

**Schneidkantenstabilität des
Werkstoffes X 110 CrMoV 15 in
Abhängigkeit von der
Gefügeeinstellung**

Untersuchungsbericht von Roman Landes

angefertigt an der

Fachhochschule München

© September 1997

1 EINLEITUNG	1
1.1 ZIELE:	4
1.2 WEGE:	4
2 VERSUCHSDURCHFÜHRUNG	5
2.1 PROBENLAGE UND PROBENFERTIGUNG	5
2.2 WÄRMEBEHANDLUNG	6
2.3 QUALITÄTSKONTROLLE	7
2.4 LICHTMIKROSKOPIE	8
2.5 HÄRTEMESSUNG	8
2.6 DRUCKSCHNITTVERFAHREN	9
3 VERSUCHSERGEBNISSE	11
3.1 WÄRMEBEHANDLUNG UND METALLOGRAFIE	11
3.2 SCHNEIDKANTENSTABILITÄT	13
4 DISKUSSION UND ZUSAMMENFASSUNG	15
5 ANHANG	18
5.1 METALLOGRAFIE/ BILDER	18
5.2 GRAFIKEN	34
5.3 TABELLEN	41
<i>Literatur</i>	52

1 Einleitung

Messer und Klingen gehören zu den wichtigsten spanlosen Schneidwerkzeugen im alltäglichen Einsatz.

Zur Fertigung von Messern und Klingen werden die verschiedensten Werkstoffe eingesetzt. Der allgemeine Kundenwunsch bei Handmessern ist ein möglichst langer und sorgloser Gebrauch ohne Qualitätseinbußen. Die meistgewünschten Eigenschaften sind Rostfreiheit, Schneidhaltigkeit und Wartungsfreiheit. Um diesen Ansprüchen in umfassender Weise gerecht zu werden, müssen bei der Konstruktion und der Fertigung einer Klinge sehr hohe Anforderungen gestellt werden. Die Voraussetzung hierfür ist die genaue Kenntnis der Einsatzbedingungen. Die wichtigsten Unterscheidungskriterien bezüglich der Werkstoffwahl (zusätzlich für Stahl, Wahl der Wärmebehandlung) ergeben sich aus der hauptsächlich angewendeten Schneidart und dem zu schneidenden Gut. Das heißt, ob vornehmlich Zug- oder Druckschnitt vorliegt. Für die Praxis bedeutet dies, je höher der Anspruch an die Schnittqualität und damit an die Schneidenqualität sein soll (höchste Anforderungen z.B. bei Rasierklingen=Druckschnitt), desto besser müssen die mechanischen Eigenschaften des Werkstoffes sein. Die mechanischen Werte von Stahl werden von der Gefügeeinstellung beeinflusst, die von seiner chemischen Zusammensetzung, der Erzeugungsart und der Wärmebehandlung abhängig ist.

Die wichtigsten bestimmbar Kenngrößen für das Schneidwerkzeug Messer sind Schneidfähigkeit und Schneidhaltigkeit.

Die prüfbaren Parameter hierfür sind:

- die „**äußeren Faktoren**“ (Druck, translatorische Geschwindigkeit, Reibung und Art des Schnittguts):
- die „**geometrischen Größen**“=Schneidengeometrie (Winkel, Schärfe, Schartigkeit)
- die „**inneren Faktoren**“=Schneidstoffgrößen (bezogen auf Stahl, chemische Zusammensetzung; Erzeugungsweise: Art, Dimension und Einbindung der Hartphasen; Qualität und Ausbildung der Bindematrix)
- und für Stahl der Wärmebehandlungszustand (Gefügeeinstellung).

Die Kombination von „äußeren Faktoren“ und „inneren Faktoren“ und den geometrischen Größen bestimmen die Gebrauchseigenschaften des Schneidwerkzeugs (Messer).

Um diese Eigenschaften wiedergeben zu können, wurden verschiedene Prüfverfahren entwickelt (Nr.:1/2/10/11/12). Das Druckschnittverfahren ist eines davon (Nr.:1/2). Dieses Verfahren mißt nach (Nr.:1) die Schneidhaltigkeit und Schneidfähigkeit eines Messers und nach (Nr.:2) die Schneidkantenstabilität.

Die Prüfung der Schneidkantenstabilität stellt Ergebnisse bezüglich des Verhaltens eines Schneidwerkzeuges im Gebrauch bereit und läßt die Beurteilung der Schneideigenschaften eines Messers zu.

Die Legierung X 110 CrMoV 15 ist ein Werkstoff, der bei der Messerfertigung zum Einsatz kommt. Allgemein gilt diese Legierung nach Herstellerangaben als sehr geeignet zur Fertigung rostfreier Messerklingen. Durch den erhöhten Kohlenstoff bzw. Chromgehalt soll höchste „Schneidenhärte“ bei guter Korrosionsbeständigkeit (Nr.:4) erzielt werden.

Aufgrund der Tatsache, daß härtbare rostfreie Stähle mit erhöhtem Kohlenstoffgehalt meist ledeburitisch sind (Nr.:3), wird immer ein Anteil an ungelöster Hartphase nach der Wärmebehandlung zurückbleiben. Dies macht es sehr schwierig, ultrafeine Gefügestrukturen, die zum Beispiel für den Druckschnitt benötigt werden einzustellen. Daraus ergibt sich auch, daß rostfreie und verschleißfeste Legierungen vornehmlich im Zugschnitt ihre Verwendung finden. Der hier untersuchte Stahl X110 CrMoV 15 ist eine Legierung die eindeutig im ledeburitischen Bereich liegt. Je nach Art der Gefügeeinstellung wird die Charge der untersuchten Legierung, mehr oder minder gute Schneideigenschaften aufweisen (Schneidkantenstabilität).

1.1 Ziele:

In der folgenden Arbeit wird untersucht, wo die generelle Lage des Maximalwertes für die Schneidkantenstabilität der geprüften Charge, des Stahles X110 CrMoV 15 ist. Mit Hilfe des Druckschnittverfahrens soll festgestellt werden, welche Wärmebehandlung zur maximalen Schneidkantenstabilität dieser Legierungscharge führt. Das Augenmerk dieser Untersuchung liegt hauptsächlich auf dem Lösungsgrad beim Austinitisieren und den damit verbundenen Gefügeveränderungen (Martensitausbildung, Restaustenitgehalt). Weiterhin wird die Anwendung thermischer Zyklen zur Gefügebeeinflussung betrachtet.

1.2 Wege:

Die angewandten Verfahren sind:

- Die Spektralanalyse zur Bestimmung der chemischen Zusammensetzung
- Die Härtemessung nach Rockwell C zur Bestimmung der Makrohärte
- Die Lichtmikroskopie zur Beobachtung der Gefügestände
- Das Druckschnittverfahren zur Bestimmung der Makroschneidkantenstabilität der feinen Schneide.

2 Versuchsdurchführung

2.1 Probenlage und Probenfertigung

Die Herstellung des Halbzeuges geschah durch die Firma W. Ossenberg & Cie Edelstahlwerk (Firmencode Westfalia RFSH 1 = Werkstoff Nr.: 1.4111).

Die Proben für die Versuche wurden als Scheiben von einem Knüppelmaterial 60 x 13 mm (roh geschmiedet und weichgeglüht, Bilder 31/32/33) stirnseitig abgetrennt.

Mit einem Spektralanalysegerät wurde die chemische Zusammensetzung der Charge ermittelt und in (Tabelle 1) wiedergegeben.

Tabelle 1

C	SI	Mn	S	P	Cr	Ni	Mo	V	Fe
%	%	%	%	%	%	%	%	%	bal.
1,062	0,385	0,76	0,019	0,0205	15,35	0,392	0,534	0,108	43

Legierungszusammensetzung der geprüften Charge

Die Aufbereitung der Proben für die Versuche geschah wie folgt:

Vor der Wärmebehandlung (WB) wurde auf einer Seite der Probe eine Oberflächenbearbeitung mit Naßschleifeinrichtungen bis zu einer Körnung 1200 (30 μ) vorgenommen. Danach wurde unter Zuhilfenahme eines Schleifschlittens ein einseitiger Keilwinkel mit 20° in rohem Vorschleiff auf einem Bandschleifer hergestellt.

Nach der WB wurde die Schneide ausschließlich mit metallografischen Naßschleifeinrichtungen und mit der Hilfe des Schleifschlittens erzeugt. Die verschiedenen Bearbeitungsschritte für die Winkelphase waren folgende:

Vorschleifen mit Naßschleifpapier Körnung K80, K180, K320, K800, 1200 (Siliciumcarbid). Polieren mit polykristallinem Diamant (PKD) in einer Sprühsuspension Körnung 3μ , 1μ .

Ausgehend vom Vorschleiff der anderen Schneidenfläche wurde diese mit Körnung 1200, 3μ , 1μ , fertigbearbeitet und damit eine sehr gleichmäßige Schneide hergestellt (Bild 43).

Um die Gefahr feiner Ausbrüche an der Schneide bei der Zustellung zu mindern, wurden beim Polieren der Schneiden höhere Schleifgeschwindigkeiten ($\geq 300\text{min}^{-1}$ bei 200 mm Scheibendurchmesser) angewandt.

2.2 Wärmebehandlung

Die Verfahrensbedingungen der Wärmebehandlung sahen wie folgt aus: In einem normalen Kammerofen mit Luft als Atmosphäre wurden die Versuchsproben austinitisiert. Zum Schutz gegen Entkohlung diente für den Temperaturbereich über 1000°C Härtefolie (Knu-FoilTM). Die Temperaturkontrolle übernahm ein digitales Sekundenthermometer (GTH-1150) mit einer NI-CR-NI-Messsonde im Schutzmantel. Diese wurde direkt auf das Werkstück im Ofen aufgelegt und somit die eigentliche Probertemperatur gemessen. Mit dem Schließen der Ofentüre und dem Auflegen der Messsonde wurde die Zeitmessung für das Anfahren auf Austinitisierungstemperatur (A-temp.) gestartet. Nach dem Erreichen und Stabilisieren (1 Heizzyklus) der Proben bei A-temp., startete die A-temp-Zeitmessung. Das Abschrecken geschah unmittelbar im Anschluß daran im Ölbad. Der anschließende Arbeitsschritt stellte eine Tiefkühlbehandlung in einer Spezialkühltruhe dar. In dieser befand sich ein Gefäß mit tiefgekühltem Spiritus, der eine schnelle Temperaturübertragung auf die Proben gewährleistete. Danach wurden die Proben in einem Umluftofen mehrmals

angelasen. Zur Temperaturkontrolle kam erneut das GTH-1150 mit einem NI-CR-NI-Messdraht ohne Schutzmantel zum Einsatz.

Die angewandten Wärmebehandlungen sind der Tabelle 2 bzw. den Diagrammen 3-5 im Anhang zu entnehmen. Für jeden Austinitisierungszustand wurden 2 Proben gefertigt und geprüft. Während die Proben 1-26 eine einmalige Wärmebehandlung durchliefen, wurden bei den Proben 27-29 zwei Wärmebehandlungszyklen angewendet. Der erste Zyklus war mit 1100° C und 15 min Haltezeit festgelegt. Dadurch wird ein sehr hoher Lösungsgrad im Stahlverbund erreicht. Der zweite Zyklus wurde mit einer relativ niedrigen Temperatur von 1000° C gefahren. Ziel dieser Doppelhärtung ist, bei einem geringen Anteil ungelöst gebliebener Hartphase gleichmäßige Gefüge- bzw. Schneidhomogenität und hohe Schneidkantenstabilität zu erreichen. Die Zweitbehandlung soll das Matrixgefüge durch eine Umkörnung beeinflussen und für einen Rückgewinn an Zähigkeit sorgen.

Bereits gehärtete Proben 12, 18, 20/ 15, 16, 19, welche, durch die Erstbehandlung, stark austinitisiert waren, wurden im Ofen weichgeglüht. Mit diesem Verfahren sollte festgestellt werden, ob eine Homogenisierung der Hartphasenverteilung im Vergleich zum Anlieferungszustand bewerkstelligt werden kann. Im Anschluß daran wurden die Proben nochmals gehärtet und deren Schneidkantenstabilität überprüft. Somit lehnt sich dieser Versuch an den vorhergehenden an.

2.3 Qualitätskontrolle

Zur Qualitätskontrolle wurden die Proben mit dem Auflichtmikroskop auf ihren einwandfreien Zustand hin überprüft und falls nötig nachgearbeitet.

Die Beurteilungskriterien waren Gratfreiheit (V 500-1000-fach, Bild 43), Schartigkeit und allgemein der homogene, optische Oberflächenzustand der bearbeiteten Flächen und der Schneidkante (V 100-200-fach)

2.4 Lichtmikroskopie

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen wurden mit einem Auflichtmikroskop mit der Vergrößerungsrasterung (50, 100, 200, 500, 1000-fach) durchgeführt. Die Probenaufbereitung entspricht der vorher beschriebenen Methode. Die Bilder wurden mit einer Spezial-Videokamera aufgenommen und mit einem SW-Thermoprinter ausgedruckt. Dadurch ergibt sich eine weitere Vergrößerung um das 1,8 fache der Mikroskopvergrößerung.

Zum Freilegen des Gefüges wurde folgende Lösung verwendet:

Nichtrostende Kaltarbeitsstähle: V2A-Beize / Beraha 1

2.5 Härtemessung

Die Makrohärtemessung nach Rockwell C diente der Kontrolle der WB sowie zur Erstellung einiger Diagramme. Die angegebenen Härtewerte liegen als arithmetisches Mittel aus mindestens 3 Messungen vor.

2.6 Druckschnittverfahren

Zur Versuchsdurchführung der Stabilitätsversuche wurde ein Härtemessgerät zur Kleinlasthärtmessung nach Vickers in modifizierter Art benutzt (Bild 1).

Die Modifikation des Gerätes beschränkte sich auf den Austausch des Diamantprüfkörpers durch einen gehärteten Stahlrundkörper (\varnothing 2 mm, 920 HV₁₀ /Kernhärte), der TIN-beschichtet war. Der Prüfkörperdurchmesser \varnothing 2mm stellte sich für die Prüfung der Stabilität im Makrobereich als geeignet heraus. Zur Aufnahme des Prüfkörpers wurde eine Aluminiumhalterung mit einer V-Nut gefertigt. Der Prüfkörper wurde mit einem Gummi (O-Ring) an der Haltevorrichtung festgespannt. Danach wurde die ganze Einheit im Prüfgerät montiert. Das Mehrgewicht dieser Einheit gegenüber der in der normalen Härteprüfvorrichtung enthaltenen betrug 6,2 Gramm.

Die Proben wurden in einem kleinen Schraubstock senkrecht eingespannt und die Schneidenlinie parallel zur Auflagefläche ausgerichtet. So vorbereitet wurde die Probe in die Prüfvorrichtung gebracht, zentriert und um 90° versetzt zum Prüfkörper einjustiert. Der Abstand der Probe zum Prüfkörper wurde mit 0,5 mm eingestellt.

Als Prüflast wurde aufgrund von Vorversuchen mit einer Rasierklinge, 1 Kg = 9,81 N für die Prüfung im Makrobereich festgelegt. Die Prüfdauer betrug 10 Sekunden. Diese wurden nach dem vollständigen Aufbringen der Last eingehalten. Der Messbereich des Verfahrens ist durch die äußeren Verfahrensbedingungen auf den gesamten Arbeitsbereich von Handmessern ausgelegt und liegt etwa bei einem h-Wert (Schneidenrückgang) von 0-50 μ m (Makrobereich) bei einem einseitigem asymmetrischen Keilwinkel von 20°.

angelassen. Zur Temperaturkontrolle kam erneut das GTH-1150 mit einem NI-CR-NI-Messdraht ohne Schutzmantel zum Einsatz.

Die angewandten Wärmebehandlungen sind der Tabelle 2 bzw. den Diagrammen 3-5 im Anhang zu entnehmen. Für jeden Austinitisierungszustand wurden 2 Proben gefertigt und geprüft. Während die Proben 1-26 eine einmalige Wärmebehandlung durchliefen, wurden bei den Proben 27-29 zwei Wärmebehandlungszyklen angewendet. Der erste Zyklus war mit 1100° C und 15 min Haltezeit festgelegt. Dadurch wird ein sehr hoher Lösungsgrad im Stahlverbund erreicht. Der zweite Zyklus wurde mit einer relativ niedrigen Temperatur von 1000° C gefahren. Ziel dieser Doppelhärtung ist, bei einem geringen Anteil ungelöst gebliebener Hartphase gleichmäßige Gefüge- bzw. Schneidhomogenität und hohe Schneidkantenstabilität zu erreichen. Die Zweitbehandlung soll das Matrixgefüge durch eine Umkörnung beeinflussen und für einen Rückgewinn an Zähigkeit sorgen.

Bereits gehärtete Proben 12, 18, 20/ 15, 16, 19, welche, durch die Erstbehandlung, stark austinitisiert waren, wurden im Ofen weichgeglüht. Mit diesem Verfahren sollte festgestellt werden, ob eine Homogenisierung der Hartphasenverteilung im Vergleich zum Anlieferungszustand bewerkstelligt werden kann. Im Anschluß daran wurden die Proben nochmals gehärtet und deren Schneidkantenstabilität überprüft. Somit lehnt sich dieser Versuch an den vorhergehenden an.

2.3 Qualitätskontrolle

Zur Qualitätskontrolle wurden die Proben mit dem Auflichtmikroskop auf ihren einwandfreien Zustand hin überprüft und falls nötig nachgearbeitet.

Die Beurteilungskriterien waren Gratfreiheit (V 500-1000-fach, Bild 43), Schartigkeit und allgemein der homogene, optische Oberflächenzustand der bearbeiteten Flächen und der Schneidkante (V 100-200-fach).

2.4 Lichtmikroskopie

Die lichtmikroskopischen Untersuchungen wurden mit einem Auflichtmikroskop mit der Vergrößerungsrasterung (50, 100, 200, 500, 1000-fach) durchgeführt. Die Probenaufbereitung entspricht der vorher beschriebenen Methode. Die Bilder wurden mit einer Spezial-Videokamera aufgenommen und mit einem SW-Thermoprinter ausgedruckt. Dadurch ergibt sich eine weitere Vergrößerung um das 1,8 fache der Mikroskopvergrößerung.

Zum Freilegen des Gefüges wurde folgende Lösung verwendet:

Nichtrostende Kaltarbeitsstähle: V2A-Beize / Beraha 1

2.5 Härtemessung

Die Makrohärtemessung nach Rockwell C diente der Kontrolle der WB sowie zur Erstellung einiger Diagramme. Die angegebenen Härtewerte liegen als arithmetisches Mittel aus mindestens 3 Messungen vor.

2.6 Druckschnittverfahren

Zur Versuchsdurchführung der Stabilitätsversuche wurde ein Härtemessgerät zur Kleinlasthärtemessung nach Vickers in modifizierter Art benutzt (Bild 1).

Die Modifikation des Gerätes beschränkte sich auf den Austausch des Diamantprüfkörpers durch einen gehärteten Stahlrundkörper (\varnothing 2 mm, 920 HV₁₀ /Kernhärte), der TIN-beschichtet war. Der Prüfkörperdurchmesser \varnothing 2mm stellte sich für die Prüfung der Stabilität im Makrobereich als geeignet heraus. Zur Aufnahme des Prüfkörpers wurde eine Aluminiumhalterung mit einer V-Nut gefertigt. Der Prüfkörper wurde mit einem Gummi (O-Ring) an der Haltevorrichtung festgespannt. Danach wurde die ganze Einheit im Prüfgerät montiert. Das Mehrgewicht dieser Einheit gegenüber der in der normalen Härteprüfvorrichtung enthaltenen betrug 6,2 Gramm.

Die Proben wurden in einem kleinen Schraubstock senkrecht eingespannt und die Schneidenlinie parallel zur Auflagefläche ausgerichtet. So vorbereitet wurde die Probe in die Prüfvorrichtung gebracht, zentriert und um 90° versetzt zum Prüfkörper einjustiert. Der Abstand der Probe zum Prüfkörper wurde mit 0,5 mm eingestellt.

Als Prüflast wurde aufgrund von Vorversuchen mit einer Rasierklinge, 1 Kg = 9,81 N für die Prüfung im Makrobereich festgelegt. Die Prüfdauer betrug 10 Sekunden. Diese wurden nach dem vollständigen Aufbringen der Last eingehalten. Der Messbereich des Verfahrens ist durch die äußeren Verfahrensbedingungen auf den gesamten Arbeitsbereich von Handmessern ausgelegt und liegt etwa bei einem h-Wert (Schneidenrückgang) von 0-50 μ m (Makrobereich) bei einem einseitigem asymmetrischen Keilwinkel von 20°.

Formel 1

$$h=r- r^2-s^2/4$$

Mit einem in dem Prüfgerät enthaltenen Auflichtmessmikroskop wurden die Eindrücke mit einer Vergrößerung ($V=200$ -fach) ausgewertet. Vermessen wurde dann die Sehnenlänge s in [μm] des Kreissegmentabdruckes, welche

dann mit der Formel 1 umgerechnet auf die Bogenhöhe h den Schneidenrückgang in [μm] angibt. Dieser Wert h wird als Maß für die Stabilität der Schneidkante angesehen. Zur anschaulicheren grafischen Darstellung wird der h -Wert reziprok ($1/h$) ausgedrückt. Das Intervall $h=[0-5\mu\text{m}]$ wird als Mikrobereich bezeichnet und $h=[0-50\mu\text{m}]$ als Makrobereich.

Es werden 10 Eindrücke je Probe in einem Abstand von 1 mm in Schneidenlängsrichtung gemacht. Die Angabe des Meßwertes geschieht wie folgt:

- $\text{SKS}_{(10\text{N}/2)} = [1/\mu\text{m}]$;
- Schneidkantenstabilität (SKS),
- Prüflast= 10N [Newton],
- Prüfkörperdurchmesser $\varnothing=2\text{mm}$,
- Einheit für $1/h = [1/\mu\text{m}]$.

In die Beurteilung der Stabilität der Schneidkanten flossen noch andere Beobachtungen mit ein. Der optische Zustand der Eindrücke sowie der Verfahrensablauf lassen sich gut als zusätzliche Kriterien zur Beurteilung der Schneidkantenstabilität verwenden. Umgelegte oder abgescherte Schneidkanten wie Versuchsreihen weisen ebenfalls auf Instabilitäten im Makrobereich hin.

3 Versuchsergebnisse

3.1 Wärmebehandlung und Metallografie

Das durch die verschiedenen starken Lösungszustände (hohe Temperaturen und lange Haltezeiten) voranschreitende Austenitkornwachstum und das Lösen der Hartphasen ist deutlich auf den metallografischen Aufnahmen zu erkennen (Bild 2-16). Auf den Bildern ist zu erkennen daß das Wachstum der Austenitkörner nach dem Abschrecken zu einer Vergrößerung des Martensitgefüges und einer Zunahme des Restaustenites führt. Eingebunden in diese Matrix sind die nicht gelösten Hartphasen (Primärkarbide). Eine genaue Korngrößenbestimmung wurde aus Zeitgründen nicht durchgeführt.

Auf den Aufnahmen (Bild 11) der Proben 19,20 ist der große Anteil an Restaustenit sowie Ausscheidungen von Hartphasen an den Korngrenzen zu sehen. Der bei den hohen Lösungszuständen gebildete Restaustenit war durch die nachfolgenden Tiefkühl- und Anlassbehandlungen nicht mehr vollständig zu destabilisieren und umzuwandeln (Bilder 44-45). Eine Tiefkühlbehandlung mit flüssigem Stickstoff (-196°C) ist darum zu empfehlen.

Das Weichglühen der Proben 12, 18, 20, / 15, 16, 19 nach ihrer ersten Wärmebehandlung ließ die Unterschiede in der Gefügestruktur gegenüber dem Anlieferungszustand erkennen. Die Bilderreihe (Bilder 34/35/36) zeigt verstärkte Ausscheidungskonzentrationen an den Korngrenzen nach dem Weichglühvorgang. Die großen Karbidnester waren im Vergleich zum Lieferzustand stärker aufgelöst. Die Härteannahme nach dem zweiten Wärmebehandlungszyklus war insgesamt besser (c.a.+1,3 HRC nach dem Anlassen). Die niedrigere Ansprungshärte (großer Restaustenitanteil) und die

höhere Endhärte sind vornehmlich dem besseren Lösungsgrad (durch Diffusionsglühen) anzurechnen. Die Umwandlung von Restaustenit konnte qualitativ mit der Härtmessung und der Metallografie verfolgt werden (Bilder 44-45). Die quantitative Bestimmung war aufgrund fehlender Einrichtungen nicht möglich.

Die benutzten thermischen Zyklen waren für eine Erhöhung der Schneidkantenstabilität nur bedingt geeignet. Der erste Zyklus der Proben 27-29 mit einer Doppelhärtung erbrachte in der Gefügeeinstellung nicht den gewünschten Erfolg. Deutlich ist hier eine grobe Gefügestruktur mit Ausscheidungen an den Korngrenzen zu erkennen (Bild 30). Teilweise sind Flächen mit stärkerer Lösung zu sehen. Zwischen grobem Martensit und stark eingeformten Hartphasen sind Restaustenitanteile und leicht verfeinerte Martensitstrukturen zu erkennen. Diese teilgelösten Stellen sind auf der Bilderreihe (Bilder 26/27/28) der Probe 27/2 als dunkle Bahnen zu erkennen. Diese Bahnen werden hauptsächlich durch Hartphasenausscheidungen und feinere Martensitstrukturen gezeichnet. Der Austinitisierungsgrad der Zweitbehandlung muß als zu niedrig angesehen werden. Ein Umkornvorgang konnte kaum festgestellt werden. Eine interessante Feststellung hierbei war, daß in der ersten Makrostabilitätsmessung ein außerordentlich hoher Wert gemessen wurde, welcher in einer weiteren Meßreihe nicht mehr zu wiederholen war.

Eine Besonderheit stellt die Probe 3,4 dar. Es wurde beobachtet, daß beide exakt gleich behandelten Proben (d.h. im selben Folienpäckchen, noch als ein Stück!) deutliche Unterschiede im Gefügestand (Bilder 13-16) aufwiesen. Das Martensitgefüge der Probe 4 war wesentlich feiner als das der Probe 3. Der Restaustenitanteil scheint auch geringer zu sein. Eine mindere Stabilität der Probe 3 gegenüber der Probe 4 wurde ebenfalls festgestellt. Ein möglicher Fehler könnte bei der Wärmeübertragung durch die Schutzfolie aufgetreten sein. Auch Seigerungen im Werkstoff sind nicht auszuschließen.

Ein Einfluß durch Strukturunterschiede im Halbzeug bezogen auf die Probenlage ist unwahrscheinlich, da beide Schlitze am Rand der Stirnseite liegen. Bei einer Nachuntersuchung wurden erhöhte Restaustenitgehalte im unmittelbaren Rand- bzw. Schneidenbereich festgestellt. Dies läßt darauf schließen, daß der Austinitisierungsgrad im Randbereich zu hoch war. Ein ausgeprägtes Vorwärmen (zweistufig!) muß daher auch bei solch geringen Querschnitten vorgenommen werden.

Die vom Hersteller und vom Stahlschlüssel angegebene Höchst Härte von 63 HRC, konnte nur mit dem Behandlungszustand der Probe 23 (63,1 HRC, 1X angelassen mit 180° C nach dem Tiefkühlen) dieser Stahlcharge erreicht werden. Der zwar noch verträgliche SI-Gehalt von 0,385 % zeigt hier ebenso seine Auswirkungen auf die erreichbare Höchst Härte, wie das Verhältnis Cr:C=14,4 und dessen Einfluß auf die Lage der Ms-Mf-Punkte (Nr.:9). Selbstverständlich geht auch der erreichbare Lösungsgrad in diese Betrachtung mit ein. Viele grobe, unlösbare Primärkarbide nach der WB vermindern in zunehmendem Maße die Härteannahme dieser Charge.

3.2 Schneidkantenstabilität

Auf den metallografischen Aufnahmen ist das Verhalten der Testcharge deutlich nachzuvollziehen (Bilder 2-16). Der steigende Lösungsgrad, das zunehmende Kornwachstum und der damit verbundene steigende Restaustenitanteil beeinflussen die Schneidkantenstabilität der Legierung merklich. Die niedrig eingestellte Austinitisierung der Proben 5,6 (Bild 4) konnte ebensowenig hohe Werte bezüglich der Schneidkantenstabilität erreichen wie die besonders hoch austinitisierten Proben 11-20 (Bilder 7-11). Ein Maximalwert innerhalb der Versuchsreihe wurde mit den Proben 3,4

(Bild 3) erzielt. Daraufhin sind erneut Wärmebehandlungen und Stabilitätsversuche in diesem Bereich durchgeführt worden. Diese hatten das Ziel, dieses Maximum noch enger einzugrenzen. Jedoch konnte keine der Proben den zuerst erreichten Maximalwert mehr erreichen. Dieser Versuch kann als nicht gelungen angesehen werden. Dies ergibt sich daraus, daß noch unklar ist, welche Streubreiten das Prüfverfahren bzw. die Wärmebehandlungen (siehe vorherigen Abschnitt 3.1) haben.

Wie im vorherigen Abschnitt bereits erwähnt, sind bei der Prüfung der Proben 27-29 unerwartet hohe Stabilitäten festgestellt worden. Eine Kontrollmeßreihe ergab speziell für die Probe 29/2 (Bild 23) eine extreme Schwankung mit $SKS_{(10N/2)} = 0,032$ und $SKS_{(10N/2)} = 0,020$. Ein Verfahrensfehler ist hierbei nicht auszuschließen. Bei der Probe 27 konnte das zuerst gemessene Ergebnis durch eine weitere Versuchsreihe bereichsmäßig bestätigt werden. Der Höchstwert der Probe 4 konnte in weiteren Kontrollmessung ebenfalls nicht mehr ganz erreicht werden.

Anzumerken ist noch, daß die Anzahl der Versuchsproben als zu gering anzusehen ist, um endgültige Aussagen über das Verhalten der Charge des geprüften Stahles hinsichtlich der Schneidkantenstabilität zu machen. Es ist jedoch möglich, Tendenzen aus den durchgeführten Versuchen bezüglich dieser Stahlcharge abzuleiten.

4 Diskussion und Zusammenfassung

Die Unterschiede in der Gefügeeinstellung dieser Stahlcharge konnten durch das Druckschnittverfahren festgestellt werden. Obwohl sich alle Proben in einem Bereich annähernd gleicher Härte (60,5-61,8 HRC) befinden, sind drastische Unterschiede in der Stabilität zu erkennen. Die Angabe eines Härtewertes als Qualitätskriterium für feine Schneidkanten ist somit unzulässig. Allgemein muß einschränkend gesagt werden, daß die geringe Probenzahl der durchgeführten Versuche nur eine Tendenz wiedergibt, welche durch ausgedehntere Versuche bestätigt werden müßte.

Die Lage des Maximalwertes der Makroschneidkantenstabilität für die geprüfte Legierungscharge kann im Bereich um den Austinitisierungsgrad der Proben 3,4 mit

- **Vorwärmen:** Stufe 1: (450-500°C); Stufe 2: (850-900°C)
- **A-Temp.:** 1050°C
- **Haltezeit:** 20min ± 2min
- **Abschrecken:** Öl (50°C)
- **Tiefkühlen:** TK (-80°C, bis -196°C)
- **Anlassen:** (2X) 200°C

angenommen werden. Mit einem Schneidkantenstabilitätswert der Probe 4 von $SKS_{(10N/2)} = 0,031 [1/\mu\text{m}]$ liegt die so eingestellte Legierung am Rande der Stahlqualitäten die durch Ihren inneren Zustand als Druckschnittfähig anzusehen sind (Diagramm 4/5). Die Betrachtung der Hartphasengröße und deren Verteilung dieser Charge bestätigen diese Ergebnisse. Daraus resultiert folgendes:

- Um noch größere Schneidkantenstabilitäten zu erhalten, muß auf die Legierungszusammensetzung und die Erzeugungsart eingegangen werden (Nr.:8/9). Ein geändertes Cr/C Verhältnis (<14 d.h. Cr-Gehalt verringern!) als auch eine Verringerung des SI-Gehaltes ($\leq 0,3\%$) sollten Verbesserungen hinsichtlich der erreichbaren Höchststärke und der Schneidkantenstabilität erbringen.
- Zur Beeinflussung der Hartphasengröße und Hartphasenverteilung kommen günstigere Herstellungsbedingungen (z.B. Thermomechanische Behandlung bzw. Einstellung des Endreckgrades oder PM-Herstellung) in Frage, was ebenso, mitunter starke, Auswirkungen auf die Schneidkantenstabilität haben sollte.

Der erste Versuch, das Gefüge mittels einer Doppelhärtung feiner einzustellen, zeigte nicht den gewünschten Erfolg. Hingegen erwies sich ein anderer Zyklus mit einem Weichglühvorgang dazwischen als geeignet, eine Gefügeverbesserung (feiner Martensit, bei erhöhtem Lösungsgrad) zu erzielen. Als Folge dieser Zweithärtung konnten günstigere Gefügestrukturen gegenüber dem Erstbehandlungszustand erzielt werden. Ein höherer Maximalwert der Schneidkantenstabilität wurde auch hier nicht erreicht.

- Wie schon in früheren Untersuchungen festgestellt, ist eine Tiefkühlbehandlung (min.-80° C, besser-196° C) zur Begrenzung des Restaustenitgehaltes unmittelbar nach dem Abschrecken unbedingt erforderlich. Eine Einschränkung stellen die drohende Reißgefahr und die erhöhten Fertigungskosten dar.
- Ebenso muß eine Anlassbehandlung im Bereich von 175° C- 225° C mehrmals (2X) erfolgen. Ein weiterer Abbau von Restaustenit und eine damit verbundene Gefügeentspannung begünstigen die Stabilität der feinen Schneidkanten entscheidend.

Eine Anlassbehandlung im Bereich um 500° C, wie bei Schnellstählen zur Umwandlung von Restaustenit, kann aus Leistungs- und Korrosionsgründen nicht empfohlen werden (Nr.: 8/9/13).

5 Anhang

5.1 Metallografie/ Bilder

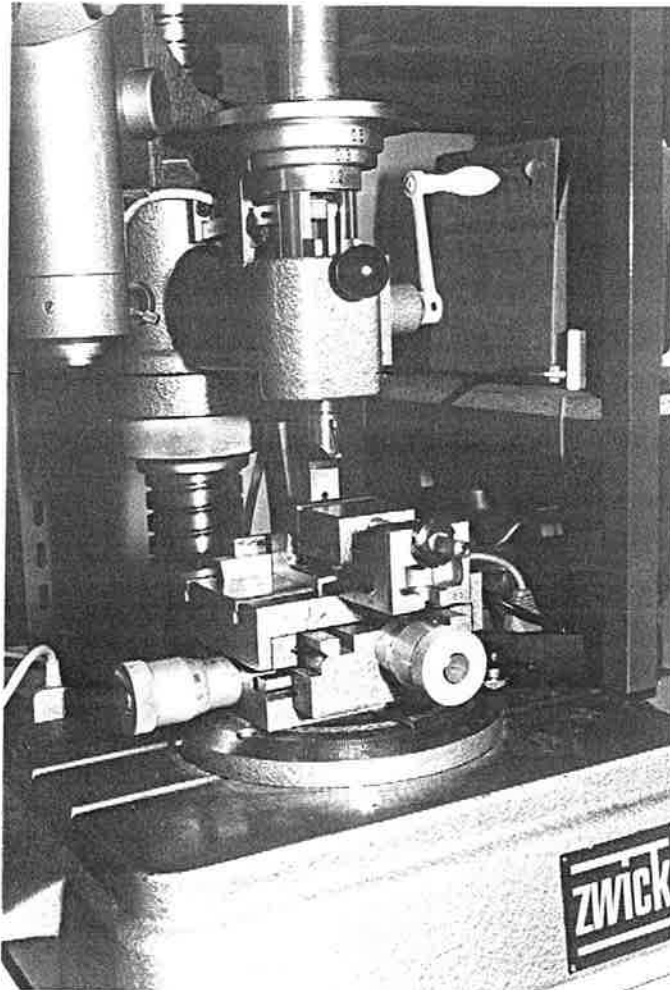
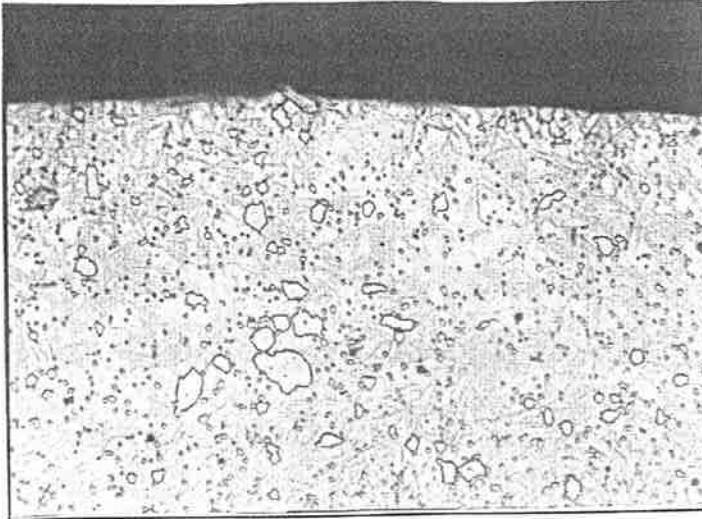
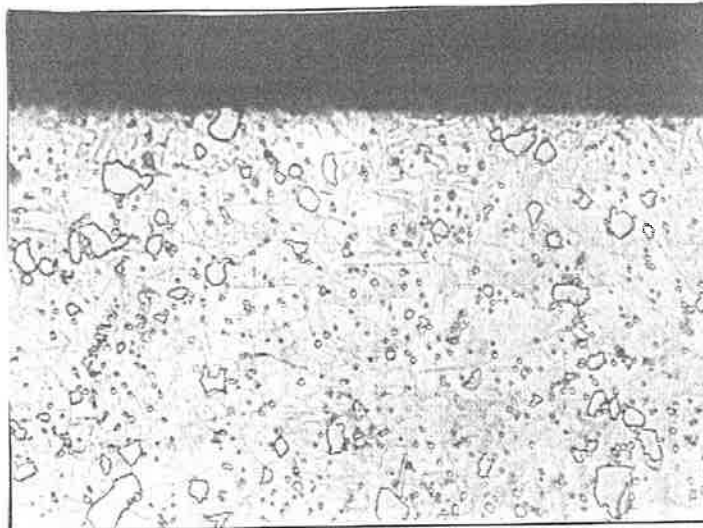


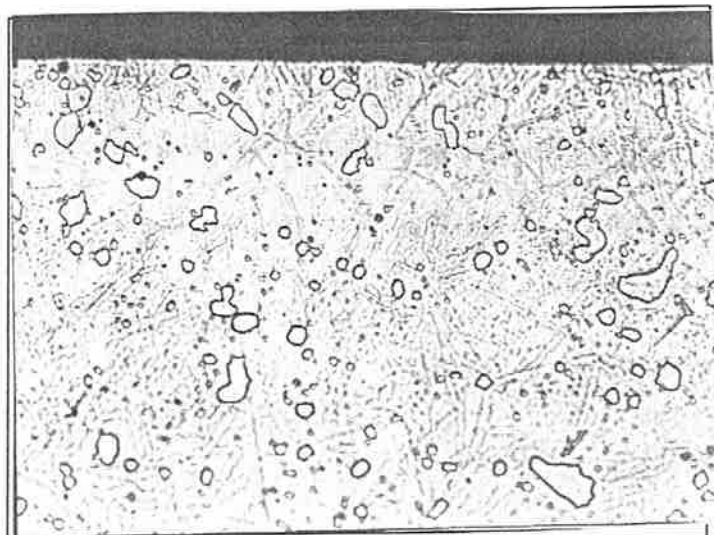
Bild Nr.:1
Druckschnittverfahren
Versuchseinrichtung
in Prüfanordnung

**Bild Nr.:8**

Probe Nr.: 13/14

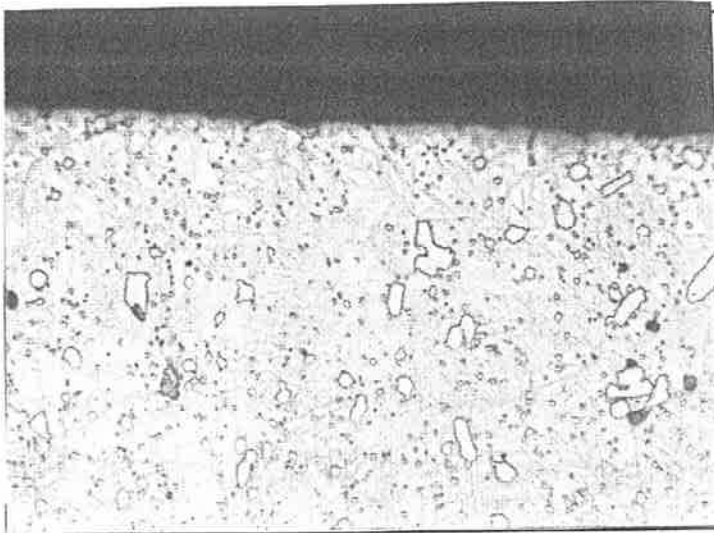
Vergr.: V= 900 XWB.:1080°C/10min/Öl/TK/
200° CHärte [HRC]: 61,7SKS_(10N/2): 0,0245**Bild Nr.:9**

Probe Nr.: 15/16

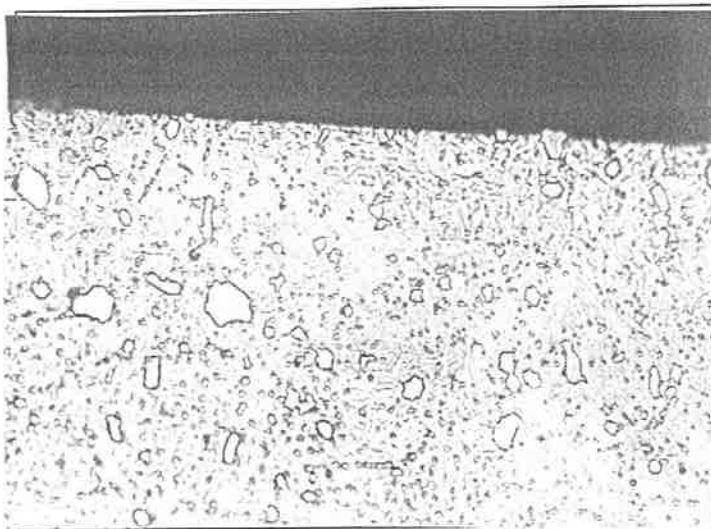
Vergr.: V= 900 XWB.:1080°C/20min/Öl/TK/
200° CHärte [HRC]: 61,8SKS_(10N/2): 0,020**Bild Nr.:10**

Probe Nr.: 17/18

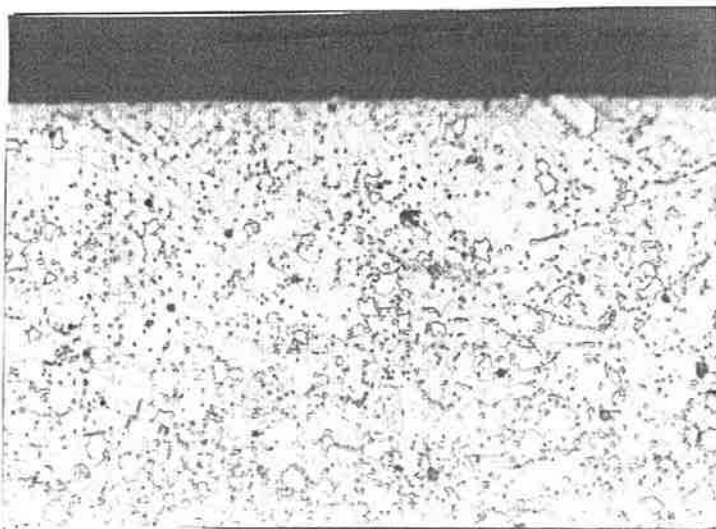
Vergr.: V= 900 XWB.:1050°C/30min/Öl/TK/
200° CHärte [HRC]: 61SKS_(10N/2): 0,0189

**Bild Nr.:2**

Probe Nr.: 1/2

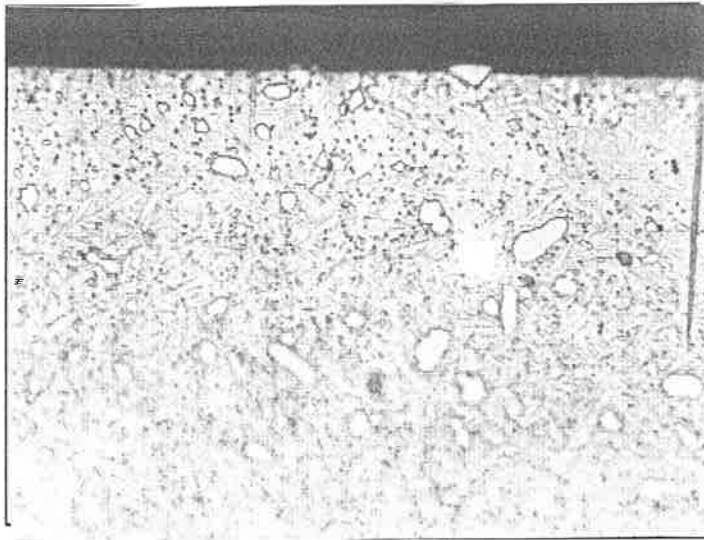
Vergr.: V= 900 XWB.: 1050°C/30min/Öl/TK/200° CHärte [HRC]: 61,2SKS_(10N/2): 0,0239**Bild Nr.:3**

Probe Nr.: 3/4

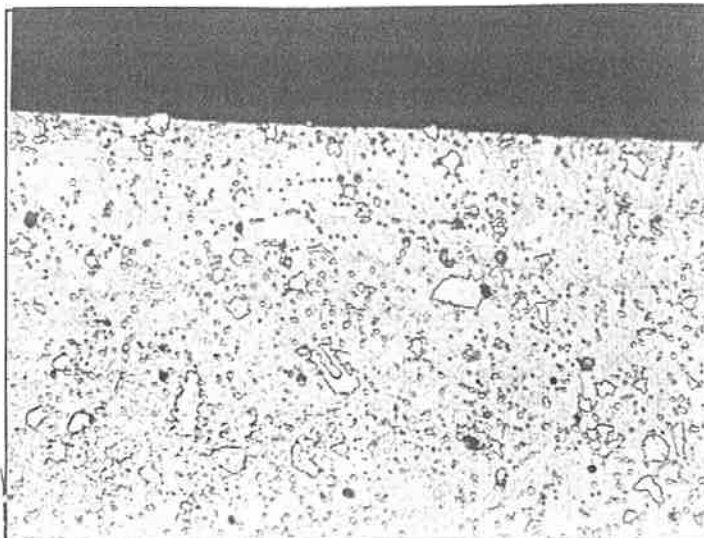
Vergr.: V= 900 XWB.: 1050°C/20min/Öl/TK/200° CHärte [HRC]: 61SKS_(10N/2): 0,0,031**Bild Nr.:4**

Probe Nr.: 5/6

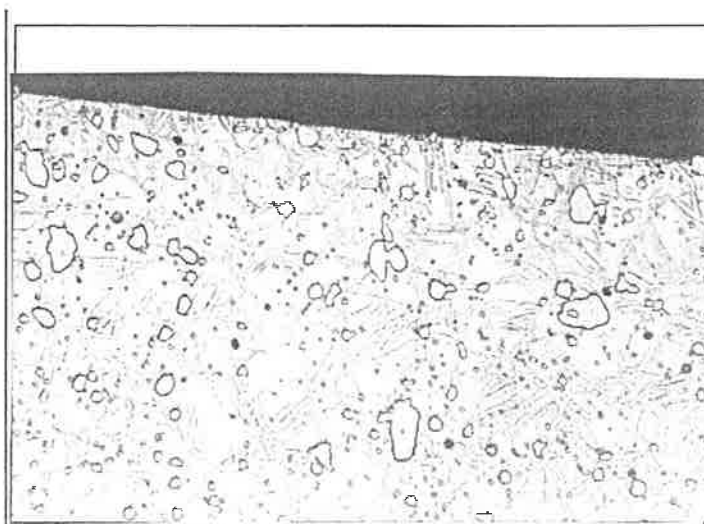
Vergr.: V= 900 XWB.: 1050°C/10min/Öl/TK/200° CHärte [HRC]: 60,5SKS_(10N/2): 0,025

**Bild Nr.:5**

Probe Nr.: 7/8

Vergr.: V= 900 XWB.: 1060°C/10min/Öl/TK/
200° CHärte [HRC]: 61,3SKS_(10N/2): 0,0268**Bild Nr.:6**

Probe Nr.: 9/10

Vergr.: V= 900 XWB.: 1060°C/20min/Öl/TK/
200° CHärte [HRC]: 61,6SKS_(10N/2): 0,0,0239**Bild Nr.:7**

Probe Nr.: 11/12

Vergr.: V= 900 XWB.: 1060°C/10min/Öl/TK/
200° CHärte [HRC]: 61,3SKS_(10N/2): 0,0218

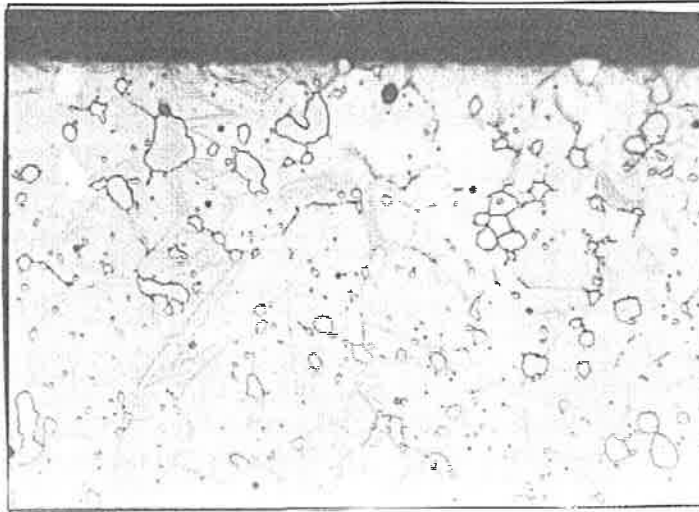


Bild Nr.:11
Probe Nr.: 19/20
Vergr.: V= 900 X
WB.: 1100°C/10min/Öl/TK/
200° C
Härte [HRC]: 60,5
SKS_(10N/2): 0,0193

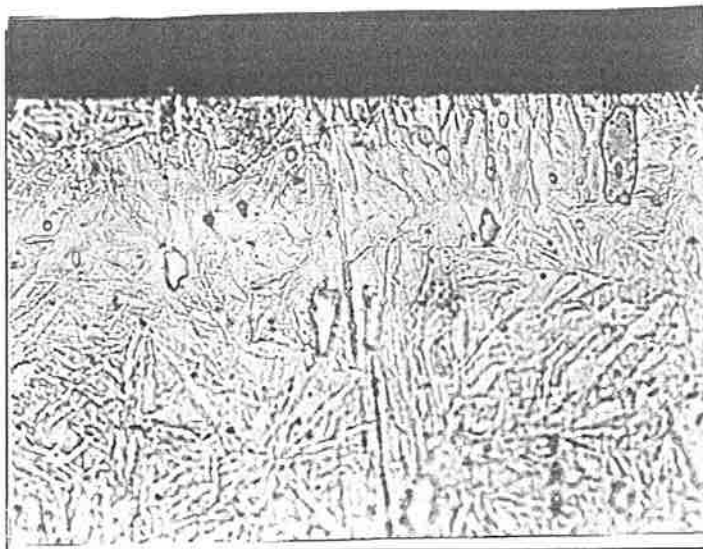


Bild Nr.:12
Probe Nr.: 27/28/29
Vergr.: V= 900 X
WB.: 1100°C/15min/Öl/TK/
200° C
Härte [HRC]: 60
SKS_(10N/2): 0,0192

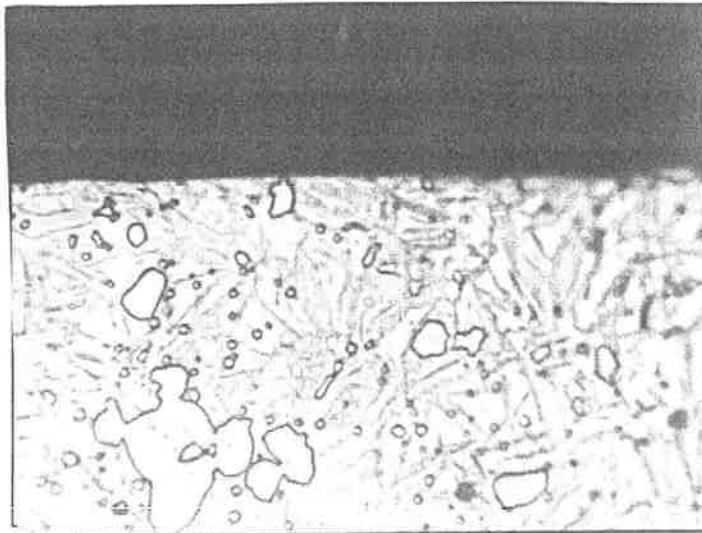


Bild Nr.:13
Probe Nr.: 3
Vergr.: V= 1800 X
WB.:1050°C/20min/Öl/TK/
200° C
Härte [HRC]: 61
SKS_(10N/2): 0,024

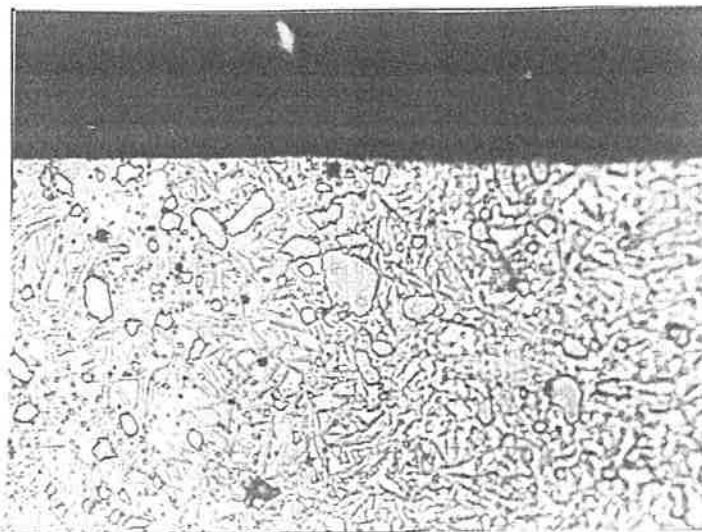


Bild Nr.:14
Probe Nr.: 3
Vergr.: V= 900 X
WB.:s.o
Härte [HRC]: s.o.
SKS_(10N/2): s.o.

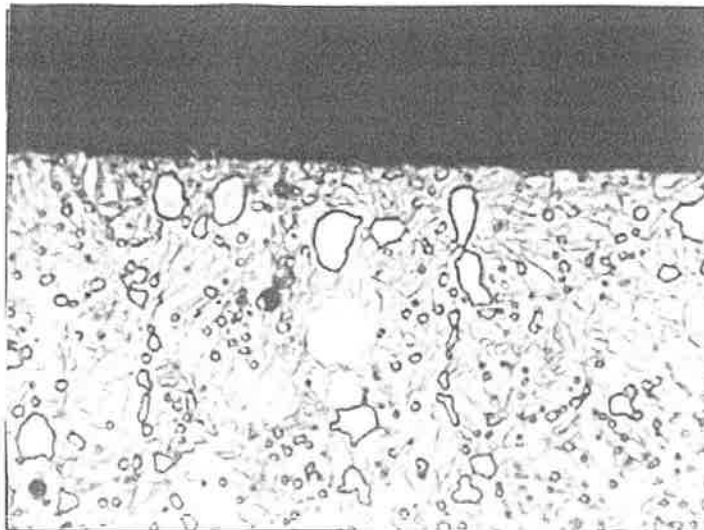


Bild Nr.:15

Probe Nr.: 4

Vergr.: V= 1800 X

WB.: 1050°C/20min/Öl/TK/

200° C

Härte [HRC]: 61

SKS_(10N/2): 0,031/0,0268

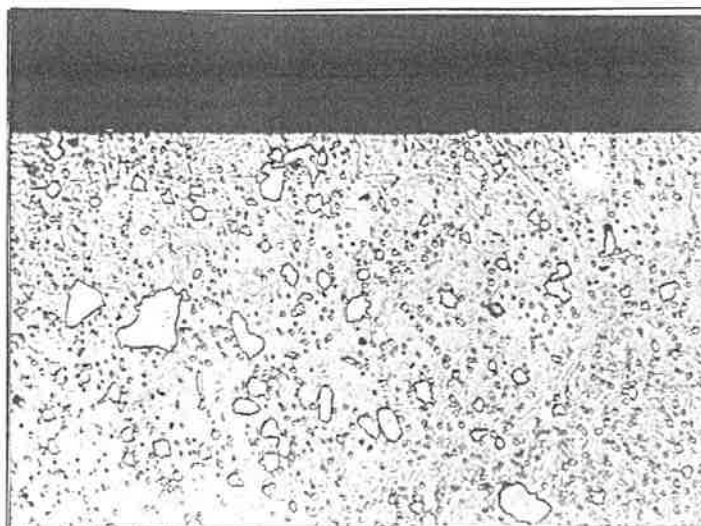


Bild Nr.:16

Probe Nr.: 4

Vergr.: V= 900 X

WB.: s.o

Härte [HRC]: s.o

SKS_(10N/2): s.o

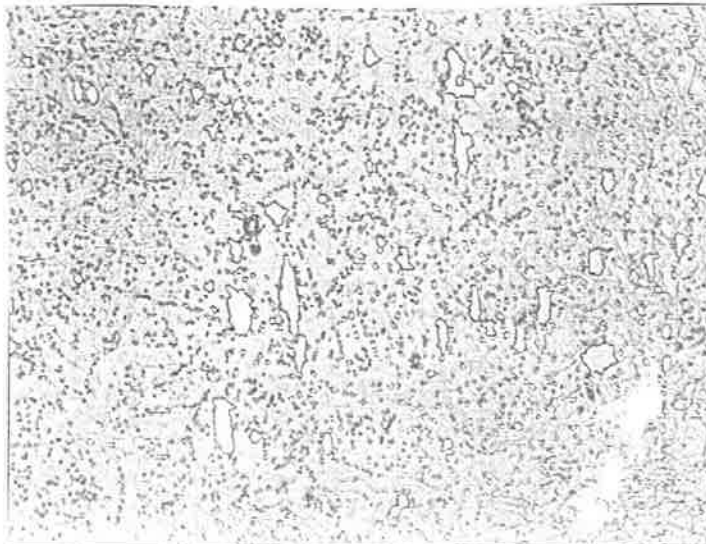


Bild Nr.:17

Probe Nr.: 21

Vergr.: V= 900 X

WB.: 1050°C/17,5min/Öl/TK
/ 200° C

Härte [HRC]: 60,8

SKS_(10N/2): 0,0249

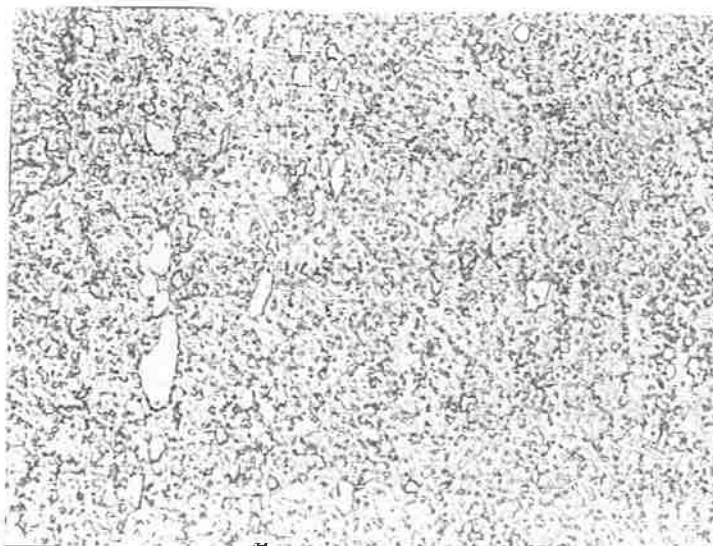


Bild Nr.:18

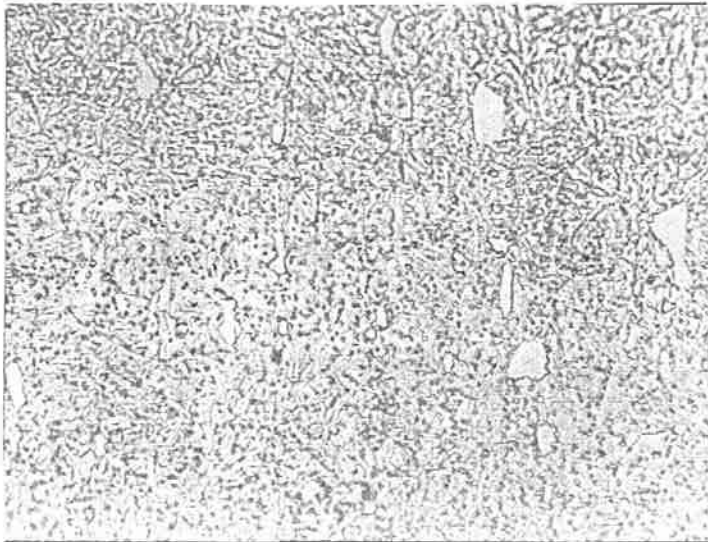
Probe Nr.: 24

Vergr.: V= 900 X

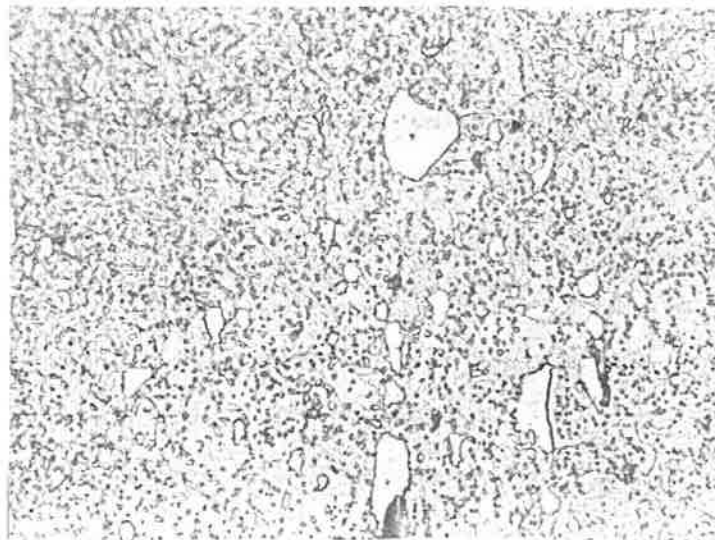
WB.:
1050°C/17,5min/Öl/TK/
180° C

Härte [HRC]: 62,7

SKS_(10N/2): 0,026

**Bild Nr.:19**

Probe Nr.: 22

Vergr.: V= 900 XWB.: 1050°C/20min/Öl/TK/200° CHärte [HRC]: 60,8SKS_(10N/2): 0,0266**Bild Nr.:20**

Probe Nr.: 25

Vergr.: V= 900 X

WB.:

1050°C/17,5min/Öl/TK/180° CHärte [HRC]: 62,5SKS_(10N/2): 0,0261

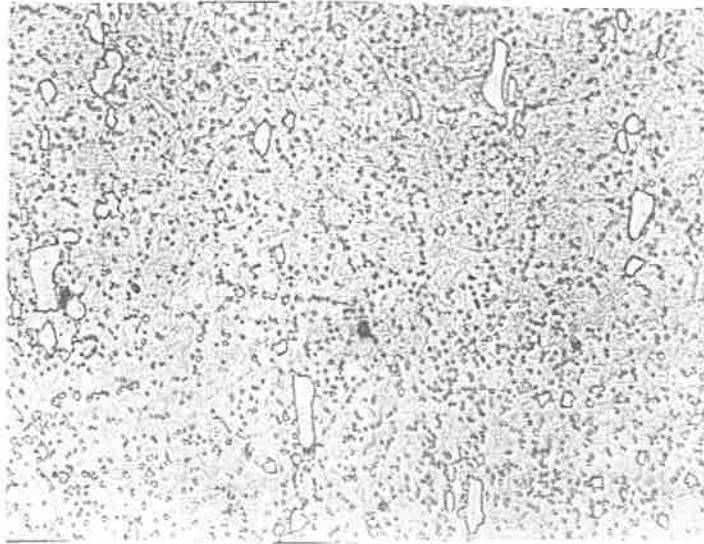


Bild Nr.:21
Probe Nr.: 23
Vergr.: V= 900 X
WB.:1050°C/22.5min/TK/
200° C
Härte [HRC]: 61,2
SKS_(10N/2): 0,0228

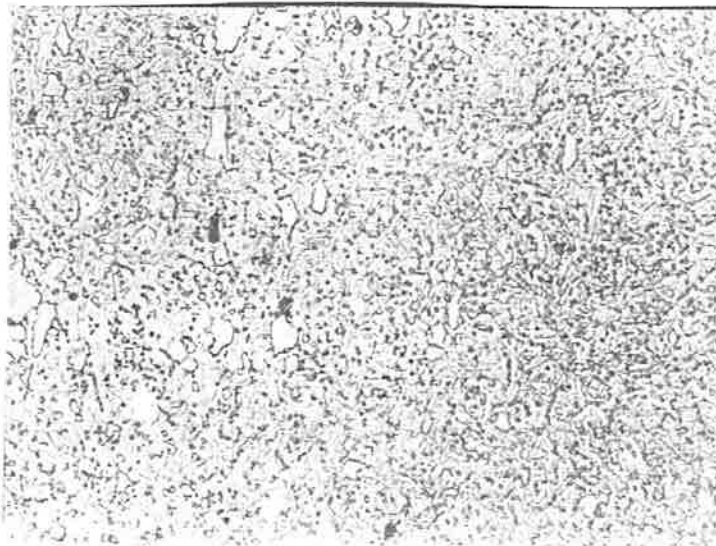
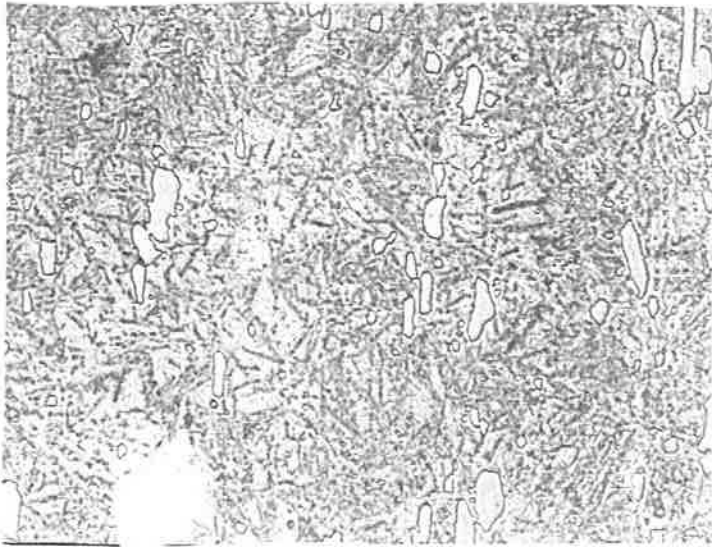


Bild Nr.:22
Probe Nr.: 26
Vergr.: V= 900 X
WB.:1050°C/22.5min/ÖI/T
K/ 180° C
Härte [HRC]: 62,6
SKS_(10N/2): 0,0242

**Bild Nr.:23**

Probe Nr.:29/2

Vergr.: V= 900 XWB:Zyklus1:1100°C/15min/ÖI/TK/ 200° CZyklus2:1000°C/15min/ÖI/TK/ 200° CHärte [HRC]: 59,7SKS_(10N/2): 0,020/(0,323)**Bild Nr.:24**

Probe Nr.:28/2

Vergr.: V= 900 XWB:Zyklus1:1100°C/15min/ÖI/TK/ 200° CZyklus2:1000°C/10min/ÖI/TK/ 200° CHärte [HRC]: 59,7SKS_(10N/2): 0,0263**Bild Nr.:25**

Probe Nr.:27/2

Vergr.: V= 900 XWB:Zyklus1:1100°C/15min/ÖI/TK/ 200° CZyklus2:1000°C/5min/ÖI/TK/ 200° CHärte [HRC]: 60SKS_(10N/2): 0,0249

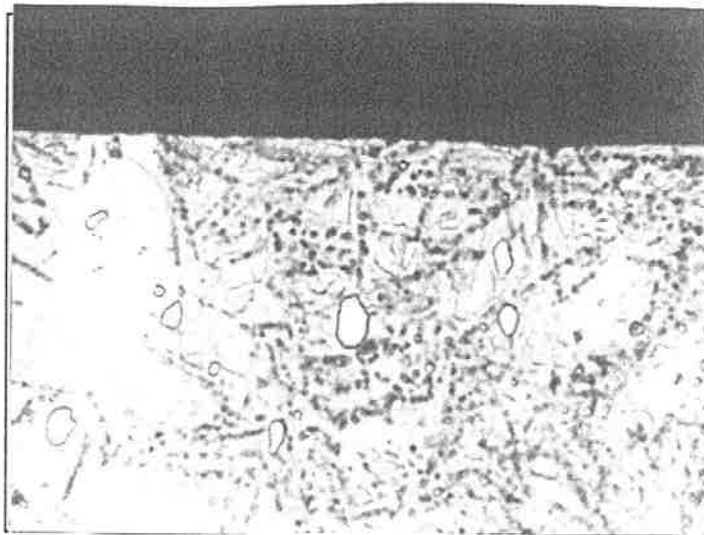


Bild Nr.:26/27/28

Probe Nr.:27/2

Vergr.: V= 1800/900/360 X

WB:Zyklus1:1100°C/15min/

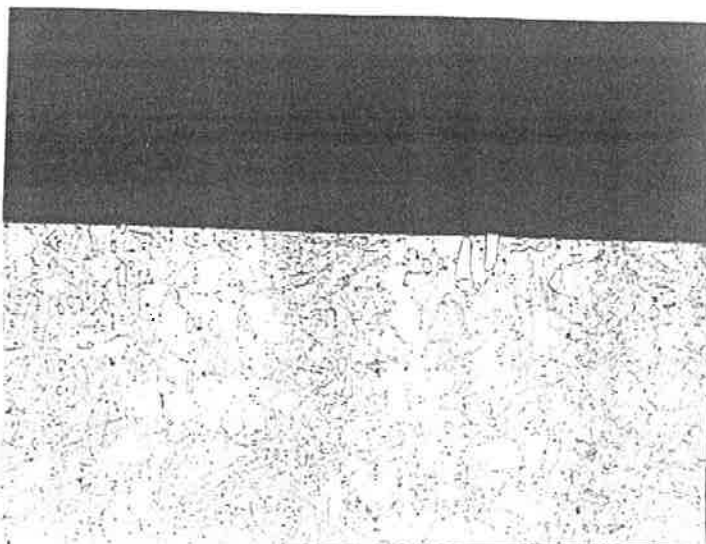
Ö/TK/ 200° C

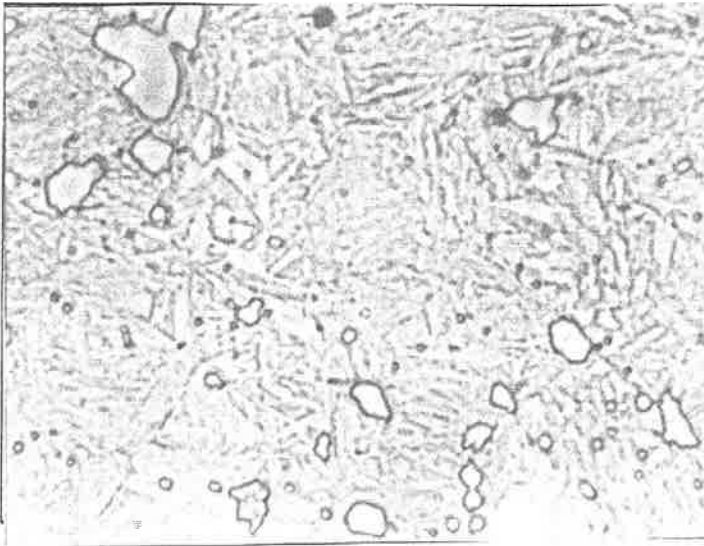
Zyklus2:1000°C/5min/

Ö/TK/ 200° C

Härte [HRC]: 60

SKS_(10N/2): 0,0249



**Bild Nr.:29**

Probe Nr.: 16

Vergr.: V= 1800 XWB: Zyklus2: 1050°C/15min/ÖI/TK/ 200° CHärte [HRC]: 61,5SKS_(10N/2): 0,0225**Bild Nr.:30**

Probe Nr.: 27/2

Vergr.: V= 1800 XWB: Zyklus2: 1000°C/5min/ÖI/TK/ 200° CHärte [HRC]: 60SKS_(10N/2): (0,0274!!)

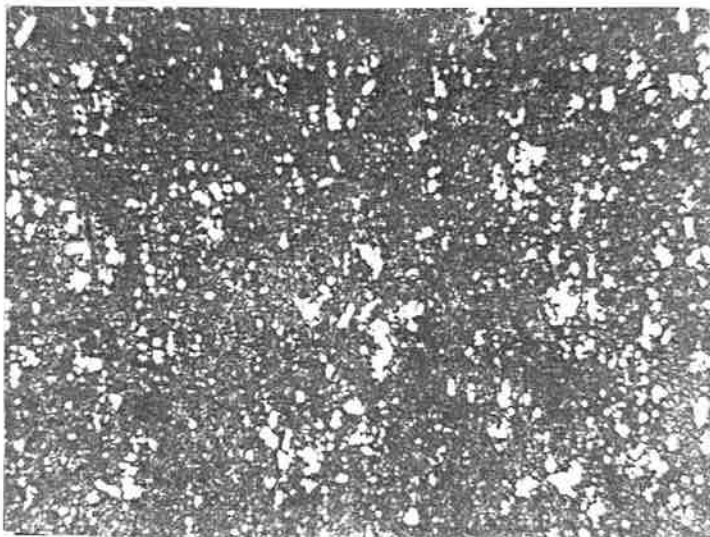
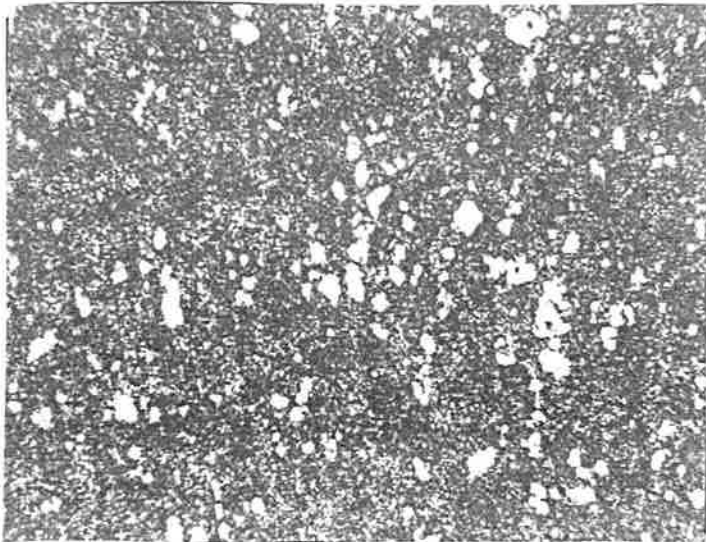
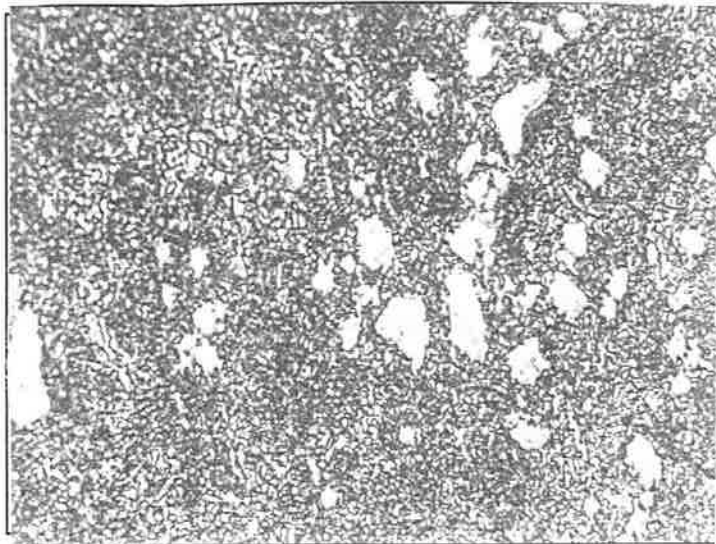


Bild Nr.:31/32/33
Probe Nr.: -
Vergr.: V=900/360/180X
WB.: Weichgeglüht ab
Werk
Härte [HRC]: -
SKS_(10N/2): -

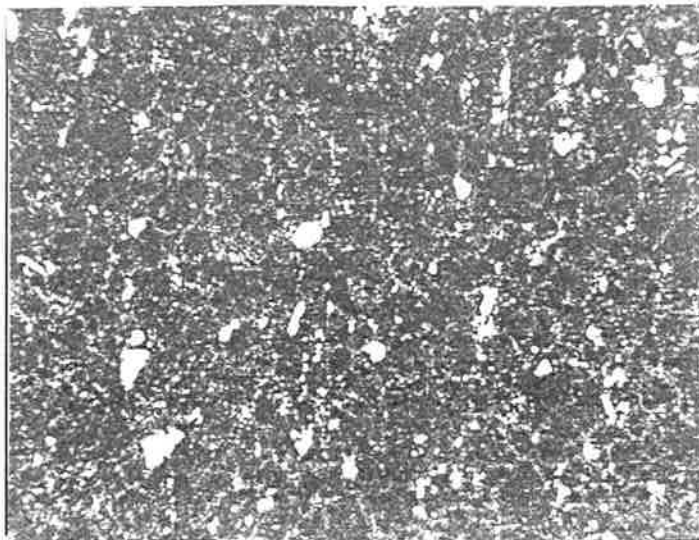
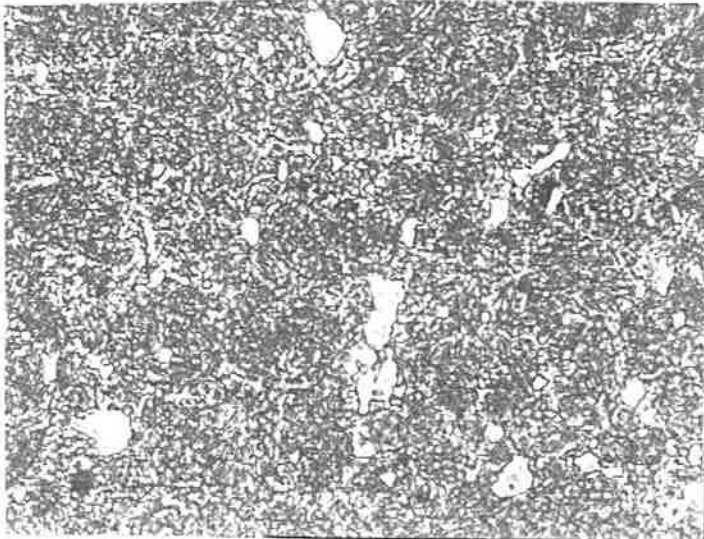


Bild Nr.:34/35/36

Probe Nr.:17

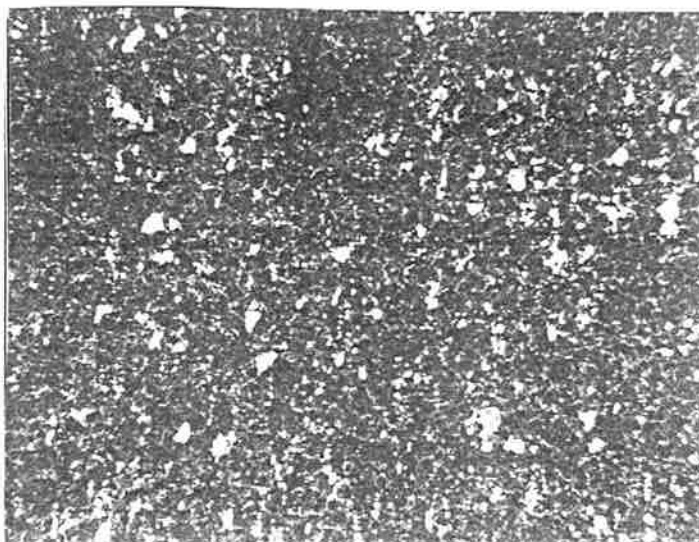
Vergr.:V= 900/360/180 X

WB.:Weichgeglüht nach

WB 17/18

Härte [HRC]: -

SKS_(10N/2): -



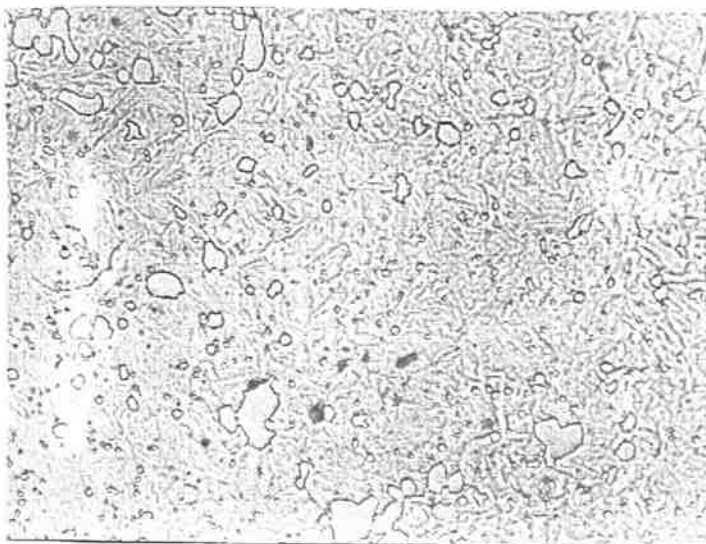
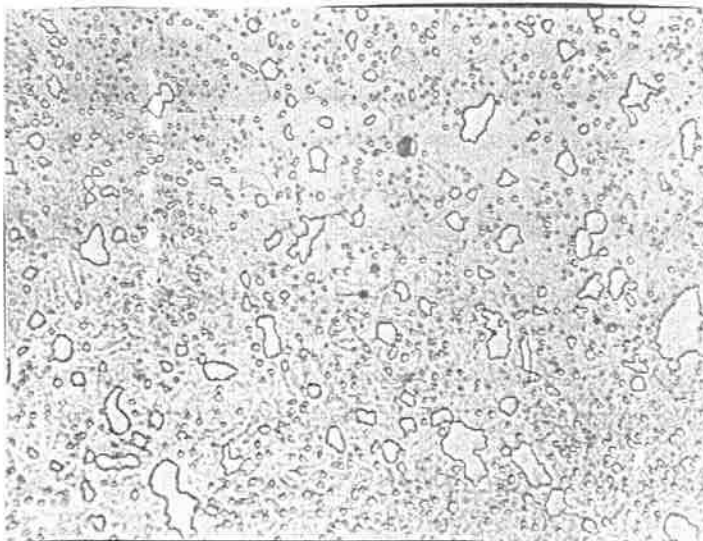
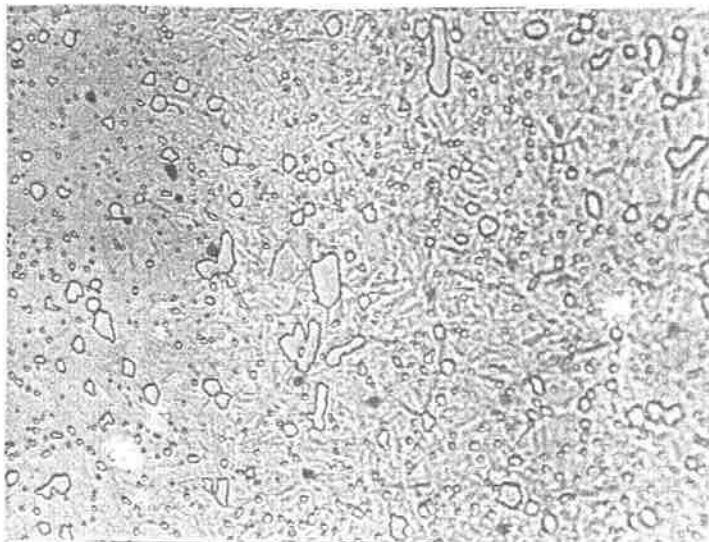


Bild Nr.:37/38/39

Probe Nr.:12/18/20/2

Vergr.: V= 900X

WB:Zyklus1:

siehe Tabelle 3

Zyklus2:Weichglühen

Bilder 34-36

Zyklus3:1050°C/15min/

Ö/TK/ 200° C

Härte [HRC]: 61,6

SKS_(10N/2): 0,0263/ 0,021/

0,0271

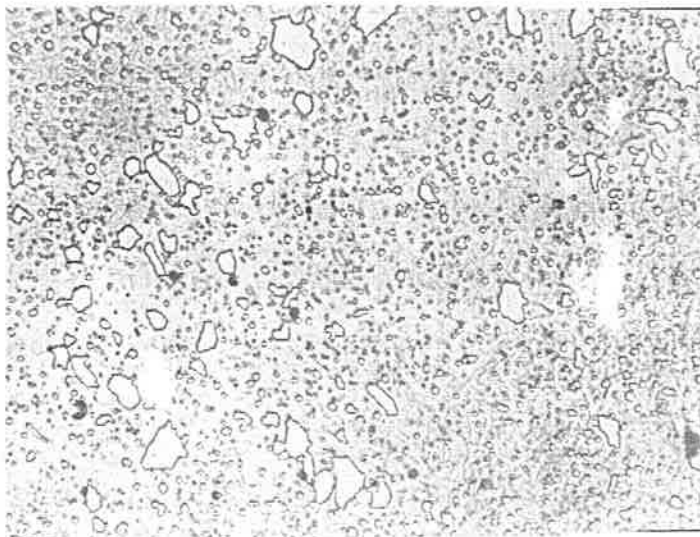
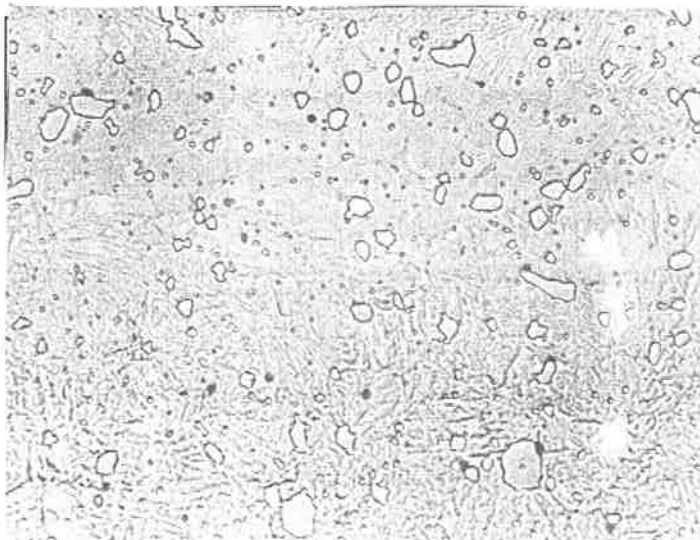
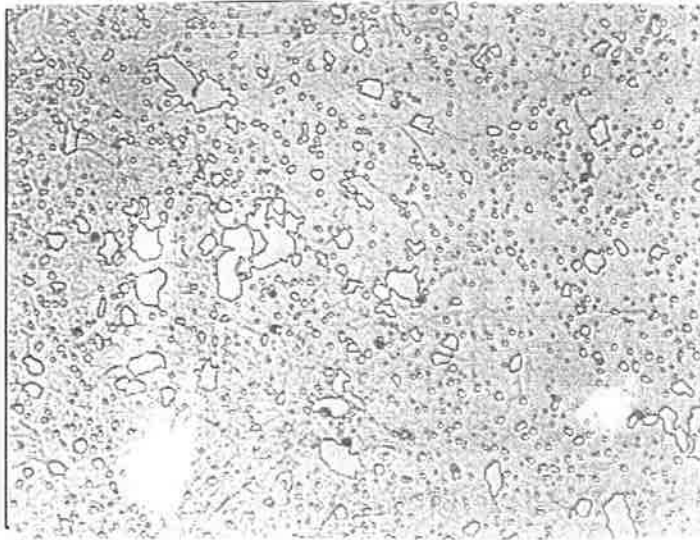


Bild Nr.:40/41/42

Probe Nr.:15/16/19/2

Vergr.: $V= 900X$

WB:Zyklus1:

siehe Tabelle 3

Zyklus2:Weichglühen

Bilder 34-36

Zyklus3:1050°C/20min/

Ö/TK/ 200° C

Härte [HRC]: 61,7/ 61,5/

62,1

SKS_(10N/2): 0,0262 / 0,0255 /

0,0271

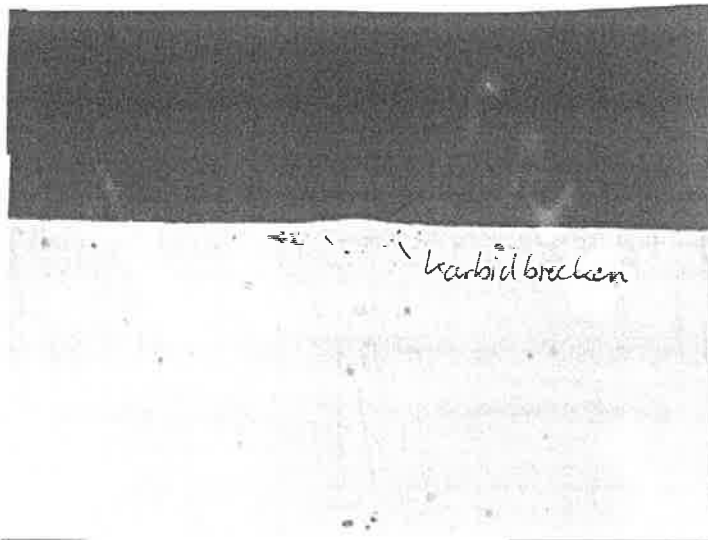


Bild Nr.:43

Probe Nr.:

Vergr.:V= 900X

- Endpolierte Schneidkante 1µm Diamant
- leicht erhabener Karbidbrocken sichtbar

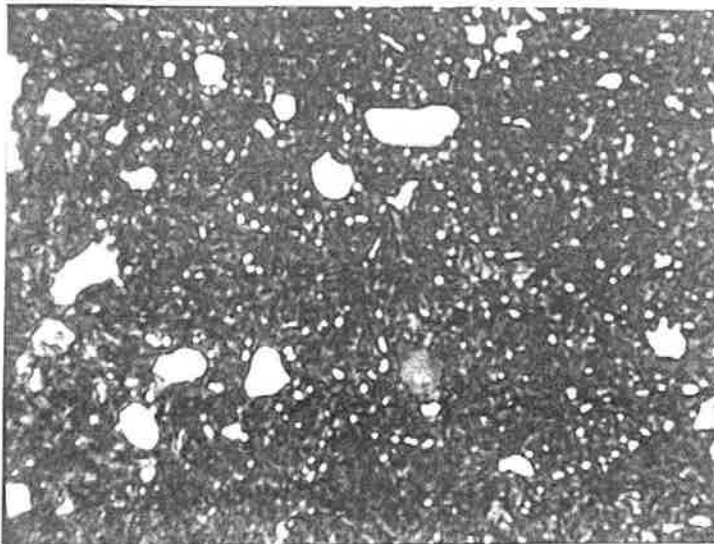


Bild Nr.:44

Probe Nr.:5

Vergr.:V=1800X

- Primärkarbide (groß/weiß) und Sekundärkarbide (klein/weiß)
- Martensit (schwarzgrau)
- Restaustenit (weiß/hellgrau)

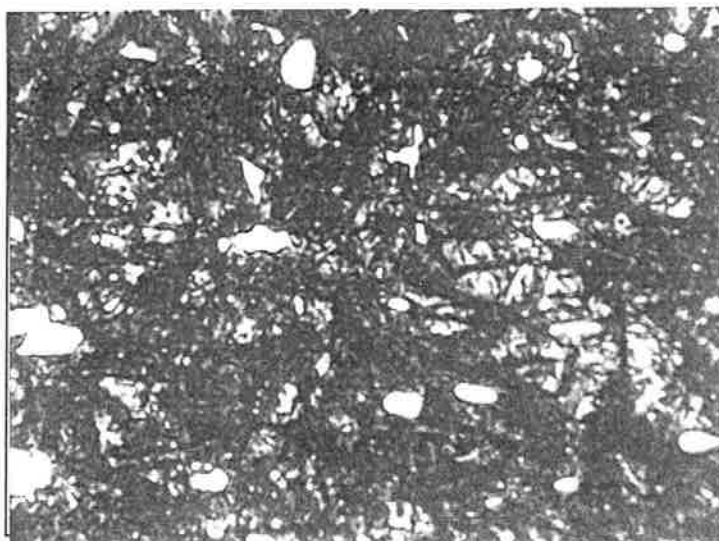


Bild Nr.:45

Probe Nr.:7

Vergr.:V= 1800X

- Primärkarbide (groß/weiß) und Sekundärkarbide (klein/weiß)
- Martensit (schwarzgrau)
- Restaustenit (weiß/hellgrau)

5.2 Grafiken

Diagramm 1
RA-Umwandlung/Härteannahme

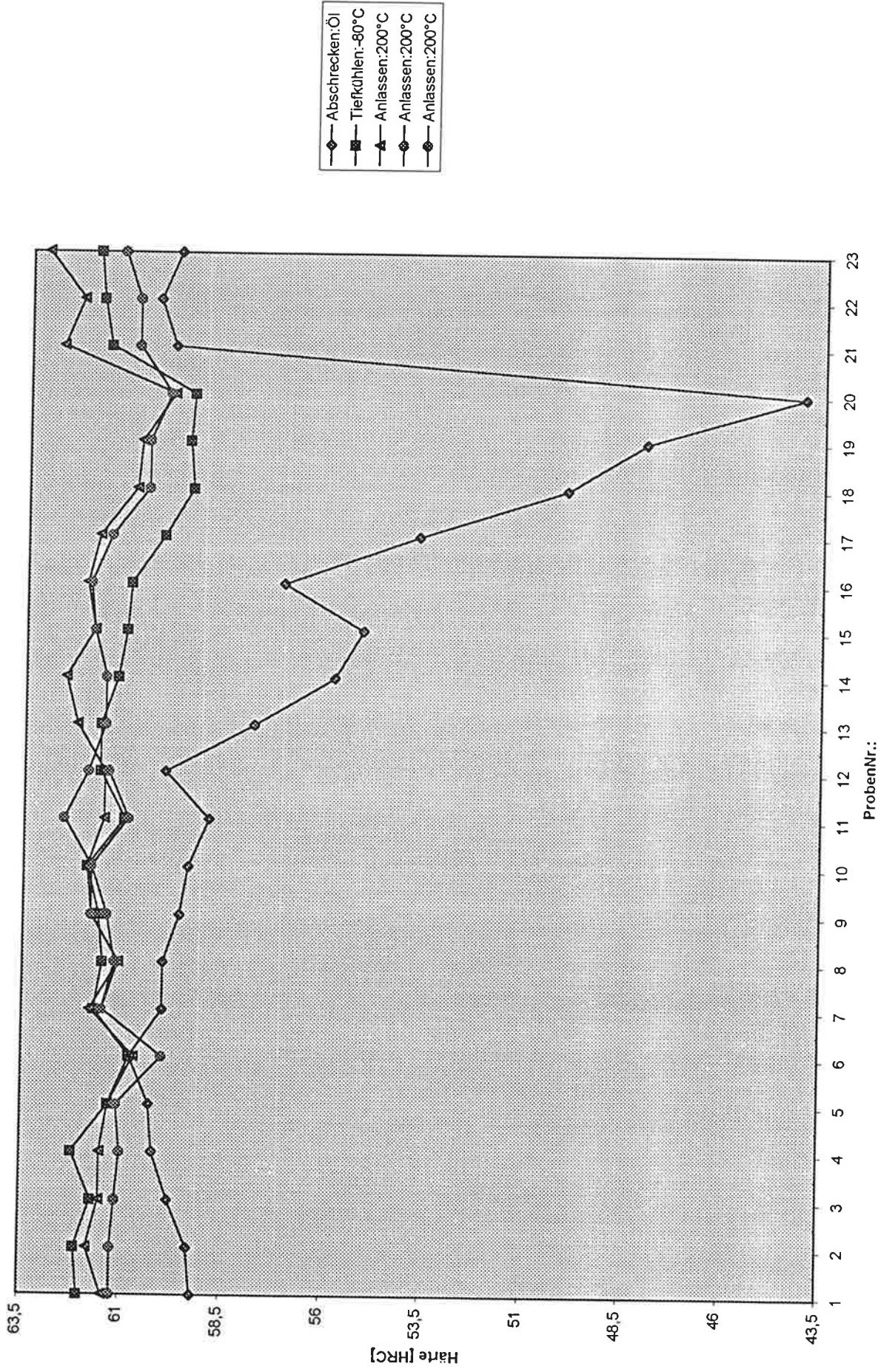


Diagramm 2

RA Umwandlung/Härteannahme

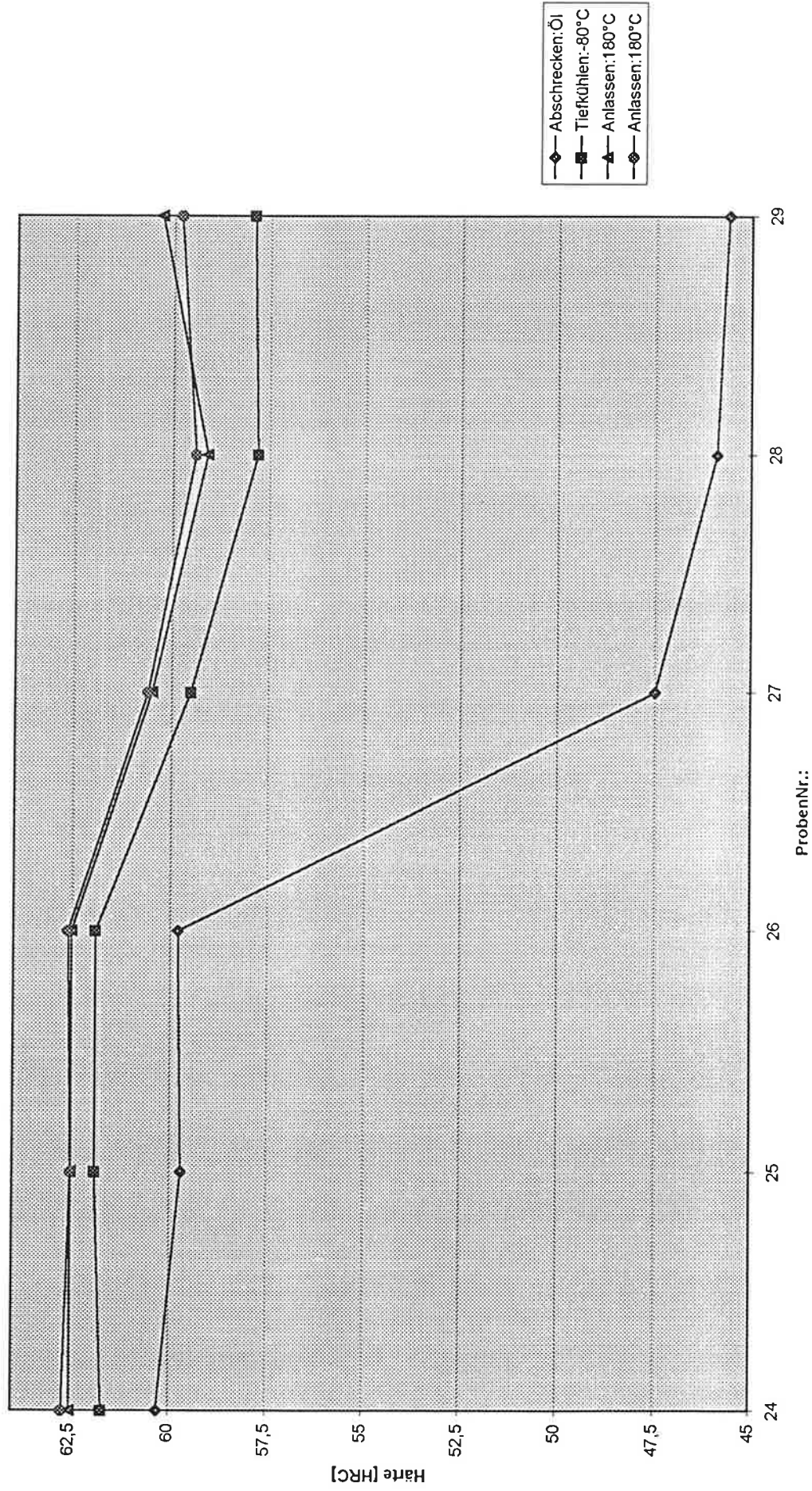


Diagramm 3

RA-Umwandlung/Härteannahme

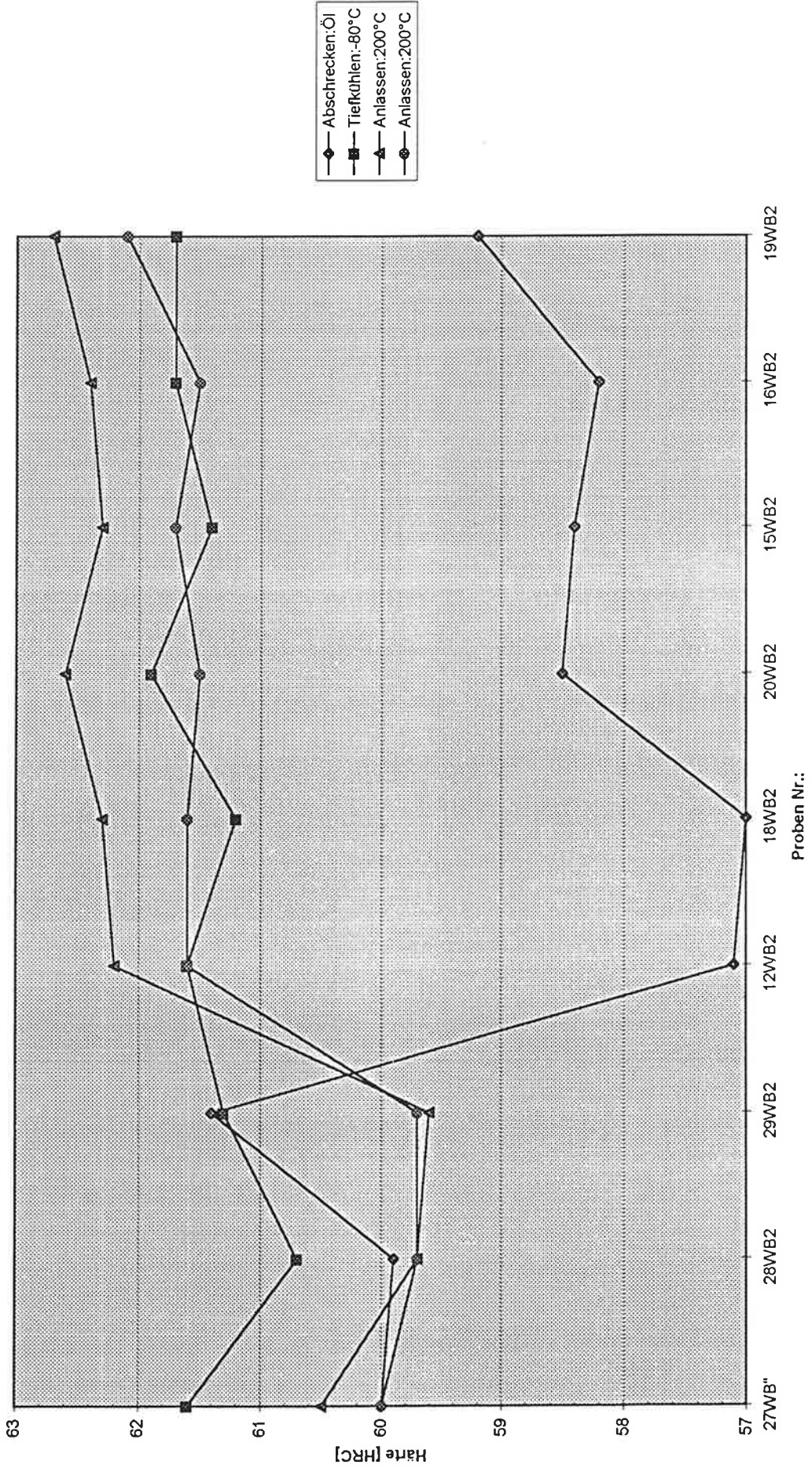


Diagramm 4

Schneidkantenstabilität von X110 CrMoV 15

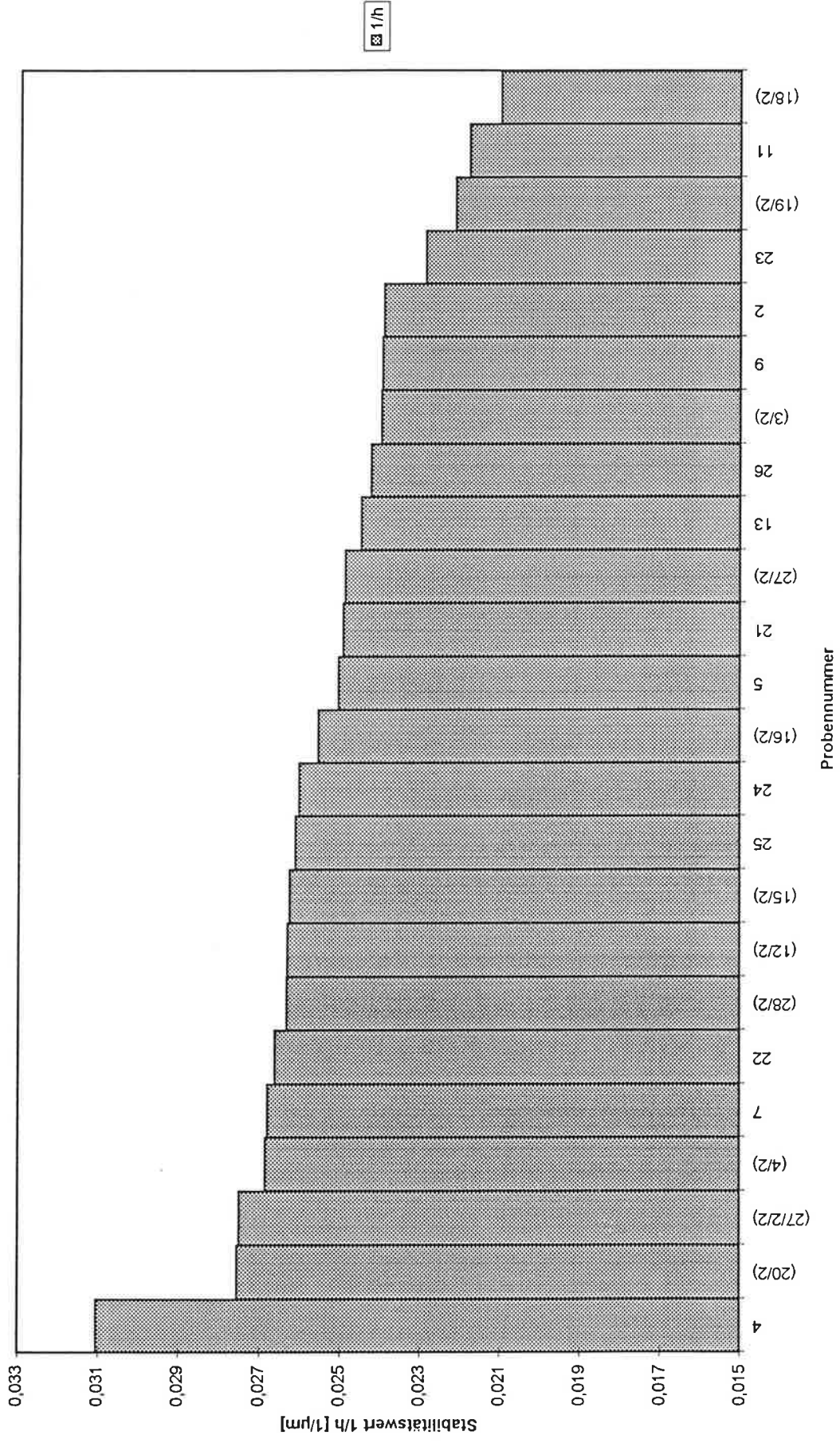
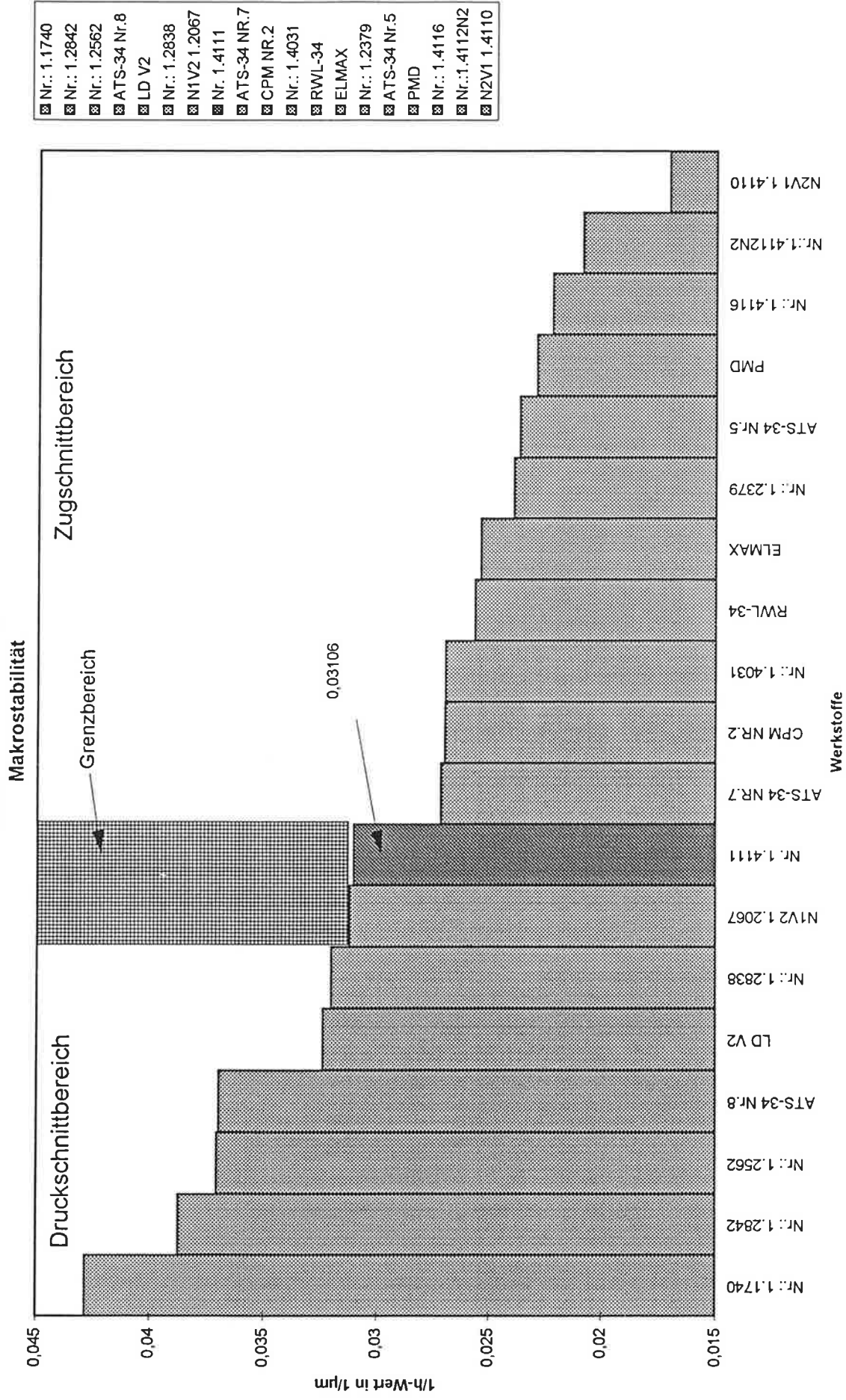


Diagramm 5



5.3 Tabellen

Tabelle 2
WB-Gesamt

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF
1. Vorwärmen:				Schutz:	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	5		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	30		1 2
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,2 59,3
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		62 62,1
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,4 61,8
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,2 61,2
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF
1. Vorwärmen:				Schutz:	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	5		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	20		3 4
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,8 60,2
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,7 62,2
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,5 61,5
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,1 61
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF
1. Vorwärmen:				Schutz:	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	5		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	10		5 6
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	60,3 60,8
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,3 60,8
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,3 60,7
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,1 60
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF
1. Vorwärmen:				Schutz:	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1060	Haltezeit:	10		7 8
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	60 60
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,7 61,5
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,8 61,1
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,5 61,1
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,5 61,2

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF
1. Vorwärmen:				Schutz:	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1060	Haltezeit:	20		9 10
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,6 59,4
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,6 61,9
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,8 61,9
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,8 61,8
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,4 61,8

Tabelle 2
WB-Gesamt

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF	
1. Vorwärmen:				Schutz:		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:	
A-temp:	1060	Haltezeit:	30		11	12
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	58,9	60
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61	61,6
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,5	61,5
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		62,5	61,9
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		60,9	61,4

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF	
1. Vorwärmen:				Schutz:		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	5		Proben Nr.:	
A-temp:	1080	Haltezeit:	10		13	14
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	57,8	55,8
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,6	61,2
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		62,2	62,5
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,5	61,5
Tiefkühlen:		Haltezeit:				

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF	
1. Vorwärmen:				Schutz:		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	5		Proben Nr.:	
A-temp:	1080	Haltezeit:	20		15	16
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	55,1	57,1
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61	60,9
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,8	62
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,8	61,9
Tiefkühlen:		Haltezeit:				

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF	
1. Vorwärmen:				Schutz:		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	5		Proben Nr.:	
A-temp:	1080	Haltezeit:	30		17	18
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	53,7	50
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		60,1	59,4
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,7	60,8
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		61,4	60,5
Tiefkühlen:		Haltezeit:				

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L/SF	
1. Vorwärmen:				Schutz:		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	6		Proben Nr.:	
A-temp:	1100	Haltezeit:	10		19	20
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	48	44
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		59,5	59,4
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		60,7	59,9
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		60,5	60
Tiefkühlen:		Haltezeit:				

Tabelle 2
WB-Gesamt

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	2		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	17,5		21
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,9
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,5
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		62,7
Anlassen:	200	Haltezeit:	60		60,8
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	20		22
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	60,3
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,7
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		62,2
Anlassen:	200	Haltezeit:	60		60,8
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	22,5		23
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,8
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,8
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		63,1
Anlassen:	200	Haltezeit:	60		61,2
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	2		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	17,5		24
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	60,3
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,7
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		62,5
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		62,7
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	20		25
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,7
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,9
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		62,5
Anlassen:	180	Haltezeit:	15		62,5
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Tabelle 2
WB-Gesamt

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1050	Haltezeit:	22,5		26
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,8
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,9
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		62,5
Anlassen:	180	Haltezeit:	15		62,6
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1100	Haltezeit:	15		27
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	47,5
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		59,5
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		60,5
Anlassen:	180	Haltezeit:	15		60,6
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1100	Haltezeit:	15		28
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	45,9
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		57,8
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		59,1
Anlassen:	180	Haltezeit:	15		59,4
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:			Proben Nr.:
A-temp:	1100	Haltezeit:			29
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	45,6
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		57,9
Anlassen:	180	Haltezeit:	30		60,3
Anlassen:	180	Haltezeit:	15		59,8
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:	WB2		
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:
A-temp:	1000	Haltezeit:	5		27WB"
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	60
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,6
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		60,5
Anlassen:	200	Haltezeit:			60
Tiefkühlen:		Haltezeit:			

Tabelle 2
WB-Gesamt

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:	WB2			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L	
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:	
A-temp:	1000	Haltezeit:	10		28WB2	
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	59,9	
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		60,7	
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		59,7	
Anlassen:	200	Haltezeit:			59,7	
Tiefkühlen:		Haltezeit:				

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:	WB2			
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L	
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF	
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:	3		Proben Nr.:	
A-temp:	1000	Haltezeit:	15		29WB2	
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	61,4	
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,3	
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		59,6	
Anlassen:	200	Haltezeit:			59,7	
Tiefkühlen:		Haltezeit:				

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:	WB2				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L		
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:			Proben Nr.:		
A-temp:	1050	Haltezeit:	15		12WB2	18WB2	20WB2
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	57,1	57	58,5
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,6	61,2	61,9
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		62,2	62,3	62,6
Anlassen:	200	Haltezeit:	60		61,6	61,6	61,5
Tiefkühlen:		Haltezeit:					

Werkstoff:	WNr.1.4111	Proben Nr.:	WB2				
	Temperatur in °C		Zeit in min	Ofenmedium	L		
1. Vorwärmen:				Schutz:	SF		
2. Vorwärmen:		Aufwärmzeit:			Proben Nr.:		
A-temp:	1050	Haltezeit:	20		15WB2	16WB2	19WB2
Abschrecken:	Öl			Härte in HRC	58,4	58,2	59,2
Tiefkühlen:	-80	Haltezeit:	20		61,4	61,7	61,7
Anlassen:	200	Haltezeit:	30		62,3	62,4	62,7
Anlassen:	200	Haltezeit:	60		61,7	61,5	62,1
Tiefkühlen:		Haltezeit:					

Schneidkantenstabilität von
X110 CrMoV 15
Tabelle 3

Probe: 1.4111 Nr.:20 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	626	648	638	639	634	641	630	630	627	626	633,9
h											51,5577522
1/h											0,01939573

Probe: 1.4111 Nr.:2 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	584	578	575	571	564	551	576	581	574	567	572,1
h											41,7853072
1/h											0,02393186

Probe: 1.4111 Nr.:4 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	498	505	508	508	503	508	507	515	496	486	503,4
h											32,1946942
1/h											0,03106102

Probe: 1.4111 Nr.:5 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	559	590	530	543	534	586	550	550	588	563	559,3
h											39,8979859
1/h											0,02506392

Probe: 1.4111 Nr.:7 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	557	555	520	520	562	525	526	570	530	546	541,1
h											37,2940753
1/h											0,02681391

Probe: 1.4111 Nr.:9 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	573	557	562	563	573	551	578	605	583	571	571,6
h											41,7107117
1/h											0,02397466

Probe: 1.4111 Nr.:11 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	600	605	600	586	600	600	614	590	605	587	598,7
h											45,8566263
1/h											0,0218071

Probe: 1.4111 Nr.:13 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	600	555	574	583	555	555	555	555	578	545	565,5
h											40,8063608
1/h											0,02450598

Probe: 1.4111 Nr.:16 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	627	606	616	603	630	612	670	640	613	609	622,6
h											49,688309
1/h											0,02012546

Schneidkantenstabilität von
X110 CrMoV 15
Tabelle 3

Probe: 1.4111 Nr.:17 VersuchNr.1 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	638	641	642	644	637	648	652	643	637	622	640,4
h											52,650033
1/h											0,01899334

Probe: 1.4111 Nr.:27/1 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	720	668	676	644	630	605	600	595	603	615	635,6
h											51,8422283
1/h											0,01928929

Probe: 1.4111 Nr.:21 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	554	556	594	555	560	516	560	551	598		560,444444
h											40,0648427
1/h											0,02495954

Probe: 1.4111 Nr.:22 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	545	545	545	545	545	520	535	555	566	528	542,9
h											37,547457
1/h											0,02663296

Probe: 1.4111 Nr.: 23 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	608	609	570	580	615	582	593	563	562	566	584,8
h											43,7038952
1/h											0,02288126

Probe: 1.4111 Nr.:24 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	580	500	549	585	568	575	554	534	540	505	549
h											38,4129005
1/h											0,02603292

Probe: 1.4111 Nr.:25 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	512	585	516	526	508	510	615	560	582	565	547,9
h											38,2560645
1/h											0,02613965

Probe: 1.4111 Nr.:26 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	512	554	550	610	580	555	575	565	592	590	568,3
h											41,2201621
1/h											0,02425997

Probe: 1.4111 Nr.:16/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	560	533	533	590	536	595	545	540	566	541	553,9
h											39,115669
1/h											0,0255652

Schneidkantenstabilität von
X110 CrMoV 15
Tabelle 3

Probe: 1.4111 Nr.:12/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	520	550	542	548	523	562	560	543	562	550	546
h											37,9859668
1/h											0,02632551

Probe: 1.4111 Nr.:20/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	549	526	534	535	535	534	519	526	564	517	533,9
h											36,2896195
1/h											0,02755609

Probe: 1.4111 Nr.:19/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	496	512	545	575	563	537	546	541	533	530	537,8
h											36,8318994
1/h											0,02715038

Probe: 1.4111 Nr.:18/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	600	636	578	613	613	609	600	627	634	586	609,6
h											47,5836205
1/h											0,02101564

Probe: 1.4111 Nr.:15/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	563	555	555	555	555	528	540	535	540	540	546,6
h											38,0711513
1/h											0,02626661

Probe: 1.4111 Nr.:28/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	500	498	550	570	549	560	567	562	553	550	545,9
h											37,9717793
1/h											0,02633535

Probe: 1.4111 Nr.:27/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	540	620	554	563	565	568	564	564	547	526	561,1
h											40,1605877
1/h											0,02490003

Probe: 1.4111 Nr.:29/2 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	487	485	505	492	492	492	489	495	498	498	493,3
h											30,8953733
1/h											0,03236731

Probe: 1.4111 Nr.:27/2 VersuchNr.2 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	532	560	538	538	518	525	515	530	543	546	534,5
h											36,3727705
1/h											0,02749309

Schneidkantenstabilität von
X110 CrMoV 15
Tabelle 3

Probe: 1.4111 Nr.:4 VersuchNr.2 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	520	535	515	560	546	526	543	555	554	552	540,6
h											37,2238526
1/h											0,02686449

Probe: 1.4111 Nr.3 VersuchNr. Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	560	550	591	578	561	540	575	591	571	595	571,2
h											41,6510865
1/h											0,02400898

Probe: 1.4111 Nr.29/2 VersuchNr.2 Last.1kg Prüfkdm.:2mm Zeit:10sek											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Mittelwert
s	565	660	590	638	605	585	780	575	620	600	621,8
h											49,5573715
1/h											0,02017863

Literatur

1. H.,Klemm,

Die Vorgänge beim Schneiden mit Messern
Freiberger Forschungshefte B12, 1957, Eisenhüttenwesen
Akademie Verlag Berlin

2. R.,Landes,

Schneidkantenstabilität von Messerschneiden
Diplomarbeit Fachhochschule München 1997
Fachbereich Fahrzeugtechnik

3. F.Rapatz

Die Edelstähle
Springerverlag, Berlin, Fünfte Auflage

4. Stahlschlüssel Taschenbuch

17 Auflage, Verlag Stahlschlüssel Wegst GmbH

5. W.Haufe

Schnellarbeitsstähle und ihre Wärmebehandlung
2.Auflage, Carl Hansa Verlag München

6. H.J.Eckstein

Technologie der Wärmebehandlung von Stahl
Auflage, VEB Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig 1987

7. W. Ossenberg & Cie GmbH

Werkstoffdatenblatt, Westfalia RFSH 1, Werkstoff Nr.: 1.4111

8. H. Stüdemann/ F. Esselborn

Untersuchungen über den Einfluß der Wärmebehandlung in Zusammenhang mit
unterschiedlicher Herstellung auf die Eigenschaften von rostbeständigen Messern.
Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 1354. Westdeutscher Verlag
Köln und Oppladen 1964

9. H. Stüdemann/ F. Esselborn

Untersuchungen über den Einfluß der Zusammensetzung und Gefügeausbildung auf das Härungsverhalten des Stahles X 40 Cr 13. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 1089. Westdeutscher Verlag Köln und Oppladen 1962

10. H. Stüdemann/ W. Mächler

Entwicklung eines Verfahrens zur Zahlenmäßigen Bestimmung der Schniedeigenschaften von Messerklingen. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 177. Westdeutscher Verlag Köln und Oppladen 1956.

11. H. Stüdemann/ R. Both/ E. Lautrerjung

Entwicklung eines Prüfgerätes zur Messung des Schneidverhaltens feiner Messerschneiden unter besonderer Berücksichtigung der Rasierklingen. Forschungsberichte des Landes Nordrhein-Westfalen, Heft 1504. Westdeutscher Verlag Köln und Oppladen 1965

12. W. Knapp

Über Schneidfähigkeit und Schneidhaltigkeit von Messerklingen. Zeitschrift für Technik und Industrie Solingen, Nr.:3, März 1928, Jahrgang 8/ Nr.:4 ,April 1928, Jahrgang 8

13. H. Stüdemann

Untersuchung verschiedener rostbeständiger Messerstähle sowie Unterschiede in wesentlichen Gebrauchseigenschaften beistählen der gleichen Stoffnummer. Dr.-Ing.-Dissertation, RWTH-Aachen, 1987