhen :

Die gelblich-bräunliche Färbung der synthetischen Einkristalle ist auf Einlagerung von Stickstoff und evtl. auf Katalysatorrückstände zurückzuführen. Lediglich durch die Hinzufügung von metallischen Katalysatoren kann die Synthese in wirtschaftlich vertretbaren Produktionszeiten erfolgen. Es liegen nach unserem Wissen keine Daten vor, inwieweit Katalysatorreste zu einer Störung des Kristallgitters und damit zu einer eventuellen Verringerung der Härte des Diamant führen. Allerdings ist bekannt, daß mit steigender Konzentration des Stickstoffs eine Verminderung der Härte einhergeht.

Die in Bild 9 dargestellten MONODIES haben eine Höhe von 0,8 mm. MONODIES werden in einer Produktreihe bis 1,5 mm Kristallhöhe angeboten, SUMICRYSTALS bis 2,0 mm. Die größten Ziehsteine aus synthetischen Einkristallen können also im Neuzustand im Durchmesser nicht größer als etwa 1,0 mm sein. Ziehsteine aus Naturdiamant dagegen werden von UKD bis zu einem Durchmesser von 3,0 mm angeboten.

4. Natürliche Einkristalle und deren Orientierung

Bild 10 zeigt eine Charge von unbearbeiteten Naturdiamanten in der Größe 15-20 Steine pro Karat (1 Karat = 0,2 Gramm), wie sie üblicherweise für Diamantziehsteine mit Durchmessern von 0,2 mm verwendet werden. Diese Ware wird bei UKD durch einen mehrstufigen Selektionsprozeß von am Markt verfügbaren Chargen „herausgefiltert“. Erst nach diesem Auswahlvorgang findet der Kauf statt, ungeeignete Ware wird zurückgewiesen. Kriterien der Selektion sind (durch Mikroskopie mit 40-facher Vergrößerung):

- Freiheit von inneren Einschlüssen und Mikrorissen
- Form geeignet zum Schleifen der Parallellflächen in $\langle 111 \rangle$ -Orientierung
- Oberfläche weitgehend frei von Abplatzungen und Rissen
- Freiheit von scharfen Spannungsverläufen (Polarisationsmikroskopie).

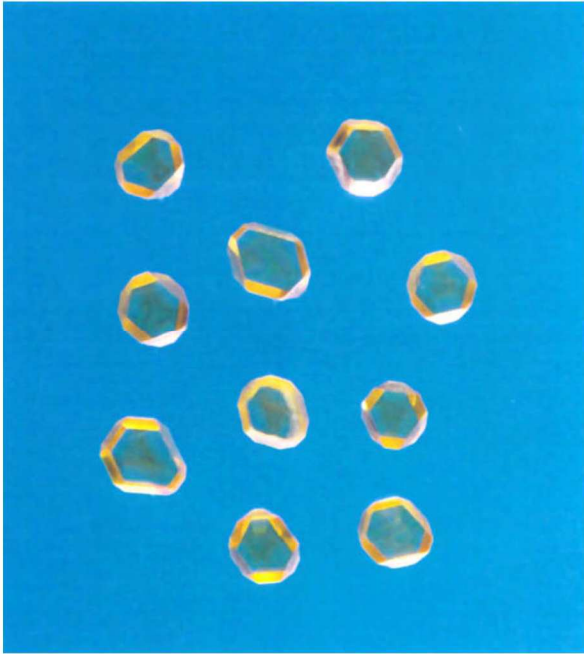


Bild 9: Monodies 111

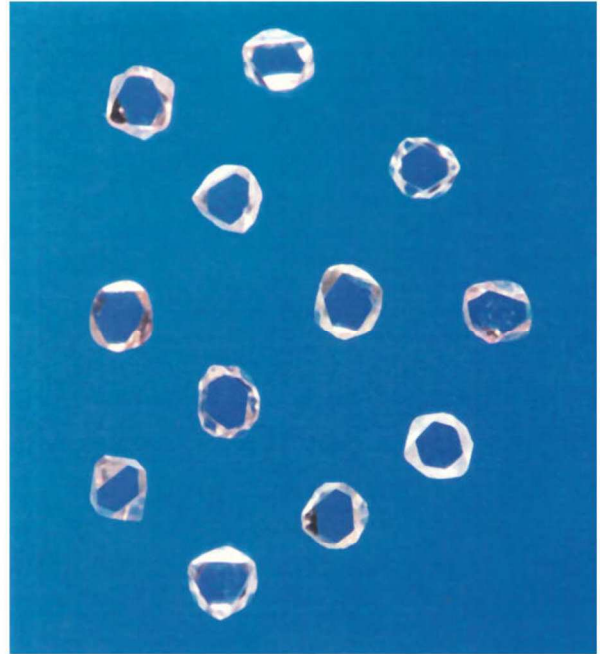


Bild 11: Natur-⟨111⟩

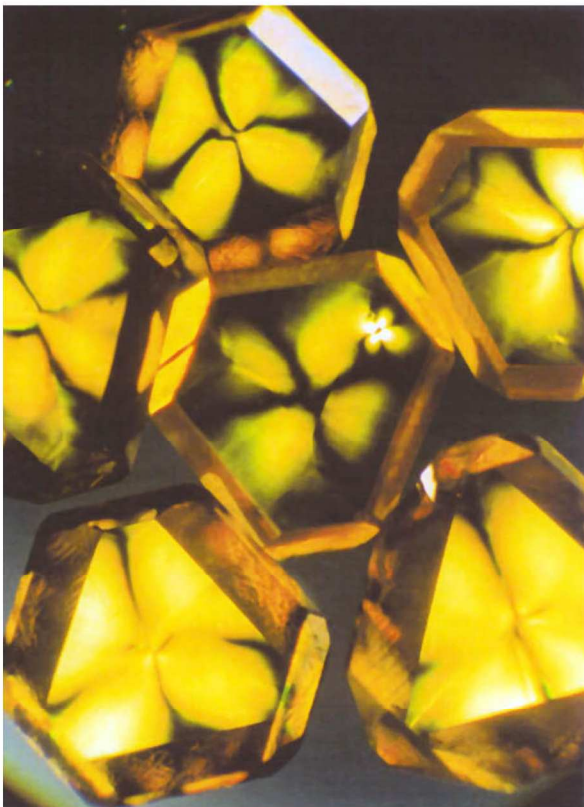


Bild 13: Monodies 111 (Polarisationsmikroskop)



Bild 14: Natur-⟨111⟩ (Polarisationsmikroskop)

Dem Prozeß der Diamantauswahl widmen wir im Hause UKD die allerhöchste Aufmerksamkeit. Hierbei verfahren wir im Interesse unserer Kunden nach dem Prinzip: Probleme gar nicht erst kaufen!

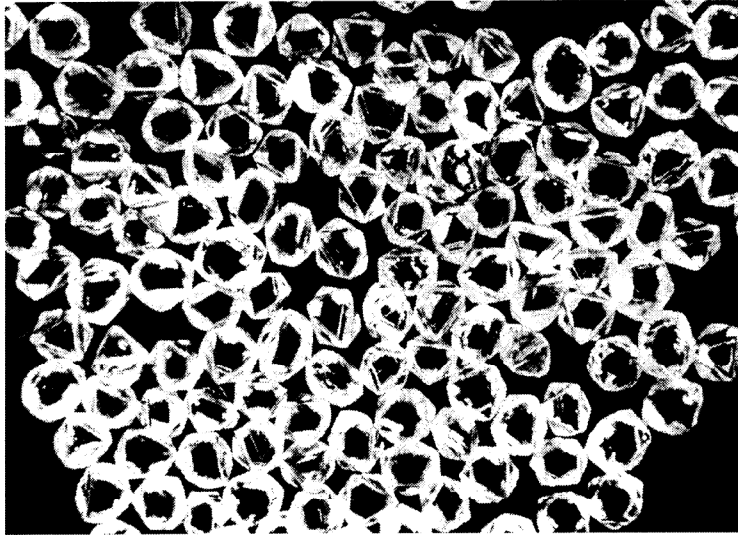


Bild 10

Zunächst ist auffällig, daß die Diamanten in Bild 10 erheblich weißer als synthetische Einkristalle sind, also weniger Fremdatome eingelagert haben.

Für größere Ziehsteine werden gelbe oder leicht braune Naturdiamanten verwendet, da aus Preisgründen keine Rohware eingekauft werden kann, die auch für Schmuckzwecke Verwendung findet.

In Hinblick auf die innere Sauberkeit hat der bei UKD ausgewählte Rohstoff Naturdiamant Vorteile gegenüber synthetischen Einkristallen.

Bei den Naturdiamanten in Bild 11 erkennt man die angeschliffenen oktaedrischen Dreiecksflächen. Der in seinem Handwerk geübte Diamantschleifer, der an Kristallen der Größe 50 Steine pro Karat noch einen Brilliant-Vollschliff mit 57 Flächen anbringt, kann sehr genau den „Wuchs“ - also die Kristallorientierung - des Diamantkristalls erkennen.

An Diamantkristallen der in Bild 11 gezeigten Größe können wir mittlere Abweichungen von ca. 1 Grad und maximale Abweichungen von ca. 3 Grad der $\langle 111 \rangle$ -Richtung zur Normalen auf der geschliffenen Oberfläche erreichen. Dies haben Untersuchungen mittels Laue-Methode in kristallographischen Labors ergeben (Bild 12.1 und 12.2).

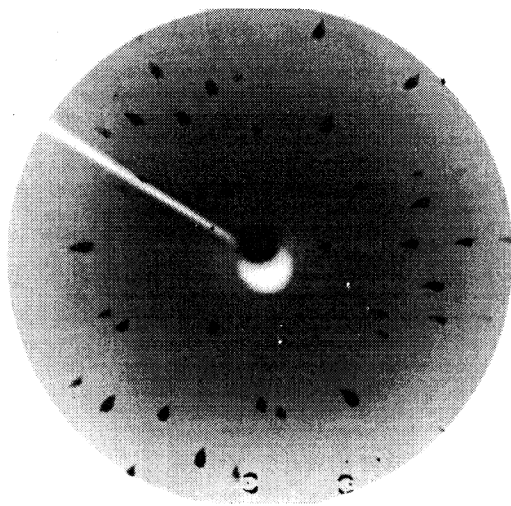


Bild 12.1
Laue-Aufnahme der geschliffenen (111)-Fläche

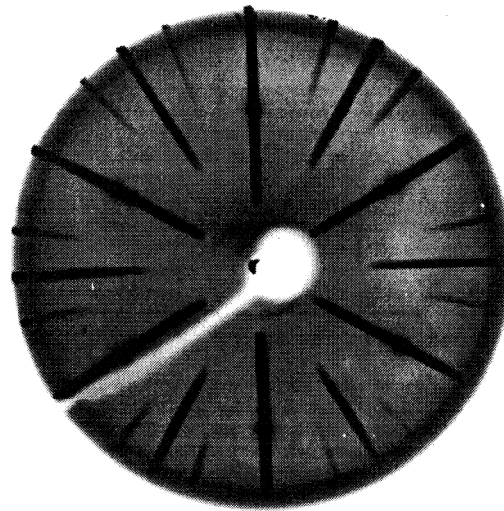


Bild 12.2
Precessionsbild (bewegte Laue-Aufnahme) davon

Allerdings ist das Anlegen von Flächen senkrecht zur $\langle 111 \rangle$ -Richtung (Dreipunktschliff; der Schleifer sieht auf der geschliffenen Fläche drei Kanten, „Punkte“, Bild 6) mit einem höheren Arbeitsaufwand verbunden als der sonst übliche Schliff senkrecht zur $\langle 110 \rangle$ -Richtung (Zweipunktschliff, Bild 5). Da beim Zweipunktschliff eine natürliche Kante vorhanden ist, gegen die geschliffen werden kann (die Seitenkante des Oktaeders), ist das Schleifen dieser Facette in einer einzigen Einstellung der Schleifzange möglich.

Ein direktes Aufschleifen der Dreiecksfläche beim Dreipunktschliff ist dagegen nicht möglich, der Stein „greift nicht“ wie der Schleifer sagt. Es muß zunächst eine Hilfsfläche angeschliffen werden, die einen gewissen Winkel zur Dreiecksfläche hat. Anschließend kann die Schleifzange parallel zur Dreiecksfläche ausgerichtet werden und gegen die vorher erzeugte Kante fertig geschliffen werden. Diese Vorgehensweise erfordert die volle Aufmerksamkeit des gut ausgebildeten Schleifers und ist natürlich zeitaufwendiger.

Schleifautomaten, die eine Vielzahl von Diamanten beidseitig und gleichzeitig mit Parallelfächen versehen, sind für den Dreipunktschliff nicht einsetzbar. Auch dürfte bezweifelt werden, daß bei externer Vergabe als Lohnarbeit (Bezahlung nach Stückzahl) - wie bei vielen Ziehsteinherstellern üblich (wenn überhaupt Parallelfächen angelegt werden) - die Steine mit sorgfältig ausgeführtem Dreipunktschliff vom Diamantschleifer zurückkommen.

Bei UKD werden diese Schleifarbeiten ausschließlich im eigenen Hause unter Kontrolle eines berufserfahrenen Diamantschleifers durchgeführt.

Jüngere Mitarbeiter werden in diesen in Mitteleuropa fast ausgestorbenen Beruf sorgfältig eingeführt. Es werden digitale Meßmethoden zur Konstanthaltung der Winkel während des Schleifprozesses angewendet.

Bei Naturdiamanten als Rohstoff für Ziehsteine wird bei UKD eine definierte Orientierung in $\langle 111 \rangle$ -Richtung durch einen systematisierten Schleifprozeß erreicht.

5. Innere Spannungen im Diamant

Innere Spannungen in Kristallen können die Ursache für Risse im Werkstoff sein. Mit Hilfe der Polarisationsmikroskopie können Spannungen sichtbar gemacht werden. Das ungehindert den Strahlengang des Mikroskops durchlaufende Licht kann mittels zweier um 90° versetzter Polarisationsfilter erloscht werden. Liegen Spannungen im Kristall vor, so werden diese durch die flächige Drehung der räumlichen Lichtwelle am Spannungsort als Farberscheinungen sichtbar.

Bild 13 zeigt die inneren Spannungen bei MONODIES 111. Um den Kristallisationskeim herum sieht man relativ scharfe Spannungsübergänge. Der mittlere Kristall hat zudem oben rechts einen Einschluß.

Die Spannungsübergänge bei den Naturdiamanten in Bild 14 erscheinen weicher.

Der relativ saubere Naturdiamant zeigt einen günstigeren Spannungsverlauf. Dies bedeutet eine geringere Reißneigung.

6. Wirtschaftliche Gegenüberstellung Naturdiamant - synthetischer Einkristall

In der UKD-Spezifikation (Bild 15) werden dem Ziehsteindurchmesser (Spalte 1) eine Diamanthöhe (Spalte 2) und ein Minstdurchmesser der angeschliffenen Flächen (Spalte 3) zugeordnet. In Spalte 4 sind für entsprechende Diamanthöhen die Flächendurchmesser synthetischer Einkristalle eines Herstellers aufgetragen. Diese sind deutlich kleiner.

In Bild 16 wurden 10 Naturdiamantkristalle und 10 synthetische Einkristalle im gleichen Höhenbereich zwischen 1,0 und 1,05 mm ausgewogen. Das Durchschnittsgewicht der Naturdiamanten „UKD-<111>“ ist um 48 % höher. Damit sind natürlich auch die Aufbohrmöglichkeiten größer.

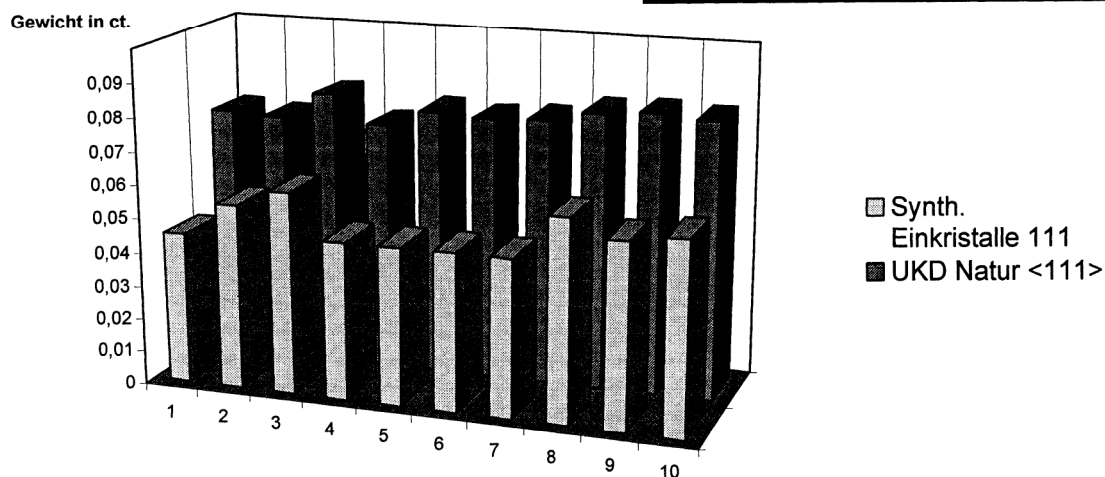
Bild 15 : UKD-Spezifikation (Auszug) für Ziehkonus-Winkel von 12 und 14 Grad (harte Materialien)

Ziehsteindurchmesser in mm	Diamanthöhe in mm	Minstdurchmesser der geschliffenen Flächen in mm	
		Natur	synth. Einkristall
0.10	0.80	0.90	0.82
0.20	0.90	1.00	0.90
0.25	1.00	1.10	0.98
0.30	1.10	1.20	1.05
0.40	1.30	1.40	1.17
0.50	1.40	1.60	
0.60	1.50	1.80	
0.70	1.70	2.10	
0.80	1.80	2.30	
0.90	1.90	2.40	
1.00	2.00	2.50	
1.10	2.10	2.60	
1.20	2.20	2.70	
.....			

The height tolerance is +/- 0.05 mm.

Bild 16 Gegenüberstellung der Karatgewichte bei einer Diamanthöhe von 1,0 - 1,05 mm :

Material	Ø Gewicht	Index
Synth.Einkristalle 111	0,0534 ct. / St.	100
UKD Natur <111>	0,079 ct. / St.	148



Bei Verwendung von synthetischen Einkristallen, die den bei Naturdiamanten üblichen Gewichten (Größen) entsprechen, wird der Rohstoffeinsatz sehr kostspielig, langfristig mag sich das ändern.

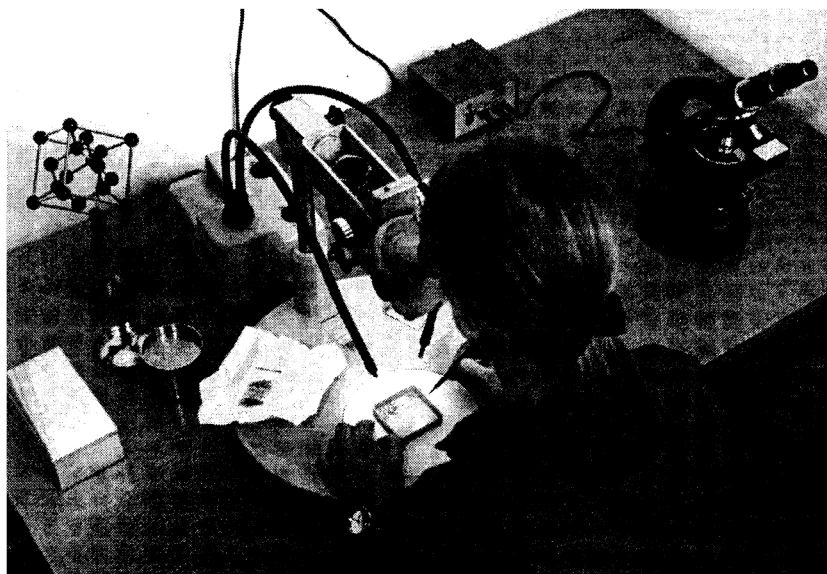
„UKD Natur-<111>“-Ziehsteine sind gegenüber solchen aus synthetischen Einkristallen heute die wirtschaftlichere Lösung.

7. Sicherung der Qualität bei „UKD Natur-<111>“

Der Tatsache, daß es sich bei den synthetisch hergestellten Einkristallen um industriell reproduzierbare Produkte handelt, setzt UKD einen systematisierten Auswahl- und Schleifprozeß entgegen.

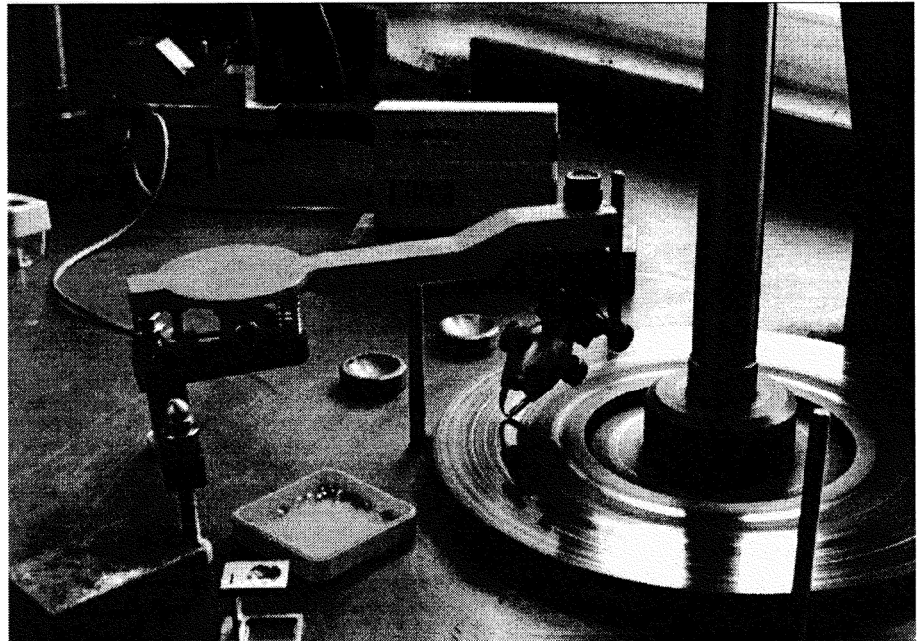
Die von Händlerseite angebotene Ware durchläuft einen mehrstufigen Selektionsprozeß. Nach der „ersten Sicht“ durch eine geübte Person (Bild 17) wird die Gutmenge nochmals durch die Leitung der Abteilung Vorfertigung durchgesehen, Stein für Stein. Erst danach wird der Kauf der geeigneten Diamanten getätigt; die als ungeeignet eingestuft Diamanten werden an den Händler zurückgegeben.

Bild 17



Ein systematisierter Schleifprozeß ermöglicht die Einhaltung der kristallinen Orientierung der Bohrrichtung $\langle 111 \rangle$ (Bild 18).

Bild 18



Die Kennzeichnung der in $\langle 111 \rangle$ -Richtung orientierten Ziehsteine erfolgt durch ein Dreieck (Dreipunktschliff) auf der Vorderseite der Fassung (Bild 19).

Dieser Prozeß unterliegt unserem Qualitätssicherungssystem, das nach DIN/ISO 9001 zertifiziert ist.

Bild 19



Literatur:

1. KLEBER, W.: Einführung in die Kristallographie. Verlag Technik GmbH, Berlin 1990
2. HALLA, F. und MARK, H.: Röntgenographische Untersuchung von Kristallen. Verlag J.A. Barth, Leipzig 1937
3. FIELD, J.E.: The Properties of Diamond. Academic Press Ltd., London 1990
4. VLEESCHDRAGGER, E.: Hardness 10: Diamond. Gaston Lachurié, Paris 1986
5. GRODZINSKI, P.: Diamond Technology. N.A.G. Press, London 1953
6. GRODZINSKI, P.: Diamond Tools. A. Smit & CO. INC., New York 1944
7. SCHEDLER, W.: Hartmetall für den Praktiker. VDI Verlag, Düsseldorf 1988
8. SCHOB, O. und VRIEZE, W.: Der Verschleiß von Diamantziehsteinen in Abhängigkeit von der kristallographischen Orientierung. Draht-Fachzeitschrift Heft 6/1974, Probst & Meiner-Verlag, Coburg
9. N.N.: Sumidia WD Sumicrystal CD. Sumitomo Electric Ind. Ltd., Düsseldorf 1990.
10. N.N.: De Beers PKD- und synthetische monokristalline Diamantziehsteinrohlinge. De Beers Industrial Diamond Division, Düsseldorf 1993
11. LEYER, R.: Bohren feinsten Löcher kleiner 80 µm in Diamant. in: Abtragen und Bohren mit Festkörperlaser. VDI Verlag, Düsseldorf 1993
12. KIWUS, U.: Transforming Diamond into Graphite. Wire Industry, Ausgabe November 1991, Publex Int. Ltd., Oxted, Surrey