

Office translation

**Material Testing Laboratory
of the State of Brandenburg -**
Instructed to perform material
testing for the state Berlin

Examination Report

No. 1.1/00/3669

2 copies

Client	TOP STORY Filmproduktion GmbH Mrs. Jutta Rabe August-Bebel-Straße 26-53 14482 Potsdam
Contents	Material examination of a part of the starboard front bulkhead of the ferry "Estonia" in order to prove mechanically caused structure deformations, additional examinations as to order 1.3/00/3664.
Instructions receivedRef.	19.09.2000
Instruction entry	19.09.2000
Material received	01.09.2000
Material delivered by	client
Material cut off by	- " -
Time period of examination	10.10.2000 to 26.10.2000

1. Contents of Instructions

The supplied part of the starboard front bulkhead of the ferry "Estonia" was - according to agreement - examined to prove structural changes caused by detonation and to verify the results of order no. 1.3/00/3664. The following examinations were performed:

- Scanning electron microscope (SEM) examination
- Metallographical examinations
- Micro hardness process measurements
- Examination report

2. Statements Concerning the Objects to be Examined

2.1 Object to be examined

The triangular steel sample of the starboard front bulkhead has according to clients two sides (cathodes) which are fracture edges and one side (hypotenuse) which was flame-cut during cutting off of the sample. The fracture edges and the parts of the surfaces are corroded. The area marked side 1 shows besides red paint remains also partly broken parts of the white top layer. This side is according to clients the outside of the bulkhead. The area marked side 2 is, besides the mentioned corroded parts, exclusively covered by a layer of paint initially white. (Pictures to be found in examination report 1.3/00/3664.) The two fracture edges of the steel sample were marked side 3 and side 4 (sample plan see page 9). The fracture edges are slanted. At side 3 the slope points to the outside, at side 4 to the inside of the bulkhead.

For the additional examinations within the range of this order, a specimen, viz. GO22 from order 1.3/00/3664 was used. Four specimens for cross micro-sections and longitudinal micro-sections have been taken out of this part sample.

The part samples marked No. 1 and No. 2 on the specimen plan have been handed over to clients for their further disposal and have not been the subject of the examination by the MPA. The part samples marked 3, 6, 9 and 10 have been the subject of order 1.3/00/3664. The part samples Nos. 4, 5, 7 and 8 are the subject of these examinations.

2.2 Preparations of Specimen

After the drawing up of a sample plan macroscopic overview photos were made (see examination report 1.3/00/3664).

The complete sample plan is shown on picture 1 and Table 1.

In order to carry out the additional examinations 4 specimens each were micro cut out in longitudinal and in transverse direction for the metallographic examination and furthermore, embedded, treated and structured. The metallographically treated micro sections were used for the micro-hardening development measurements. For SEM examinations the metallographically treated surface of specimen GO 22 from the order 1.3/00/3664 was applied. The micro section was goldized prior to the examination.

Table 1: Distribution of samples/specimens with markings.

Run. No.	Mark of specimen Client	Mark of specimen by MPA		Type of specimen	Remarks
		Part sample no.	Specimen no.		
1		3	1.3/00/3664 GO 22	micro section	SEM topography
2		4	1.1/00/3669 GO 11	micro section parallel to fracture edge	structure side 3, fracture edge
3		4	1.1/00/3669 GO 12	micro section trans- verse to fracture edge	structure side 3, fracture edge
4		4	1.1/00/3669 HMV 012	at micro section GO 12	micro-hardening process
5		5	1.1/00/3669 GO 21	micro section parallel to fracture edge	structure, side 3, fracture edge
6		5	1.1/00/3669 GO 22	micro section trans- verse to fracture edge	structure, side 3, fracture edge
7		5	1.1/00/3669 HMV 022	at micro section 022	micro-hardening process
8		7	1.1/00/3669 GO 31	micro section parallel to fracture edge	structure, side 4, fracture edge

9		7	1.1/00/3669 GO 32	micro section trans- verse to fracture edge	structure, side 4, fracture edge
10		7	1.1/00/3669 H MV 032	at micro section GO 32	micro-hardening process
11		8	1.1/00/3669 GO 41	micro section parallel to fracture edge	structure, side 4, fracture edge
12		8	1.1/00/3669 GO 42	micro section trans- verse to fracture edge	structure, side 4, fracture edge
13		8	1.1/00/3669 H MV 042	at micro section GO 42	micro-hardening process

3. Examination carried out and Results

3.1 SEM Examinations

Examination technique : Topographic and analytic examinations of a
metallographically treated surface

Examination installation : SEM digital scanning microscope DSM 940 A of
Messrs. CARL ZEISS OBERKOCHEN with EDX set of
Messrs. LINK/OXFORD INSTRUMENTS LTD.

During the examination of specimen GO 22 of order 1.3/00/3664 (picture 32)
lines became visible, which allowed the assumption that these could be internal
cracks.

It has thus been the aim of the topographic examination to prove internal cracks
in this specimen and to demonstrate the changes of the perlite grain.

Examination results

The metallographically treated surface was examined intensively for possible
micro cracks. The suspicion of internal cracks could not be confirmed. In order
to support the light microscopic evaluation of the changes of the perlite grains
due to detonation SEM picture were made from some perlite grains which are
shown on pictures 2 to 7.

Beside the areas with still distinct lamellar structure of the cementite lamellas
(pictures 2 and 3) there are areas with severely deformed lamellas (picture 4
and 5) respectively with destroyed lamellas (pictures 4 to 7). The typical

The results correlate with the metallographic examinations of specimen GO 22 of order 1.3/00/3664. These plastic deformations in the micro area do indicate an extreme striking strain, as occurs in a detonation.

3.2.1 Metallographic examination

Examination Results:

The metallographic examination of specimen 1.1/00/3669 GO11 and 1.1/00/3669 GO12 (picture 1, sample cut no. 4) show a fine, recrystallized, slightly lamellar ferrite, perlite structure with manganese sulphide slag and secondary cementite precipitations along the grain edges (pictures 8-11). The structure mainly consists of ferrite. Inside the perlite grain changes of the cementite lamellars are visible. The striped lamellar structure is clearly disturbed (pictures 9, 11). On examining specimen 1.1/00/3669 GO21 and

1.1/00/3669 GO22 (picture 1, sample cut 5) changes were recognized which indicate higher strain.

The systematic arrangement of the structural parts is changed (pictures 12-17). Inside the ferrite grain sliding planes and shear bands are visible (pictures 16, 17).

These changes can also be seen on specimen 1.1/00/3669 GO31 and 1.1/00/3669 GO32 (picture 1, cut sample no. 7), 1.1/00/3669 GO41 and 1.1/00/3669 GO42 (picture 1, cut sample no. 8 – pictures 18-26). The disturbed lamellar arrangement of the perlite grains, as well as the existence of sliding planes and parallel shear bands, lead to the conclusion that there must have been stronger mechanical strain at a very high deformation velocity, which is typical for detonations (pictures 19, 21, 22, 24, 26).

3.3.2 Micro hardness measurement

Examination technique : Metallographic treatment, micro-hardening measurement

Examination installation : Micro-hardening examination set, computer controlled HMV2000, SHIMADZU

Examination Results:

The hardness measurements were performed at the metallographic longitudinal micro sections from the fracture edge to the core of the specimens 1.1/00/3669 GO12, 1.1/00/3669 GO22, 1.1/00/3669 GO32 and 1.1/00/3669 GO42.

For a better recording of the hardness in the edge-near area the micro-hardness measurements were carried out by HV 0.05 (small indentation diagonal). In the immediate vicinity of the fracture surface the measure point 1 is always situated. The measured distance was always 0.5 mm.

The results of the measurements are shown in tables 2, 3, 4 and 5 (pages 22-25).

The hardness values of steel St 37-2, which was used for comparison purposes, was found to be in the range of HV 105 to HV 145 after the change of the tensile strength Rm into Vickers HV.

The lowest hardness values of the examined specimens, which were measured at the areas farthest away from the fracture edge, were found to be HV 328 to HV 384. They show a clear increase of hardness and thus a substantial hardening of the material even 7.5 mm distant from the fracture edge (change of displacement density).

The variations of the hardness values (table 2-5) are due to the small force (small indentation diagonal) on the recording of small structure areas, which differ from each other by their hardness (soft ferrite, hard perlite).

4. Summary of Results

In order to verify the results obtained by order 1.3/00/3664, additional specimens were taken from the fracture area near the distinctly strained specimen 1.3/00/3664 GO22 from the part of the starboard front bulkhead.

The metallographic examinations revealed a fine, recrystallined, slightly lamellar ferrite, perlite structure with manganese sulphide slag and secondary cementite precipitations along the grain edges. The main part of the structure is ferrite. Inside the perlite grain changes of the cementite lamellars are visible. The striped lamellar build-up is distinctly disturbed. In 3 out of 4 of the metallographically examined specimens the systematic arrangement of the structure parts is changed.

Inside the perlite grain sliding planes and shear bands are recognizable.

The disturbed lamellar build-up of the perlite grain as well as the presence of sliding planes and shear bands permit to conclude a heavier strain at very high deformation velocities.

The topographic examination by means of the scanning electronic microscope (SEM) show in the perlite grain in addition to areas with still distinct lamellar structure of the cementite lamellars, areas in which the lamellars are heavily deformed respectively destroyed. The typical rounded grain shape of the perlite has been changed beyond recognition. The metallographically treated surface was examined intensively for possible micro cracks. The suspicion of internal cracks was not confirmed.

The hardness values obtained during micro hardness measurements have been compared with the hardness values of steel St 37-2. In accordance with the established change of the tensile strength R_m of the steel St 37-2 the hardness values should be in the range of HV 105 – HV 145. The lowest hardness value of the examined specimen is HV 328. This indicates a strong hardening.

5. Summary of Both Examination Results and Conclusions

(orders 1.3/00/3664 and 1.1/00/3669)

On consideration of all the examinations carried out the highest strains recognisable by the change of the structural parts in the above explained way, has been determined at specimen 1.3/00/3664 GO22.

All the other micro-sections do support these results.

They do not, however, show the strong changes as e.g. the wavy change of the structure in the areas near the fracture and the destruction of the initial structure arrangement.

The plastic changes in the micro area, indicating an extremely strong shock effect, such as occurs during detonations, are recognisable in all specimens.

A general characteristic for a detonation is the destruction of the shell type build-up of the perlite. In the pictures made by SEM it is apparent that the cementite of the perlite did not coagulate, which would have indicated the influence of heat alone, but the lamellar structure was changed beyond recognition by mechanical strain. Internal cracks which are also characteristic of shocks from strain by detonations could not be proved by the topographic examinations performed.

Also the increase of hardness indicates a hardening of the material which also appears during detonations.

The results obtained do allow the conclusion that the positions most affected by the detonation was in another area of the damaged material.

In the following all the examination results are outlined again, which, according to our experience, do occur when there has been a detonation:

- the appearance of parallel shear bands (Neumann bands)
- changes respectively destruction of the cementite lamellas in the perlite
- hardness increase
- plastic deformation in the micro area (wavy arrangement of the structure parts)

The characteristics, determined during the examinations, which are consistent with the effects of a detonation, allow the conclusion, that the deformation velocity in the material must also have been in the detonation range. It is not possible to state the actual speed because it depends on a number of unknown influence factors, as e.g. the extent of transmission losses. Its lower limit in the case of a detonation should be about 1000 m/sec.

Berlin, 24.11.2000

Signed by

Dr. Ing. H. Nega

Dipl. Ing. H. Mettel

Materialprüfungsamt des Landes Brandenburg

Beauftragt mit der Durchführung der
Materialprüfung für das Land Berlin

Enclosure 4



Deutsches
Akkreditierung
System
DAP

DAP-P-02.313-00-95-01

Untersuchungsbericht

Nr.: 1.1/00/3669

2 Ausfertigungen

Auftraggeber

TOP STORY Filmproduktion GmbH
Frau Jutta Rabe
August – Bebel- Straße 26- 53
14482 Potsdam

Inhalt

Materialuntersuchungen an einem Teil des Steuerbord-
frontschottes des Fährschiffes „Estonia“, zum Nachweis
durch Detonation verursachter Gefügeveränderungen;
weiterführende Untersuchungen zum Auftrag
1.3/00/3664

Auftrag vom / Zeichen	19.09.2000
Auftragseingang	19.09.2000
Materialeingang	01.09.2000
Materialanlieferung	Auftraggeber
Materialentnahme	Auftraggeber
Untersuchungszeitraum	Vom 10.10.2000 bis 26.10.2000

Der Untersuchungsbericht umfaßt 25 Seiten, davon 17 Seiten Tabellen/Abbildungen

Die Untersuchungsergebnisse beziehen sich nur auf die zur Untersuchung vorliegenden Proben.

Das zu untersuchende Material wird zurückgeliefert.

Veröffentlichungen von Untersuchungsberichten, auch auszugsweise, sowie der Verweis auf Untersuchungen zu Werbezwecken bedürfen in jedem Einzelfalle der widerruflichen schriftlichen Einwilligung des MPA.

MPA Brandenburg, Müggelseedamm 109, 12587 Berlin, Telefon (030) 64 186-0, Telefax (030) 64186 177

Dezernat 1.1, Metalle, Kunststoffe und Glas Telefon (030) 64186-131

1. Inhalt des Auftrages

An dem zur Verfügung gestellten Teilstück des Steuerbordfrontschottes des Fährschiffes „Estonia“ wurden zum Nachweis durch Detonation verursachter Gefügeveränderungen laut Absprache die folgenden weiterführenden Untersuchungen zur Verifizierung der Ergebnisse des Auftrages 1.3/00/3664 durchgeführt:

- Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung
- Metallographische Untersuchung
- Mikrohärteverlaufsmessung
- Untersuchungsbericht

2. Angaben zu den Untersuchungsgegenständen

2.1 Untersuchungsobjekt

Bei der vorliegenden dreieckigen Stahlprobe des Steuerbordfrontschottes handelt es sich laut Auftraggeber bei zwei Dreiecksseiten (Katheten) um Bruchkanten und bei der dritten Seite (Hypothense) um eine schweißbelastete Kante, die beim Abtrennen der Probe entstanden ist. Die Bruchkanten und Bereiche der beiden Oberflächen sind korrodiert. Die mit Seite 1 bezeichnete Fläche weist neben roten Farbresten noch partiell gebrochene Teile der weißen Deckschicht auf. Diese Fläche ist laut Auftraggeber die Außenfläche des Schottes. Die mit Seite 2 bezeichnete Fläche ist neben, den genannten korrodierten Gebieten, ausschließlich mit einer ehemals weißen Farbschicht bedeckt (Bilder im Untersuchungsbericht 1.3/00/3664).

Die beiden Bruchkanten der Stahlprobe wurden mit Seite 3 und Seite 4 bezeichnet (Probenplan Seite 9). Die Bruchkanten sind abgeschrägt. Bei der Seite 3 weist die Schräge zur Außenseite und bei der Seite 4 zur Innenseite des Schottes.

Für die weiterführenden Untersuchungen wurde innerhalb dieses Auftrages eine Probe aus dem Auftrag 1.3/00/3664 Probe G0 22 verwendet. Vier Proben für Quer- und Längsschliffe sind aus dem Teilstück entnommen worden.

Die im Probenplan mit Nr.:1 und Nr.:2 bezeichneten Teilstücke wurden an den Auftraggeber zur weiteren Verfügung übergeben und waren nicht Gegenstand der Untersuchungen im MPA. Die im Probenplan mit Nr.:3, 6, 9 und 10 bezeichneten Teilstücke waren Gegenstand der Untersuchungen des Auftrages 1.3/00/3664. Die Teilstücke mit den Nummern Nr.:4, 5, 7, und 8 sind Gegenstand dieser Untersuchungen.

2.2 Probenvorbereitung

Nach der Erstellung eines Probenplanes wurden makroskopischen Übersichtsfotos (siehe Untersuchungsbericht 1.3/00/3664) angefertigt und das Material für die einzelnen Untersuchungen herausgetrennt.

Der Gesamtprobenplan ist im Bild 1 und Tabelle 1 dargestellt.

Für die weiterführenden Untersuchungen wurden jeweils vier Proben in Längs- und vier Querrichtung für die metallographische Untersuchungen mit einem Feinschnitt herausgetrennt, eingebettet, präpariert und strukturiert. Für die Mikrohärteverlaufsmessungen sind die metallographisch-präparierten Schliffe verwendet worden.

Für die rasterelektronenmikroskopischen Untersuchungen stand die metallographisch bearbeitete Fläche der Probe G022 aus dem Auftrag 1.3/00/3664 zur Verfügung. Der Schliff wurde vor der Untersuchung mit Gold besputtert.

Tabelle 1: Aufteilung der Proben mit Probenbezeichnung

lfd. Nr.	Proben-bez. Auftrag-geber	Probenbez. MPA		Probenart	Bemerkungen
		Proben-abschnitt	Proben-nummer		
1	Teilstück des Steuer-bord-front-schottes	3	1.3/00/3664 G0 22	Schliff	REM-Topographie
2		4	1.1/00/3669 G011	Schliff parallel zur Bruchkante	Gefüge, Seite 3, Bruchkante
3		4	1.1/00/3669 G012	Schliff quer zur Bruchkante	Gefüge, Seite 3, Bruchkante
4		4	1.1/00/3669 HMV 012	an Schliff G012	Mikrohärteverlauf
5		5	1.1/00/3669 G021	Schliff parallel zur Bruchkante	Gefüge, Seite 3, Bruchkante
6		5	1.1/00/3669 G022	Schliff quer zur Bruchkante	Gefüge, Seite 3, Bruchkante
7		5	1.1/00/3669 HMV 022	an Schliff G022	Mikrohärteverlauf
8		7	1.1/00/3669 G031	Schliff parallel zur Bruchkante	Gefüge, Seite 4, Bruchkante
9		7	1.1/00/3669 G032	Schliff quer zur Bruchkante	Gefüge, Seite 4, Bruchkante
10		7	1.1/00/3669 HMV 032	an Schliff G032	Mikrohärteverlauf
11		8	1.1/00/3669 G041	Schliff parallel zur Bruchkante	Gefüge, Seite 4, Bruchkante
12		8	1.1/00/3669 G042	Schliff quer zur Bruchkante	Gefüge, Seite 4, Bruchkante
13		8	1.1/00/3669 HMV 042	an Schliff G042	Mikrohärteverlauf

3. Durchgeführte Untersuchungen und Ergebnisse

3.1 Rasterelektronenmikroskopische Untersuchung

Untersuchungsverfahren	Topographische Untersuchungen an einer metallographisch bearbeiteten Fläche
Untersuchungseinrichtung	Rasterelektronenmikroskop - Digitales Scanning Mikroskop DSM 940A der Firma Carl Zeiss Oberkochen mit EDX-Gerät der Firma Link/Oxford Instruments GmbH

Bei Untersuchungen der Probe G022 des Auftrages 1.3/00/3664 (Bild 32) wurden Linien erkennbar, die den Verdacht auf Innenrisse zuließen.

Ziel der topographischen Untersuchungen war es deshalb, an dieser Probe den Nachweis von Mikrorissen zu erbringen und die Veränderungen im Perlitkorn darzustellen.

Untersuchungsergebnisse

Die metallographisch bearbeitete Fläche wurde intensiv hinsichtlich möglicher Mikrorisse untersucht. Der Verdacht auf Innenrisse konnte nicht bestätigt werden.

Zur Unterstützung der lichtmikroskopischen Auswertung bei den Veränderungen der Perlitkörner durch detonative Beeinflussung wurden rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen von einigen Perlitkörnern angefertigt und in den Bildern 2 bis 7 dargestellt.

Neben Bereichen mit noch ausgeprägter lamellarer Struktur der Zementitlamellen (Bilder 2 und 3) gibt es Gebiete, in denen die Lamellen stark deformiert (Bilder 4 und 5) bzw. zerstört sind (Bilder 4 bis 7). Die typische abgerundete Kornform des Perlits ist weitgehendst verändert beziehungsweise aufgehoben.

Die Ergebnisse korrelieren mit den metallographischen Untersuchungen der Probe G022 des Auftrages 1.3/00/3664. Diese plastischen Veränderungen im Mikrobereich weisen auf eine extrem schlagende Beanspruchung hin, wie sie bei einer Beeinflussung durch detonative Stoffe erfolgt.

3.2 Gefügeuntersuchung

3.2.1 Metallographische Untersuchung

Untersuchungsverfahren	metallographische Präparation, Ätztechnik und Lichtmikroskopie
Untersuchungseinrichtung	automatisches Poliergerät TF 250 Jean Wirtz, Stereomikroskop CZ Jena GmbH, Kameraauflichtmikroskop Neophot 32, CZ Jena GmbH Bildanalysesystem Imtron 2000, Fa. Imtronik GmbH
Untersuchungsergebnisse	

Zur Verifizierung der im Auftrag 1.3/00/3664 erhaltenen Ergebnisse wurden aus den Bruchgebieten nahe dem Bereich aus dem die Probe 1.3/00/3664 G022, die deutliche Belastungsmerkmale aufwies, entnommen wurde, Proben aus der Seite 3 und der Seite 4 für insgesamt vier Quer- und Längsschliffe herausgetrennt.

Die Längsschliffe verlaufen durch die Bruchkante, während die Querschliffe 0,5 mm entfernt der Bruchkante liegen.

Die metallographischen Untersuchungen der Proben 1.1/00/3669 G011 und 1.1/00/3669 G012 (Bild 1, Probenabschnitt Nr.:4) zeigen ein feines, rekristallisiertes, leicht zeiliges Ferrit- Perlit- Gefüge mit Mangansulfidschlacken und Sekundärzementitausscheidungen entlang der Korngrenzen (Bilder 8- 11). Der Ferrit ist der überwiegende Gefügebestandteil. Innerhalb des Perlitkorns sind Veränderungen der Zementitlamellen ersichtlich. Der streifige lamellare Aufbau ist deutlich gestört (Bilder 9, 11).

Bei den Untersuchungen der Proben 1.1/00/3669 G021 und 1.1/00/3669 G022 (Bild 1, Probenabschnitt Nr.:5) sind Veränderungen erkennbar, die auf eine höhere Belastung hindeuten. Die gleichmäßige Anordnung der Gefügebestandteile ist verändert (Bilder 12- 17). Innerhalb des Ferritkorns sind Gleitebenen und Scherbänder zu erkennen (Bilder 16, 17).

Diese Veränderungen sind auch bei den Proben 1.1/00/3669 G031 und 1.1/00/3669 G032 (Bild 1, Probenabschnitt Nr.:7), 1.1/00/3669 G041 und 1.1/00/3669 G042 (Bild 1, Probenabschnitt Nr.:8) zu sehen (Bilder 18- 26). Der gestörte lamellare Aufbau der Perlitkörner, sowie das Vorhandensein von Gleitbahnen und parallelen Scherbändern lassen auf eine stärkere mechanische Beanspruchung mit sehr hohen Verformungsgeschwindigkeiten schließen, wie sie für Detonationseinwirkungen typisch sind (Bilder 19, 21, 22, 24, 26).

3.3.2 Mikrohärteverlaufsmessung

Untersuchungsverfahren	metallographische Präparation, Mikrohärtemessung
Untersuchungseinrichtung	Mikrohärteprüfeinrichtung, rechnergesteuert HMV 2000, SHIMADZU

Untersuchungsergebnisse

Die Härteverlaufsmessungen sind an den metallographischen Längsschliffen von der Bruchkante bis zum Kern der Proben 1.1/00/3669 G012, 1.1/00/3669 G022, 1.1/00/3669 G032 und 1.1/00/3669 G042 durchgeführt worden.

Zur besseren Erfassung der Härte im randnahen Bereich wurden die Mikrohärteverlaufsmessungen mit HV 0,05 (kleine Eindruckdiagonale) durchgeführt. In unmittelbarer Nähe der Bruchoberflächen liegt jeweils der Meßpunkt 1. Die Meßstrecke betrug jeweils 0,5 mm.

Die Ergebnisse der Messungen sind in den Tabellen 2, 3, 4 und 5 (Seiten 22- 25) dargestellt.

Bei dem zum Vergleich herangezogenen Stahl St 37-2 liegen die Härtewerte nach einer Umbewertung der Zugfestigkeit R_m in Vickers HV in einem Bereich von HV 105 bis HV 145.

Die niedrigsten Härtewerte der untersuchten Proben, die an den bruchkantenfernen Stellen gemessen wurden, liegen zwischen HV 328 bis HV 384.

Sie zeigen eine deutliche Erhöhung der Härte und somit eine starke Verfestigung des Materials auch 7,5 mm von der Bruchkante entfernt an (Änderung der Versetzungsdichte).

Die Schwankungen der Härtewerte (Tabellen 2- 5) beruhen infolge der geringen Kraft (kleinen Eindruckdiagonalen) auf die Erfassung von kleinen Gefügebereichen, die sich in ihrer Härte unterscheiden (weicher Ferrit, harter Perlit).

4. Zusammenfassung der Ergebnisse

Zur Verifizierung der im Auftrag 1.3/00/3664 erhaltenen Ergebnisse wurden aus den Bruchgebieten, nahe der deutlich belasteten Probe 1.3/00/3664 G022 zusätzliche Proben aus dem Teilstück des Steuerbordfrontschottes entnommen.

Die metallographischen Untersuchungen ergaben ein feines, rekristallisiertes, leicht zeiliges Ferrit- Perlit- Gefüge mit Mangansulfidschlacken und Sekundärzementitausscheidungen entlang der Korngrenzen. Der Ferrit ist der überwiegende Gefügebestandteil.

Innerhalb des Perlitkorns sind Veränderungen der Zementitlamellen ersichtlich. Der streifige lamellare Aufbau ist deutlich gestört. An drei von vier der metallographisch untersuchten Proben ist die gleichmäßige Anordnung der Gefügebestandteile verändert.

Innerhalb des Ferritkorns sind Gleitebenen und Scherbänder erkennbar.

Der gestörte lamellare Aufbau der Perlitkörner, sowie das Vorhandensein von Gleitbahnen und parallelen Scherbändern lassen auf eine stärkere Beanspruchung mit sehr hohen Verformungsgeschwindigkeiten schließen.

Die topografischen Untersuchungen mit dem Rasterelektronenmikroskop zeigen im Perlitkorn neben Bereichen mit noch ausgeprägter lamellarer Struktur der Zementitlamellen Gebiete, in denen die Lamellen stark deformiert bzw. zerstört sind. Die typische abgerundete Kornform des Perlits ist weitestgehend verändert beziehungsweise aufgehoben.

Die metallographisch bearbeitete Fläche wurde intensiv hinsichtlich möglicher Mikrorisse untersucht. Der Verdacht auf Innenrisse konnte nicht bestätigt werden.

Bei den Mikrohärteverlaufsmessungen sind die Härtewerte mit den Härtewerten des Stahls St 37-2 verglichen worden. Entsprechend der ermittelten Umbewertung der Zugfestigkeit R_m für den Stahl St 37-2 sollten sich die Härtewerte in einem Bereich von HV 105 bis HV 145 befinden. Der niedrigste Härtewert der untersuchten Proben beträgt HV 328. Das weist auf eine starke Verfestigung hin.

5. Zusammenfassung beider Untersuchungsergebnisse und Schlußfolgerungen

(Aufträge : 1.3/00/3664 und 1.1/00/3669)

Betrachtet man alle durchgeführten Untersuchungen, so ist die höchste Belastung, die durch die Veränderung der Gefügebestandteile in der oben genannten Form ersichtlich ist, an der Probe 1.3/00/3664 G022 festgestellt worden.

Alle anderen Schliffproben unterstützen diese Ergebnisse. Sie weisen jedoch nicht so starke Veränderungen, wie z. B. die wellenförmige Ausbildung des Gefüges in den bruchnahen Gebieten und die Zerstörung der ursprünglichen Gefügeanordnung auf.

Die plastischen Veränderungen im Mikrobereich, die auf eine extrem starke schlagende Beanspruchung hinweisen, wie sie bei einer detonativen Beeinflussung erfolgt, ist an allen Schliffproben erkennbar.

Ein generell auftretende Merkmal für eine detonative Beeinflussung ist die Zerstörung des schalenförmig aufgebauten Perlits.

In den rasterelektronenmikroskopischen Aufnahmen ist zu erkennen, daß der Zementit des Perlits nicht koaguliert ist, was auf eine reine Wärmebeeinflussung schließen ließe, sondern sein lamellarer Aufbau ist durch eine starke Belastung verändert, bzw. zerstört. Innenrisse konnten bei den durchgeführten topografischen Untersuchungen nicht nachgewiesen werden.

Auch die Erhöhung der Härte zeigt eine Verfestigung des Materials an, was auch bei einer detonativen Beeinflussung auftritt.

Die erhaltenen Ergebnisse lassen darauf schließen, daß der durch Detonation stärkste belastete Ort in einem anderen Bereich des geschädigten Materials liegt.

Nachfolgend werden noch einmal alle Untersuchungsergebnisse aufgeführt, die nach unserer Erfahrung dann eintreten, wenn es sich um eine detonative Belastung handelt:

- Auftreten von parallelen Scherbändern (Neumannsche Bänder)
- Veränderung bzw. Zerstörung der Zementitlamellen im Perlit
- Härtesteigerung
- Plastische Verformung im Mikrobereich (wellenförmige Anordnung der Gefügebestandteile)

Die in der Untersuchung festgestellten Merkmale, die für eine detonative Wirkung charakteristisch sind, lassen die Folgerung zu, daß die Verformungsgeschwindigkeit im Material ebenfalls im detonativen Bereich gelegen haben muß. Über die Höhe der Geschwindigkeit läßt sich keine Aussage machen, da sie von mehreren nicht bekannten Einflußfaktoren, wie z. B. der Größe der Übertragungsverluste abhängt. Ihre Untergrenze für den Fall einer Detonation dürfte bei ca. 1000 m/s liegen.

Berlin, 24.11.2000

im Auftrag

H. Nega

Dr.-Ing. H. Nega
Abteilung 1

Werkstoffe/ Prüfmaschinen



H. Mettel

Dipl.-Ing. (FH) H. Mettel
Bearbeiter



DAP-P-02.313-01-95-01

Durch das DAP Deutsches Akkreditierungssystem Prüfwesen akkreditiertes Prüflaboratorium
Die Akkreditierung gilt für die in der Urkunde aufgeführten Verfahren



Bild 1 Probenplan, ca. 1:1, Aufteilung der Proben: Nr.: 1, Nr.: 2, Übergabe an den Auftraggeber
Nr.: 3, Nr.: 6, Nr.: 9, Nr.: 10, MPA, Auftrag 1.3/00/3664
Nr.: 4, Nr.: 5, Nr.: 7, Nr.: 8, MPA, Auftrag 1.1/00/3669

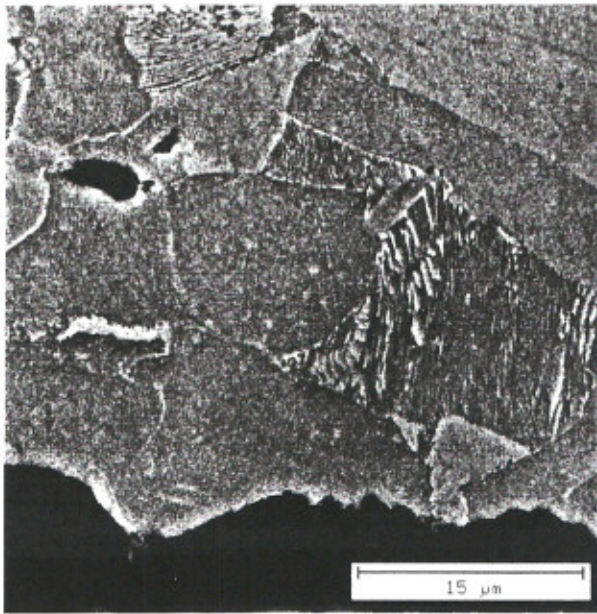


Bild 2 REM-Aufnahme der metallographisch bearbeiteten Fläche - Perlitkorn

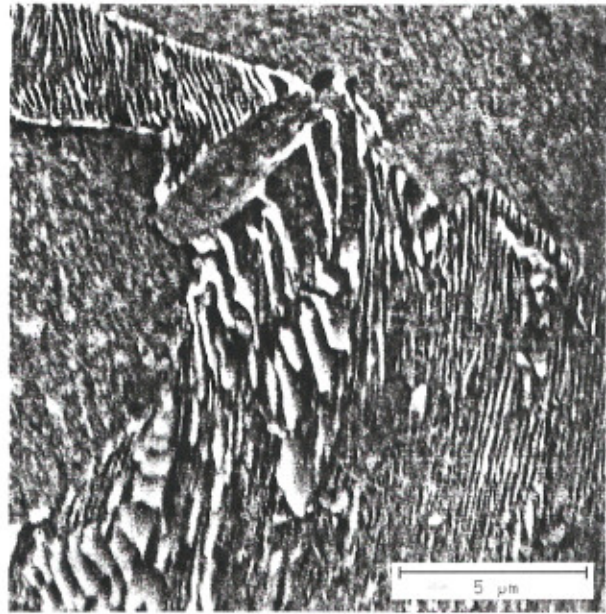


Bild 3 REM-Aufnahme der metallographisch bearbeiteten Fläche - Perlitkorn; Detail von Bild 2



Bild 4 REM-Aufnahme der metallographisch bearbeiteten Fläche - Perlitkörner

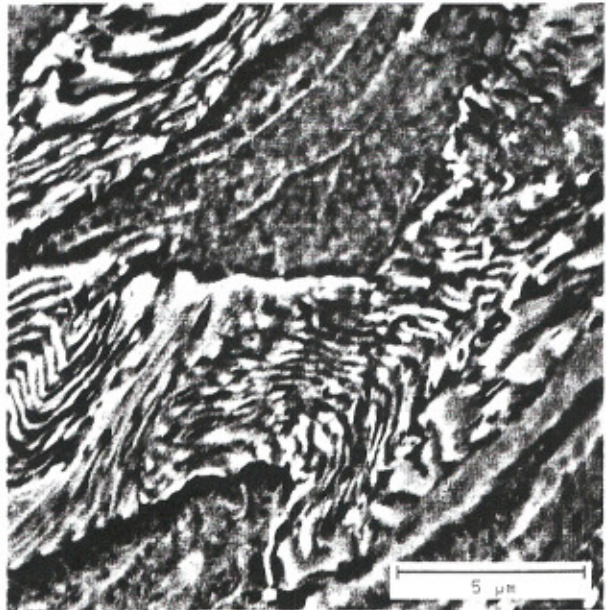


Bild 5 REM-Aufnahme der metallographisch bearbeiteten Fläche - Perlitkörner; Detail von Bild 4

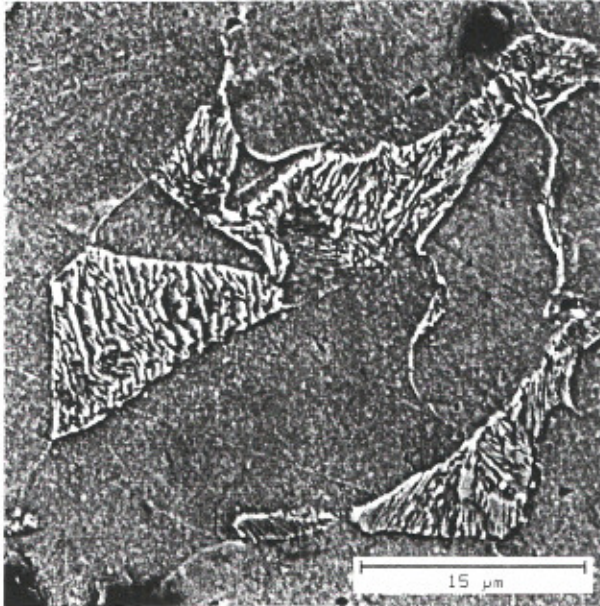


Bild 6 REM-Aufnahme der metallographisch bearbeiteten Fläche - Perlitkörner

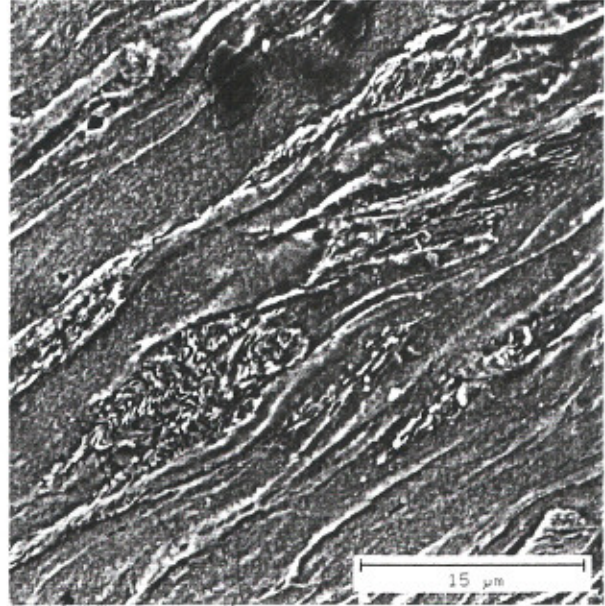


Bild 7 REM-Aufnahme der metallographisch bearbeiteten Fläche - Perlitkörner gerissen

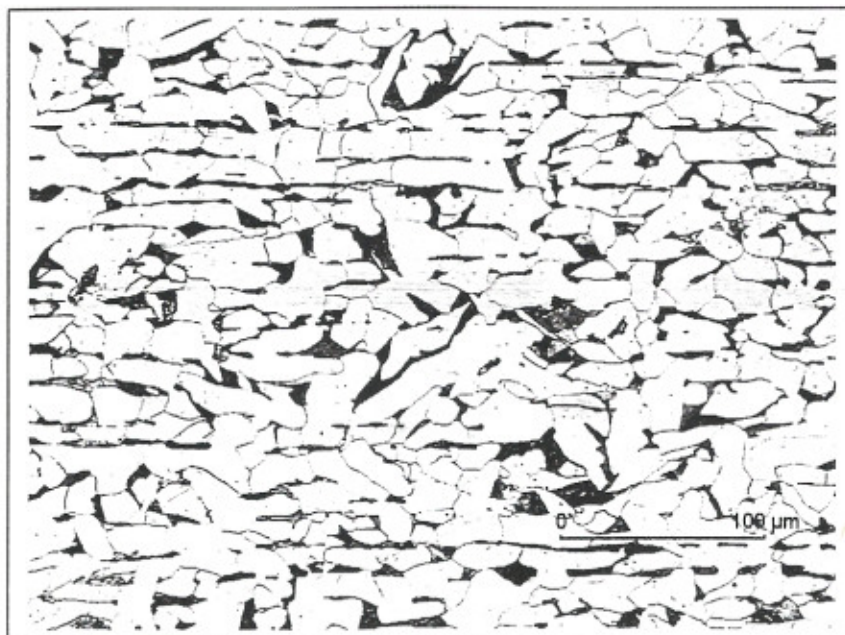


Bild 8 Probe 1.1/00/3669 G011
Probenplan Nr.: 4

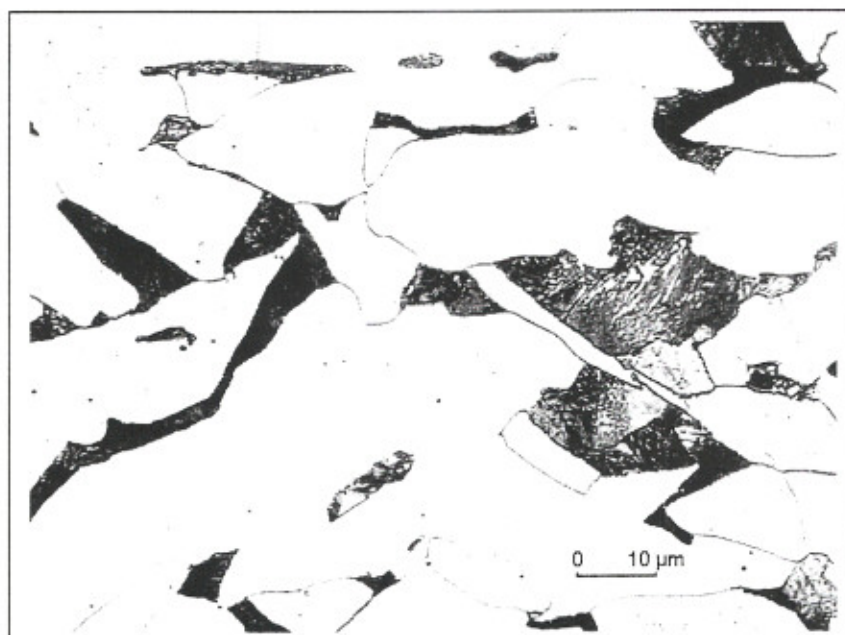


Bild 9 Probe 1.1/00/3669 G011
Ausschnitt aus Bild 8

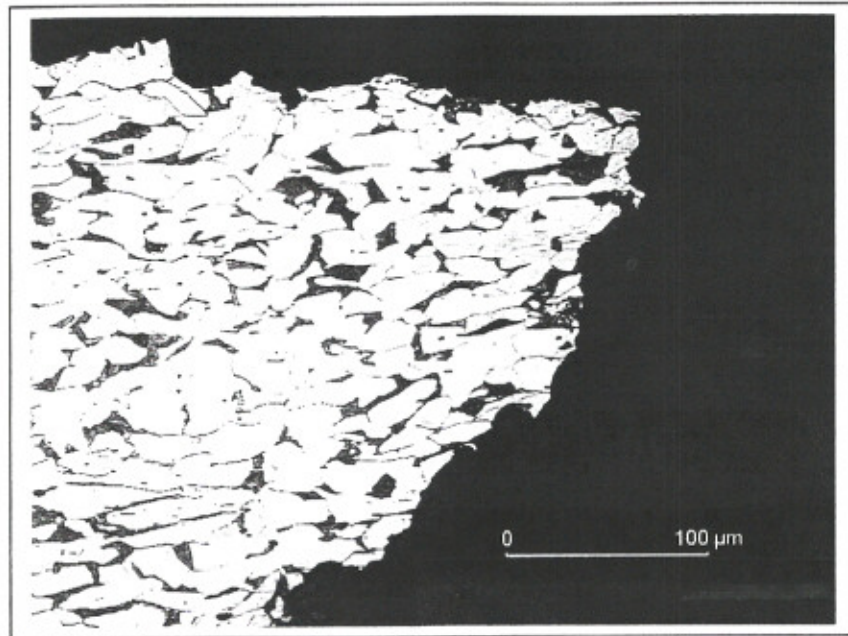


Bild 10 Probe 1.1/00/3669 G012
Probenplan Nr.: 4

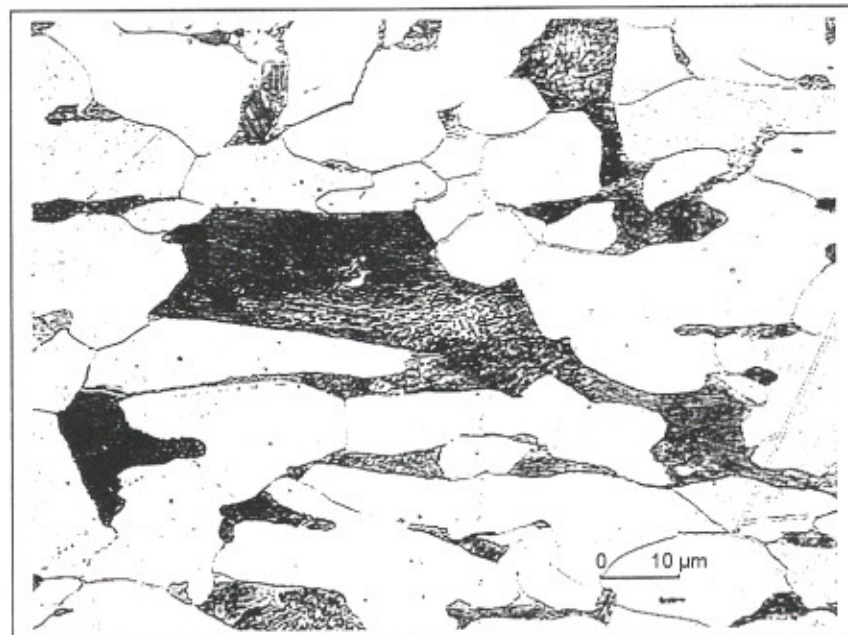


Bild 11 Probe 1.1/00/3669 G012
Ausschnitt aus Bild 10

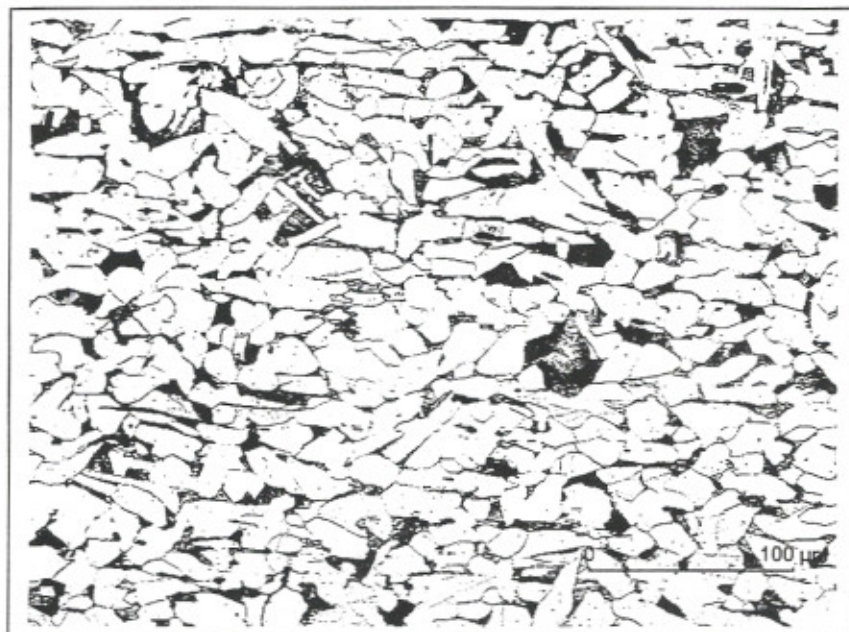


Bild 12 Probe 1.1/00/3669 G021
Probenplan Nr.: 5

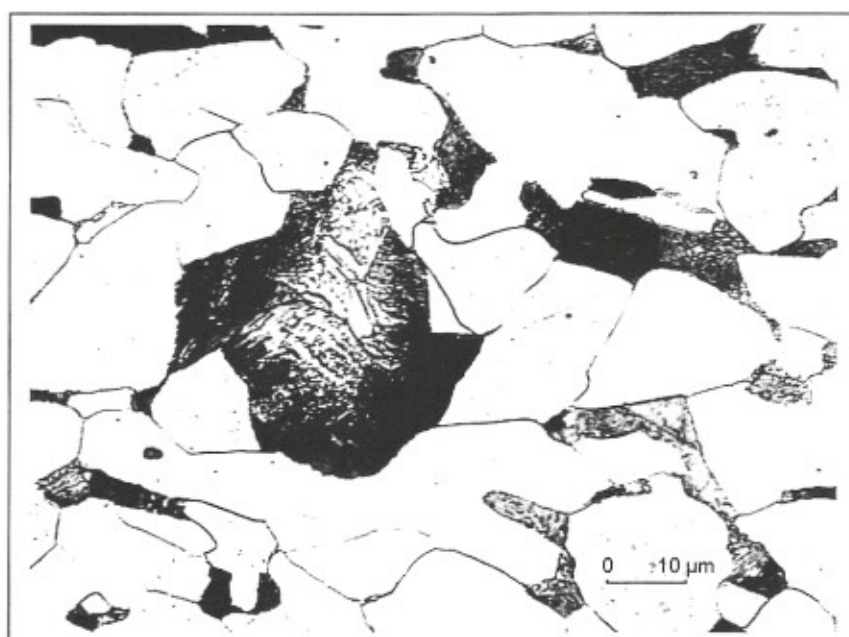


Bild 13 Probe 1.1/00/3669 G021
Ausschnitt aus Bild 12

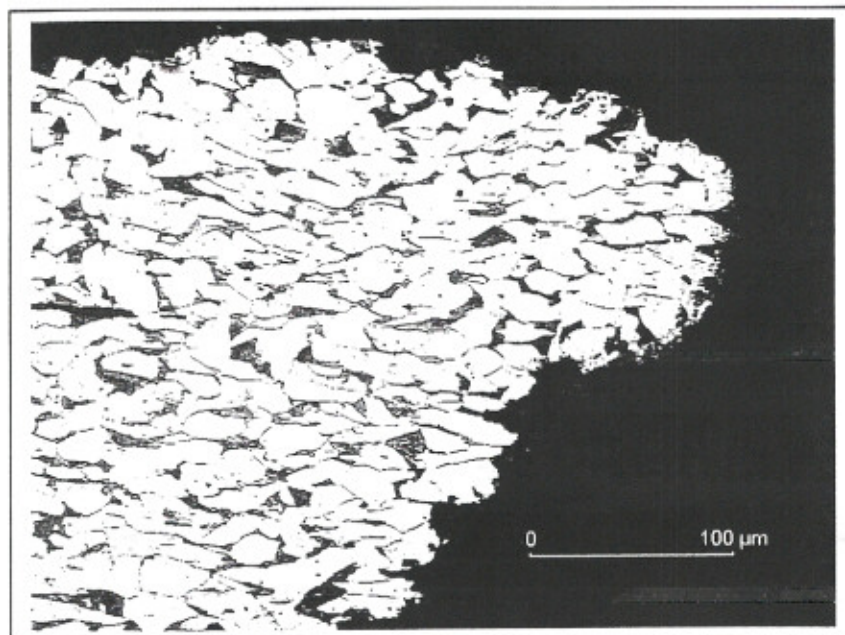


Bild 14 Probe 1.1 /00/3669 G022
Probenplan Nr.: 5

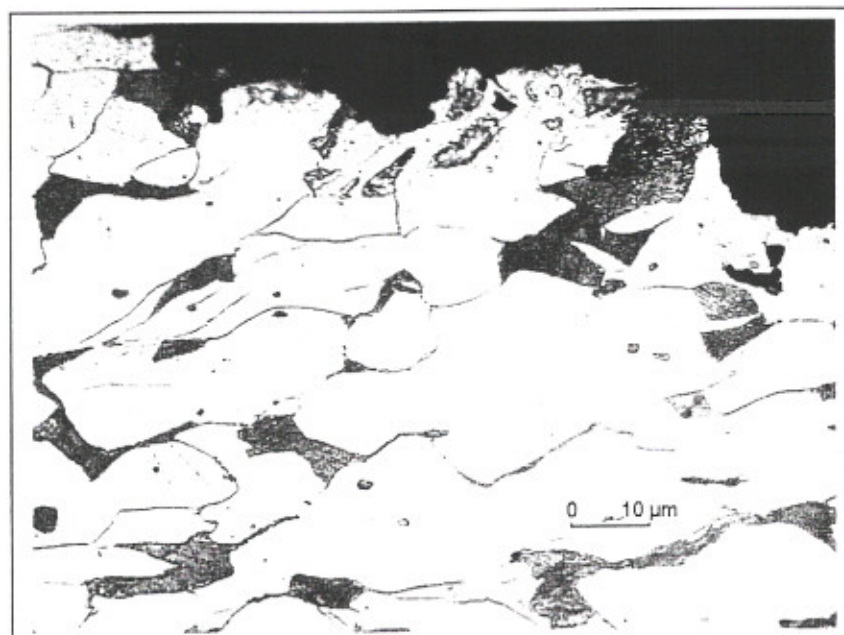


Bild 15 Probe 1.1/00/3669 G022
Ausschnitt aus Bild 14

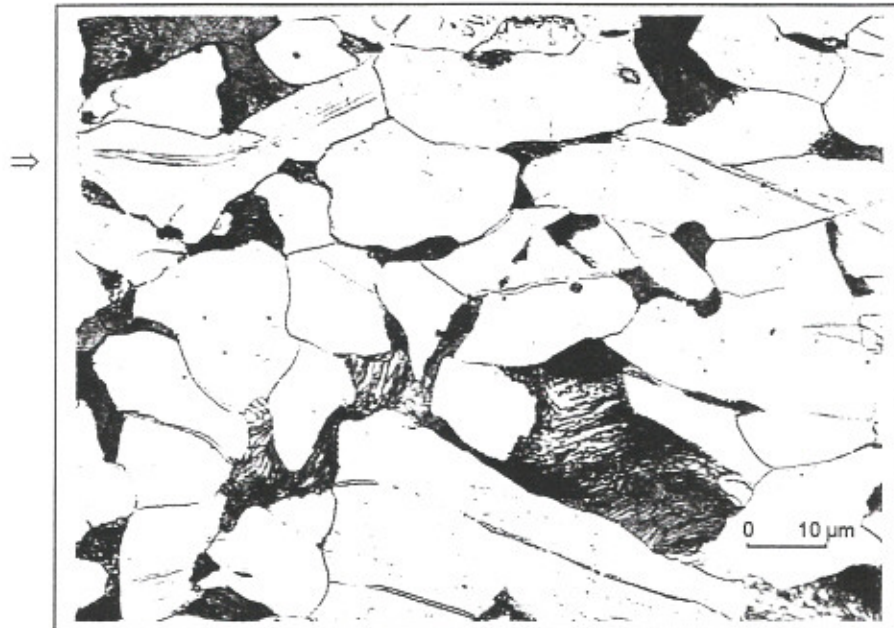


Bild 16 Probe 1.1/00/3669 G022
Ausschnitt aus Bild 14
⇒ Gleitebenen

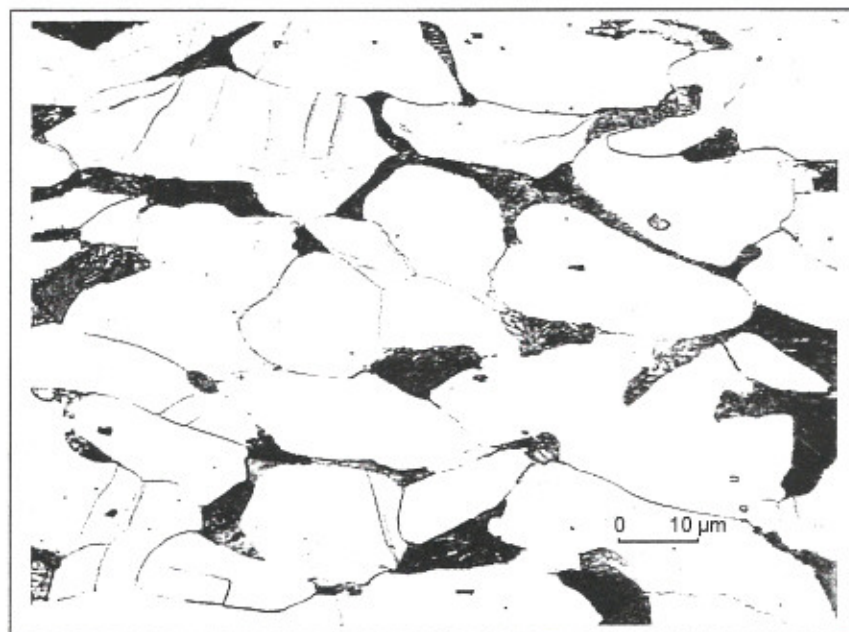


Bild 17 Probe 1.1 /00/3669 G022
Ausschnitt aus Bild 14
⇒ Scherbänder

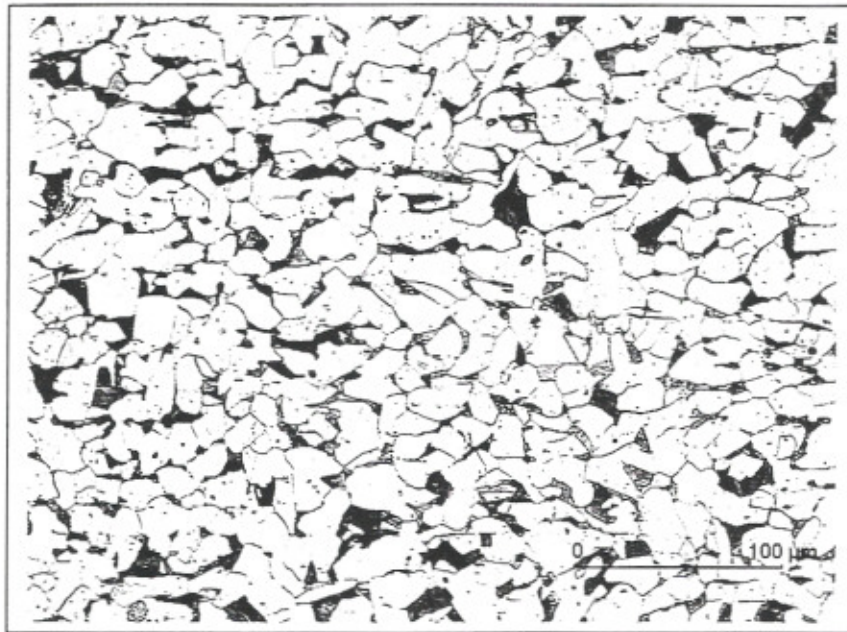


Bild 18 Probe 1.1/00/3669 G031
Probenplan Nr.: 7

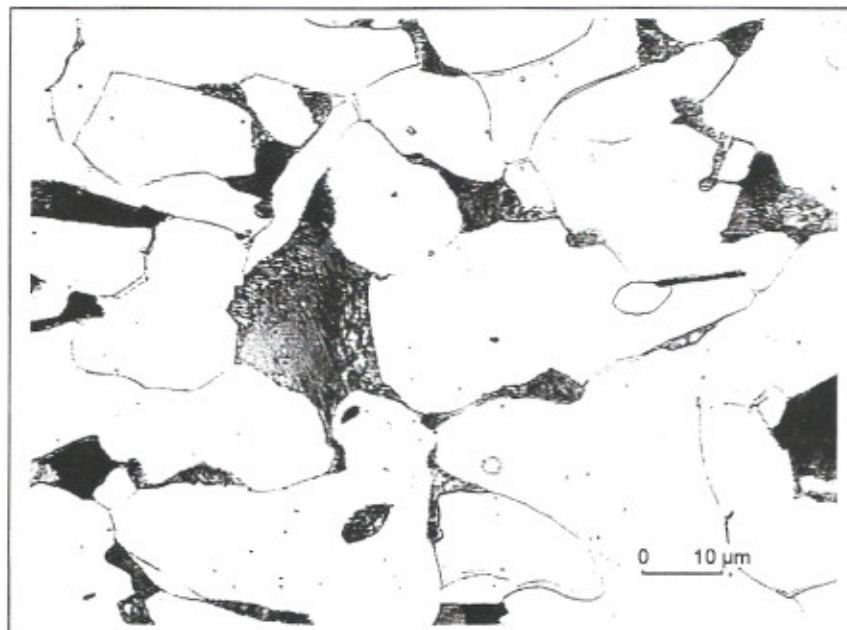


Bild 19 Probe 1.1/00/3669 G031
Ausschnitt aus Bild 18

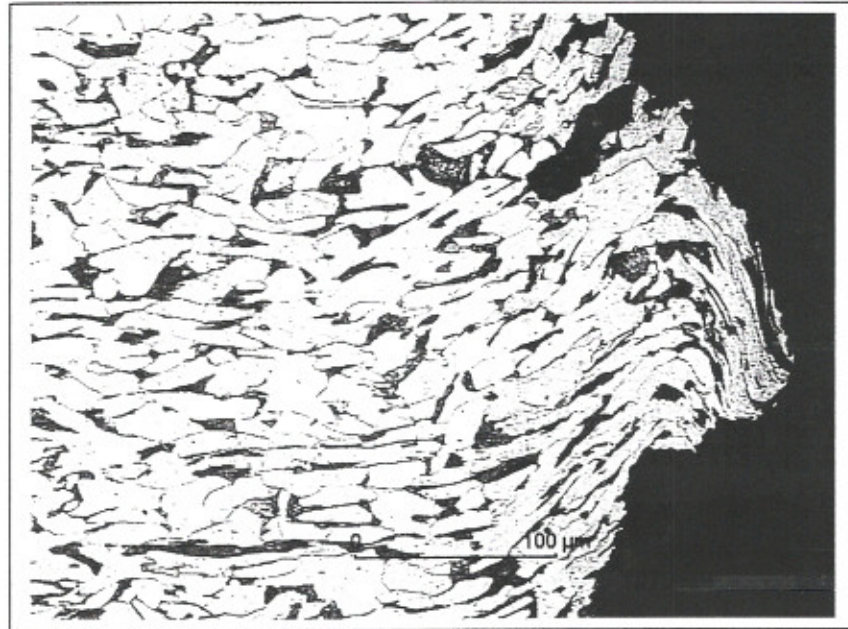


Bild 20 Probe 1.1/00/3669 G032
Probenplan Nr.: 7

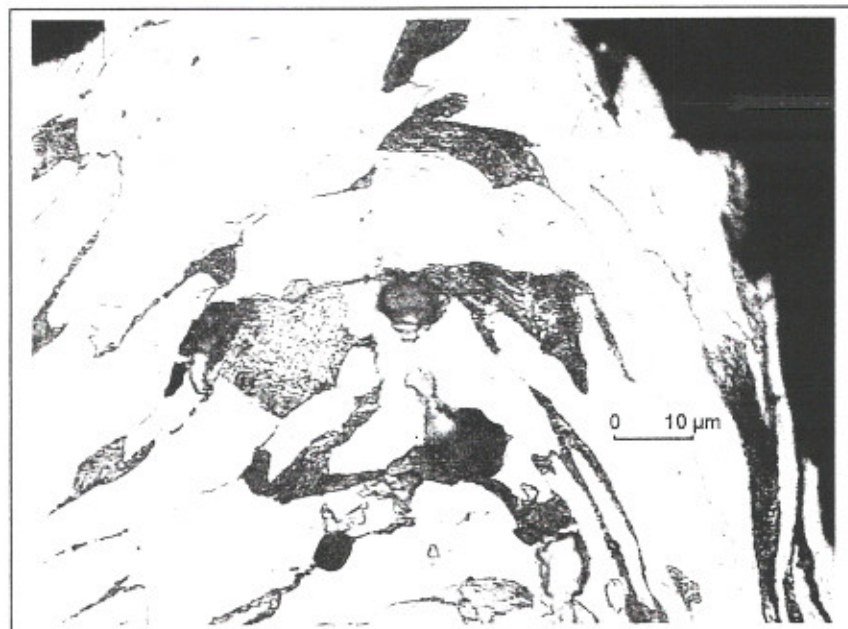


Bild 21 Probe 1.1/00/3669 G032
Ausschnitt aus Bild 20
⇒ Gleitebenen

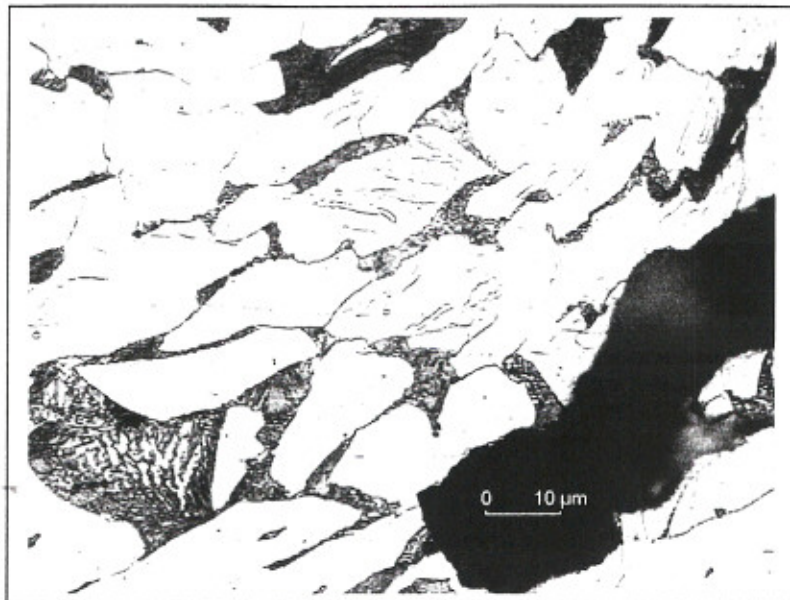


Bild 22 Probe 1.1/00/3669 G032
Ausschnitt aus Bild 20
Scherbänder

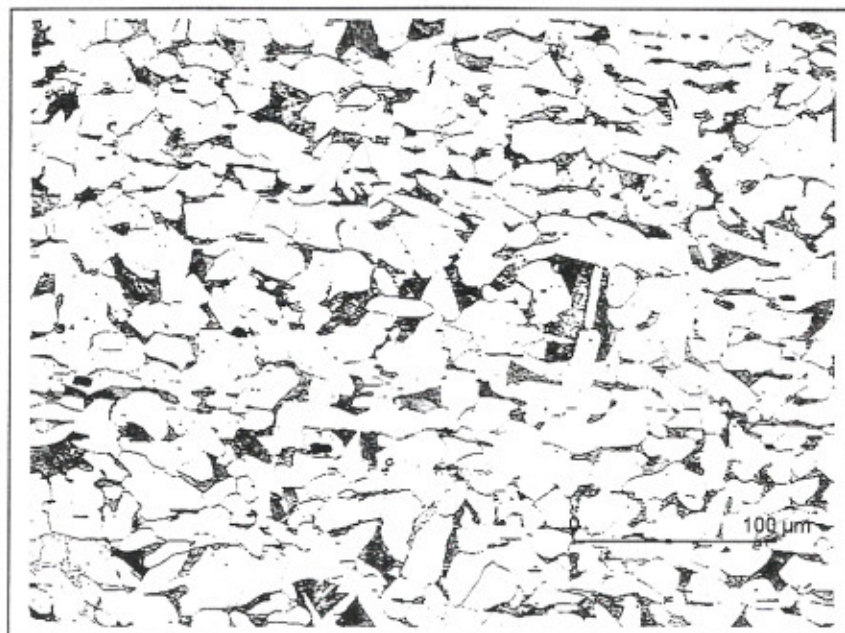


Bild 23 Probe 1.1/00/3669 G041
Probenplan Nr.: 8



Bild 24 Probe 1.1/00/3669 G041
Ausschnitt aus Bild 23

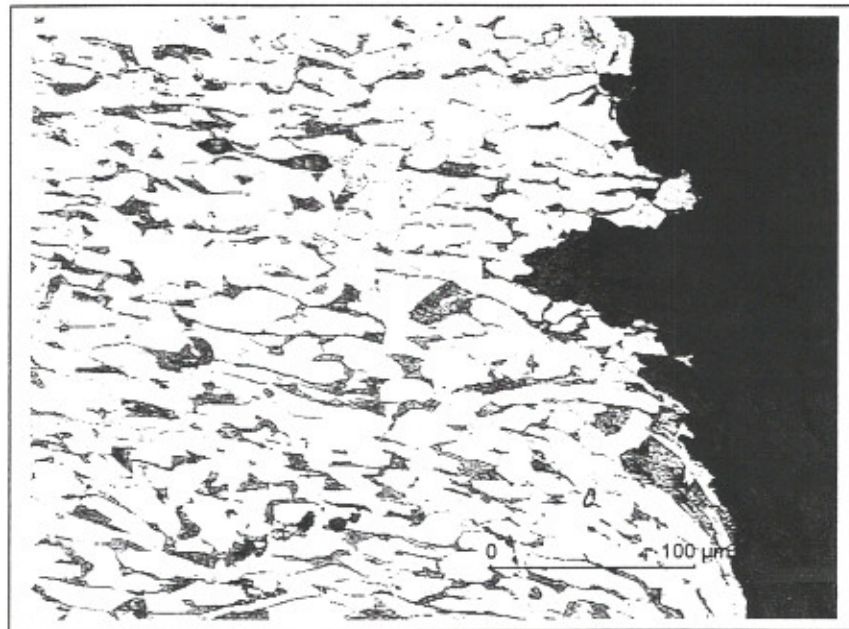


Bild-25 Probe 1.1/00/3669 G042
Probenplan Nr.: 8

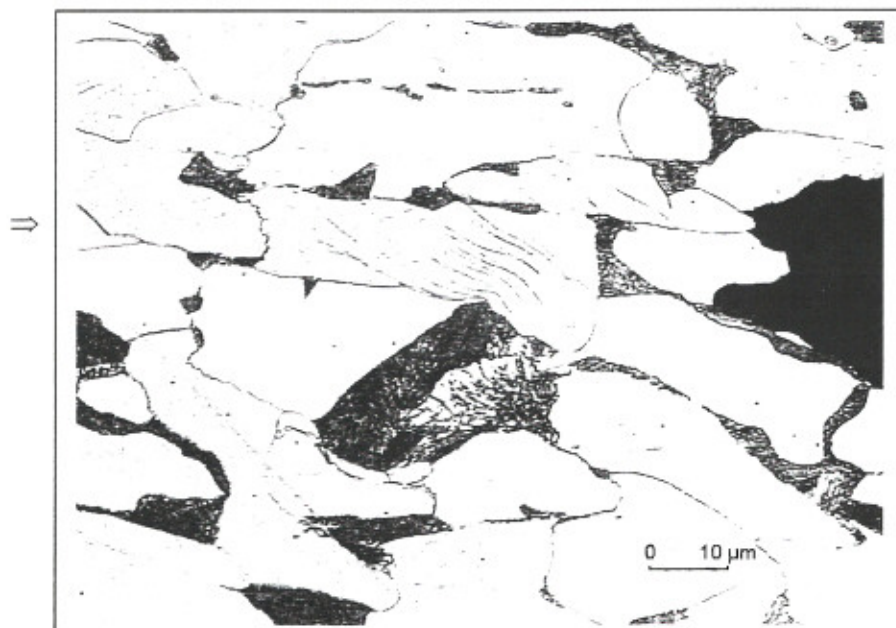


Bild 26 Probe 1.1/00/3669 G042
Ausschnitt aus Bild 26
⇒ Gleitebenen

Materialprüfungsamt des Landes Brandenburg

Vickershärteprüfung

nach EN ISO 6507-1

Auftraggeber : TOP STORY Filmproduktion
GmbH

Auftrag : 1.1/00/3669

Datum : 26.10.2000

Prüfer: Dipl. Ing. (FH) H. Mettel

Prüfmaschine: Shimadzu HMV-2000

Prüfbereich: HV 0,05

Werkstoff: St

Probe / Schliff

3669 G012

Mittelwert

Min.

Max.

S-abw.

445

384

563

44

Nr.	x[mm]	y[mm]	d1[μm]	d2[μm]	HV
1	0,00	0,00	13,9	13,5	496
2	0,50	0,00	14,4	14,3	450
3	1,00	0,00	13,7	15,5	434
4	1,50	0,00	14,7	14,1	445
5	2,00	0,00	13,7	14,3	472
6	2,50	0,00	14,9	14,0	445
7	3,00	0,00	13,7	14,8	455
8	3,50	0,00	14,1	14,3	461
9	4,00	0,00	14,6	15,2	419
10	4,50	0,00	12,4	13,3	563
11	5,00	0,00	14,1	14,3	461
12	5,50	0,00	15,1	14,8	415
13	6,00	0,00	15,6	15,5	384
14	6,50	0,00	15,1	14,3	429
15	7,00	0,00	15,1	15,5	397
16	7,50	0,00	15,6	15,3	388

Tabelle 2 : Mikrohärteprüfung

Materialprüfungsamt des Landes Brandenburg

Vickershärteprüfung

nach EN ISO 6507-1

Auftraggeber : TOP STORY Filmproduktion
GmbH

Auftrag : 1.1/00/3669

Datum : 26.10.2000

Prüfer: Dipl. Ing. (FH) H. Mettel

Prüfmaschine: Shimadzu HMV-2000

Prüfbereich: HV 0,05

Werkstoff: St

Probe / Schliff

3669 G022

Mittelwert

Min.

Max.

S-abw.

443

341

528

46

Nr.	x[mm]	y[mm]	d1[μm]	d2[μm]	HV
1	0,00	0,00	14,1	13,5	490
2	0,50	0,00	14,4	13,5	478
3	1,00	0,00	14,4	15,3	419
4	1,50	0,00	16,3	16,7	341
5	2,00	0,00	14,9	14,3	434
6	2,50	0,00	15,1	13,3	461
7	3,00	0,00	13,9	15,2	439
8	3,50	0,00	15,6	14,0	424
9	4,00	0,00	14,6	15,3	415
10	4,50	0,00	15,1	15,5	397
11	5,00	0,00	13,4	13,5	515
12	5,50	0,00	14,6	14,1	450
13	6,00	0,00	14,9	15,3	405
14	6,50	0,00	13,1	13,5	528
15	7,00	0,00	14,6	14,1	450
16	7,50	0,00	13,4	15,8	434

Tabelle 3: Mikrohärteprüfung

Materialprüfungsamt des Landes Brandenburg

Vickershärteprüfung

nach EN ISO 6507-1

Auftraggeber :	TOP STORY Filmproduktion GmbH
Auftrag :	1.1/00/3669
Datum :	26.10.2000

Prüfer:	Dipl. Ing. (FH) H. Mettel
Prüfmaschine:	Shimadzu HMV-2000
Prüfbereich:	HV 0,05
Werkstoff:	St

Probe / Schliff
3669 G032

Mittelwert	Min.	Max.	S-abw.
417	328	502	50

Nr.	x[mm]	y[mm]	d1[μm]	d2[μm]	HV
1	0,00	0,00	13,4	13,8	502
2	0,50	0,00	14,2	13,8	472
3	1,00	0,00	14,2	14,8	439
4	1,50	0,00	14,2	13,5	484
5	2,00	0,00	14,7	14,8	424
6	2,50	0,00	13,2	14,1	496
7	3,00	0,00	14,4	16,4	392
8	3,50	0,00	14,6	15,7	405
9	4,00	0,00	15,4	14,1	424
10	4,50	0,00	15,3	15,8	384
11	5,00	0,00	15,6	15,2	392
12	5,50	0,00	15,4	15,7	384
13	6,00	0,00	15,4	15,5	388
14	6,50	0,00	15,9	15,8	367
15	7,00	0,00	15,3	15,7	388
16	7,50	0,00	17,5	16,2	328

Tabelle 4: Mikrohärteprüfung

Materialprüfungsamt des Landes Brandenburg

Vickershärteprüfung

nach EN ISO 6507-1

Auftraggeber : TOP STORY Filmproduktion
GmbH

Auftrag : 1.1/00/3669

Datum : 26.10.2000

Prüfer: Dipl. Ing. (FH) H. Mettel

Prüfmaschine: Shimadzu HMV-2000

Prüfbereich: HV 0,05

Werkstoff: St

Probe / Schliff

3669 G042

Mittelwert

Min.

Max.

S-abw.

442

356

549

60

Nr.	x[mm]	y[mm]	d1[μm]	d2[μm]	HV
1	0,00	0,00	12,5	13,5	549
2	0,50	0,00	14,2	13,5	484
3	1,00	0,00	14,2	14,0	466
4	1,50	0,00	14,7	14,1	445
5	2,00	0,00	14,7	13,8	455
6	2,50	0,00	14,2	13,6	478
7	3,00	0,00	13,6	14,5	472
8	3,50	0,00	14,9	15,0	415
9	4,00	0,00	13,4	14,6	472
10	4,50	0,00	13,9	14,8	450
11	5,00	0,00	15,9	16,4	356
12	5,50	0,00	13,4	12,9	535
13	6,00	0,00	15,1	15,0	410
14	6,50	0,00	15,8	16,4	360
15	7,00	0,00	15,9	16,0	363
16	7,50	0,00	16,3	15,8	360

Tabelle 5: Mikrohärteprüfung