

PRÄPARATIONSHILFE

STAHL

EINFÜHRUNG

Was wir «Stahl» nennen, ist eine Metallegierung zwischen den Elementen Eisen und Kohlenstoff. Der Kohlenstoffgehalt von Stahl variiert zwischen 0,008 - 2,11 Massen-%; darunter wird es einfach als «Eisen» bezeichnet, darüber wird die Legierung als «Gusseisen» bezeichnet.

EISEN

Symbol: Fe
Ordnungszahl: 26
Dichte: 7.8
Molare Masse: 55.8 g.mol⁻¹
Schmelzpunkt: 1538 °C

KOHLENSTOFF

Symbol: C
Ordnungszahl: 6
Dichte: 2.1-2.3 (Grafit)
Molare Masse: 12 g.mol⁻¹

STAHL

Es ist hauptsächlich dieser Kohlenstoffgehalt, der dem Stahl seine berühmten Eigenschaften wie Beständigkeit gegen plastische Verformung, Bruchfestigkeit, Elastizität und natürlich Härte verleiht. Dem Stahl können auch Zusätze zugegeben werden, sogenannte «Legierungselemente», um die Eigenschaften zu beeinflussen. Diese, daraus folgenden Legierungen, werden als «Stahlsorten» bezeichnet.

Stahl weist jedoch eine Reihe von Nachteilen auf, darunter eine geringe Korrosionsbeständigkeit und seine schlechte Formbarkeit - diese Nachteile können durch Oberflächenbehandlungen (Lackieren, Galvanisieren, Verzinken usw.) oder durch Verwendung von Legierungselementen, welche den Stahl „rostträge“ machen, behoben werden. In der Regel wird reiner Stahl daher nicht so häufig verwendet.

Die recht großen Erzvorkommen und die Leichtigkeit, mit der es bearbeitet werden kann, haben «einfachen» Stahl kostengünstig gemacht. Zusammen mit seinen Eigenschaften macht dies Stahl zum bevorzugten metallischen Material in den meisten technischen Bereichen: Transport, Bauwesen, chemische Industrie, Nuklearindustrie, Militär, alltägliche Anwendungen, medizinische Industrie usw...



STAHLHERSTELLUNG

Die Eisen- und Stahlbranche ist der Industriesektor der Metallurgie, die Eisenlegierungen verarbeiten. Die Herstellung von Stahl umfasst mehrere Verfahren (Hochofen oder Verschrottung), in denen immer drei grundlegende Vorgänge hervorgehoben werden:

• **ENTWICKLUNG**

zur Herstellung der gewünschten Stahlsorte. Die Stahlherstellung selbst besteht aus zwei Schritten: Der erste besteht darin, Roheisen zu erhalten, und der zweite darin, dieses Roheisen zu raffinieren, um die gewünschte Zusammensetzung und Qualität zu erreichen.

• **GIESSEN VON STAHL IN FLÜSSIGEM ZUSTAND**

mit anschließenden Verfestigen des Metalls.

• **FORMEN** (außer beim Gießen)

das durch außer- oder Kaltwalzen erfolgt und zur Herstellung von Flachprodukten (Stahlblech) oder Langprodukten (Stangen, Drähte usw.) führt.

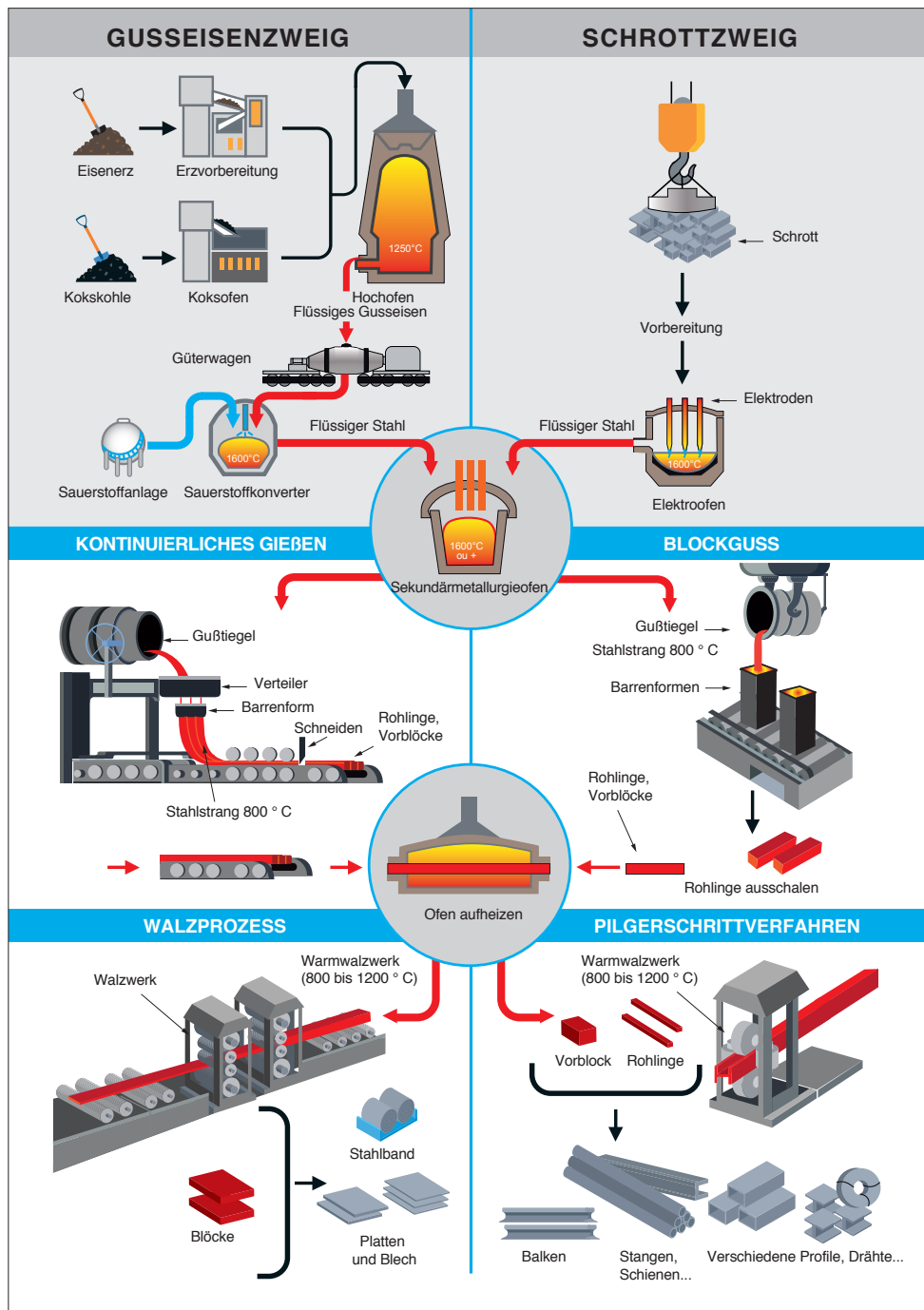


Abb. 1: Stahlproduktion

STAHLKLASSIFIZIERUNG

Stähle sind in drei Kategorien unterteilt:

• UNLEGIERTE STÄHLE

mit einem sehr geringen Gehalt an Legierungszusätzen, die für den allgemeinen Gebrauch oder zur Wärmebehandlung, zum Schweißen, Schmieden usw. bestimmt sind.

• ROSTFREIE STÄHLE

mit mindestens 10,5 Massen-% Chrom und höchstens 1,2% Kohlenstoff, die gegen Korrosion und Kriechen beständig sind.

• LEGIERTE STÄHLE (nicht rostfrei)

mit einem höheren oder niedrigeren Legierungszusatz zum Härten und Anlassen sowie für Werkzeugstähle.

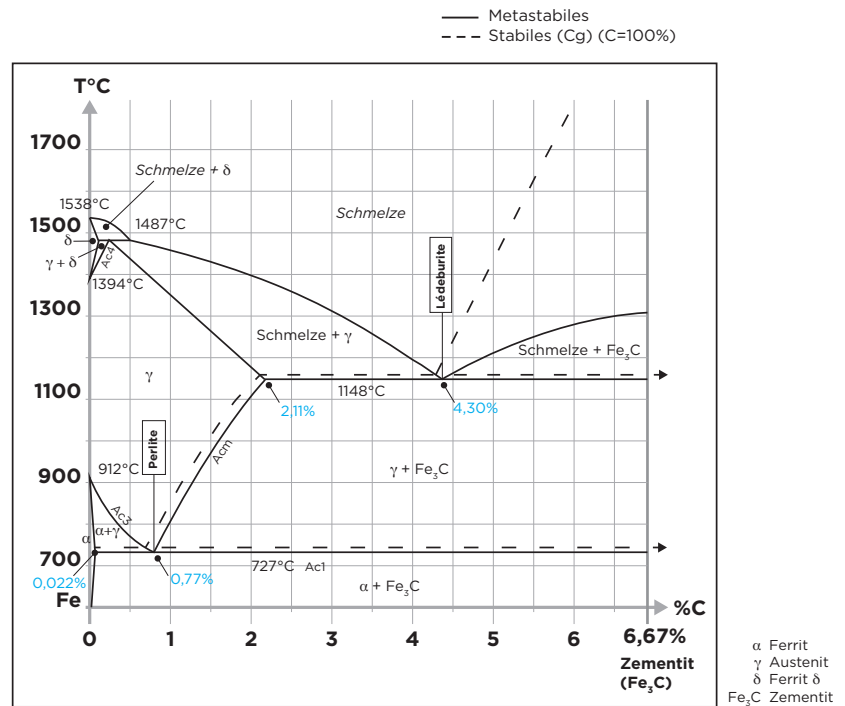


Abb. 2: Metastabiles (durchgezogene Linie) und Stabiles (gestrichelte Linie) Eisen-Kohlenstoffdiagramm

Innerhalb dieser drei Hauptkategorien gibt es mehrere Unterscheidungen, die selbst aus einer Vielzahl unterschiedlicher Stahlsorten bestehen. Jede dieser Linien kennzeichnet eine «thermomechanische» Umwandlung, welche möglicherweise

durchlaufen wurde, diese wird als metallurgischer Zustand bezeichnet. Der Zweck dieser Umwandlungen besteht darin, die Mikrostruktur des Stahls zu modifizieren und folglich seine mechanischen Eigenschaften zu verändern.

=> Zusammenfassend hängen die Eigenschaften von Stählen von ihrer chemischen Zusammensetzung und ihrer metallurgischen Matrix ab. **Abhängig von all diesen Eigenschaften kann die stahlmetallografische Präparation angepasst werden.**

METALLOGRAPHISCHE PRÄPARATION

Um eine hervorragende Inspektionsfläche zu erhalten, sind verschiedene Schritte im Präparationsvorgang erforderlich, von denen jeder, unabhängig vom Material, genauso wichtig ist, wie der nächste. Diese Schritte haben folgende Reihenfolge:

- Das Aufschneiden des zu untersuchenden Produkts (falls erforderlich), genannt «TRENNEN».
- Standardisierung der Geometrie der entnommenen Probe (falls erforderlich), genannt «EINBETTEN».
- Verbesserung des Oberflächenzustands dieser Probe, genannt «SCHLEIFEN & POLIEREN».
- Charakterisierung der Probe: Sichtbarmachung der Mikrostruktur der Probe durch ein Ätzreagenz (falls erforderlich) namens «ÄTZEN» und mikroskopische Untersuchungen (optisch oder elektronisch).

=> Jeder dieser Schritte muss sorgfältig ausgeführt werden, da sonst die nachfolgenden Schritte nicht ordnungsgemäß erfolgen können.

Für ihre metallografische Präparation können Stähle entsprechend ihrer Härte in drei Kategorien eingeteilt werden:

- Stähle, die als «weich» oder «unbehandelt» bezeichnet werden.
- Die sogenannten «mittelharten» oder «oberflächenbehandelten» Stähle.
- Die sogenannten «harten» oder «behandelten» Stähle.

TRENNEN

Der Zweck des Trennens besteht darin, einen genauen Abschnitt eines Produkts zu entfernen, um eine geeignete Oberfläche für die Inspektion frei zu legen, ohne die physikalisch-chemischen Eigenschaften des Metalls zu verändern. Mit anderen Worten ist es wichtig, eine Erwärmung oder Verformung des Metalls zu vermeiden, die zu einer Gefügeveränderung oder einer Kaltverfestigung führen könnte. Das Trennen ist ein grundlegender Schritt, der die weitere Präparation und Inspektion von Teilen voraussetzt.

Das breite Angebot von PRESI an Trenn- und Präzisionstrennmaschinen mit mittlerer und großer Trenn-Kapazität, kann an alle Anforderungen hinsichtlich Schnittgenauigkeit, Dimensionierung oder Menge der zu trennenden Produkte, angepasst werden:



Abb. 3: MECATOME T202



Abb. 4: MECATOME T330



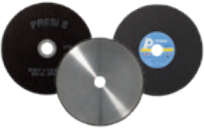
Abb. 5: EVO 400

Jede der Trennmaschinen im Sortiment ist mit den entsprechenden Verbrauchsmaterialien und Zubehörteilen ausgestattet. Die Spannsysteme und die Auswahl dieser Verbrauchsmaterialien sind immer ein wesentliches Element für den Erfolg eines metallografischen Schnitts.

=> Das Spannen, d. h. das Fixieren des Werkstücks, ist ebenfalls wesentlich. Wenn das Werkstück nicht gut geklemmt wird, kann der Trennschnitt Risiken für das Verbrauchsmaterial, das Werkstück und die Maschine darstellen.

VERBRAUCHSMATERIAL

Alle Trennmaschinen werden mit einer Schmier- / Kühlflüssigkeit verwendet, die eine Mischung aus Wasser und Rostschutzadditiv ist, um einen sauberen Schnitt ohne Überhitzung zu erzielen. Das Additiv schützt auch die Probe und die Maschine vor Korrosion.



	«Weiche» STÄHLE	«Mittel-Harte» STÄHLE	«Harte» STÄHLE
Präzisionstrennen	UTW S Ø180 AOF II	UTW S Ø180 AO AOF II	UTW S Ø180 CBN
Trennen von mittel- großen Proben	A AOF II	A AOF II	S CBN
Trennen von großen Proben	A	AO	S CBN

Tabelle 1: Auswahl der richtigen Trennscheibe

=> Die Wahl der Trennscheibe ist entscheidend, um einen übermäßigen Verschleiß oder sogar den Bruch der Trennscheibe zu vermeiden. Die Härte des Werkstücks bestimmt die Trennscheibenauswahl.

EINBETTEN

Proben können aufgrund ihrer komplexen Form, Zerbrechlichkeit oder geringen Größe schwierig zu handhaben sein. Durch die Einbettung sind sie einfacher zu handhaben, indem ihre Geometrie und Abmessungen standardisiert werden.

=> Das Erreichen einer qualitativ hochwertigen Einbettung ist wichtig, um zerbrechliche Materialien zu schützen und gute Präparationsergebnisse für das Polieren und zukünftige Analysen zu erzielen.

Vor der Einbettung sollte die Probe gesäubert werden, um beispielsweise Schneidgrate zu entfernen. Eine Reinigung mit Ethanol und in einem Ultraschallbad ist ebenfalls möglich. Dies ermöglicht es dem Harz, so gut wie möglich an der Probe zu haften und reduziert somit die Schrumpfung (Raum zwischen dem Harz und der Probe).

Wenn der Schrumpf zu groß ist, kann dies zu Problemen beim Schleifen und Polieren führen. Schleifkörner können sich in diesem Raum festsetzen und zu einem späteren Zeitpunkt freigesetzt werden, wodurch die Gefahr der Entstehung von Kratzern auf der Probe und der Polierfläche besteht. In diesem Fall wird empfohlen, zwischen den einzelnen Schritten, die Probe in ein Ultraschallgerät zu legen.

Es gibt zwei Einbettmöglichkeiten:

- **DIE WARMEINBETTUNG** wird bevorzugt verwendet für Kanteninspektionszwecke oder nach der metallografischen Präparation zur Vorbereitung für eine Härteprüfung. **Diese Option erfordert eine Warmeinbettmaschine/ -presse.**



Abb. 6: MECAPRESS 3

Die für die Warmeinbettung erforderliche Maschine ist die Mecapress 3:

- Vollautomatische Warmeinbettpresse.
- Einfach zu bedienen.
- Ihr Speicher, Ihre Prozessanpassung und ihre Ausführungsgeschwindigkeit machen Sie zu einer hochpräzisen Maschine.
- Die Warmeinbettmaschine hat 6 verschiedene Formdurchmesser von 25.4-50 mm.

PLUSPUNKT

Einer der Hauptvorteile dieses Verfahrens besteht darin, dass es perfekt parallele Flächen bietet.

- **KALTEINBETTUNG** ist zu bevorzugen:
- Wenn die zu untersuchenden Teile zerbrechlich / druckempfindlich sind
- Wenn sie eine komplexe Geometrie haben, z. B. eine Wabenstruktur.
- Wenn eine große Anzahl von Teilen in Serie eingebettet werden soll.

Das Kalteinbettverfahren kann angewendet werden mit:



Abbildung 7: Druckmontagevorrichtung

PLUSPUNKT

Verbessert die Qualität erheblich, insbesondere durch Reduzierung des Schrumpfs, Optimierung der Transparenz und Erleichterung der Einbettimprägnierung.



PLUSPUNKT


Maschine zur Vakuumimprägnierung poröser Materialien mit einem Epoxidharz.

Abbildung 8: Vakuummontagevorrichtung:
POLY'VAC

Kalteinbettmittel bieten aufgrund der Kapillarwirkung des flüssigen Harzes nicht immer eine plane Fläche auf der Rückseite. Vor dem ersten Schleifschritt wird diese konkave Oberfläche (Meniskus) durch einen kurzen Schleifschritt mit Schleifpapier entfernt. Wichtig ist, dass bei diesem Vorgang die beiden Seiten der Einbettung parallel sind.

VERBRAUCHSMATERIAL

Um den Anforderungen der Benutzer gerecht zu werden, bietet PRESI eine ganze Reihe von Kalteinbettformen an. Das Kalteinbettverfahren hat verschiedene Einbettformen mit diversen Durchmessern von Ø 20 - 50 mm. Diese sind in verschiedene Typen unterteilt: transparente Formen mit der Bezeichnung «KM2.0», Silikon-, Teflon- oder Polyethylenformen. Die Kalteinbettung ist auch flexibler als die Warmeinbettung, weil es unterschiedliche Einbettformen für spezifische Anforderungen gibt.



	«Weiche» STÄHLE	«Mittel-Harte» STÄHLE	«Harte» STÄHLE
Warmeinbettprozess	Phenol Acryl Allyl	Epoxid Phenol Acryl Allyl	Epoxid Phenol Acryl Allyl
Kalteinbettprozess	KM-U KM-B MA ²⁺ 2S*	KM-U KM-B IP 2S*	KM-U KM-B IP 2S*

Tabelle 2: Auswahl des richtigen Einbettmittels

* Geeignet für sehr große Serien

SCHLEIFEN UND POLIEREN

Die letzte und entscheidende Phase in der Probenpräparation ist das Schleifen und Polieren. Das Prinzip ist einfach, jeder Schritt verwendet ein feineres Schleifmittel als der vorherige. Ziel ist es, eine plane Oberfläche zu erhalten ohne Kratzer und ohne Artefakte, die die Durchführung metallographischer Kontrolluntersuchungen, wie mikroskopische Analysen, Härteprüfungen, Mikrostruktur- oder Messungen, beeinträchtigen würden.

PRESI bietet eine breite Palette an manuellen und automatischen Schleif- und Poliermaschinen mit einer großen Auswahl an Zubehör für alle Anforderungen an, vom Vorpolieren bis zum Superfinish und Polieren von Einzel- oder Serienproben.



Abb. 9: CUBE 250

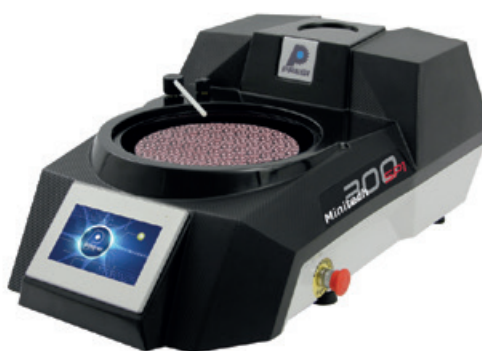


Abb. 10: MINITECH 300 SPI



Abb. 11: MECATECH 300 SPC



Abb. 12: MECATECH 250 DPC

Die MINITECH-Reihe von manuellen Schleif- und Poliermaschinen umfasst die fortschrittlichsten Technologien. Sie sind benutzerfreundlich, zuverlässig und robust und bieten eine einfache Antwort auf alle Anforderungen.

Die MECATECH-Reihe von automatischen Schleif- und Poliermaschinen ermöglicht es sowohl manuell als auch automatisch zu Schleifen und zu Polieren. Mit seinen fortschrittlichen Technologien und einer Motorleistung von 750 bis 1500 W konzentriert sich die gesamte Erfahrung von PRESI auf dieses sehr vollständiges Sortiment. Unabhängig von Probenanzahl oder -größe garantiert die MECATECH ein optimales Schleif- oder Polierergebnis.

VERBRAUCHSMATERIAL UND POLIERANLEITUNGEN

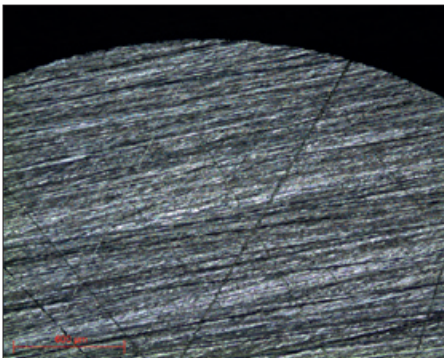
Alle folgenden Schleif- und Polierprozesse sind für die automatische Probenpräparation angegeben (für das manuelle Schleifen und Polieren: Berücksichtigen Sie nicht die Kopf-Parameter). Die Präparationsprozesse dienen zur Information und Beratung.

Alle ersten Schritte jeder Schleif- und Polieranleitung werden als «Nivellieren» bezeichnet und bestehen darin, Material schnell zu entfernen, um eine plane Oberfläche der Probe (und des Einbettmittels) zu erhalten. Die unten angegebenen Parameter sind standardisiert und können daher nach Bedarf geändert werden.

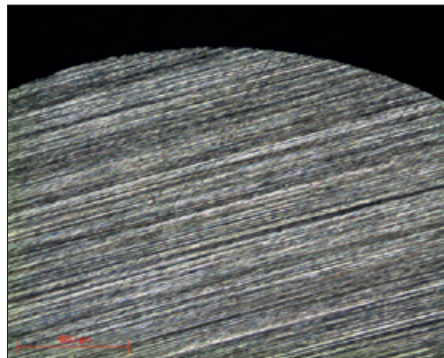
Der Probenandruck variiert je nach Probengröße, im Allgemeinen gilt jedoch Folgendes: 1 daN pro 10 mm Einbettdurchmesser für die Schleifschritte (z. B. Ø 40 mm = 4 daN), dann die Kraft bei jedem Polierschritt mit einer Schleifsuspension um 0,5 daN reduzieren.

POLIERPROZESS N°1

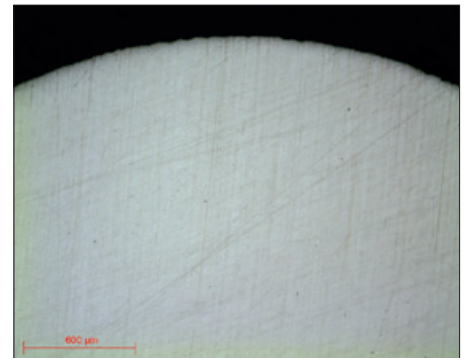
N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	SiC P320	Ø / Wasser	300	150	→ →	1'
2	SiC P1200	Ø / Wasser	300	150	→ →	1'
3	RAM	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al ₂ O ₃ N°3 / Wasser	150	100	→ ←	1'



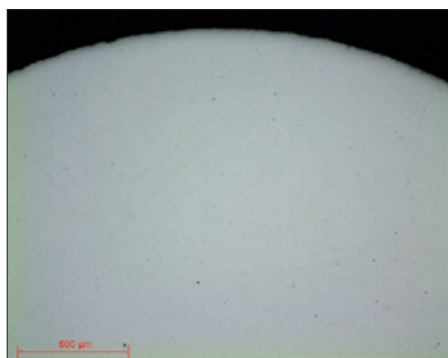
Mikroskopische Aufnahme 1:
Oberflächenzustand P320 - Objektiv x5



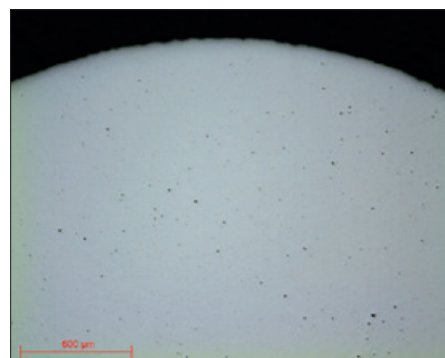
Mikroskopische Aufnahme 2:
Oberflächenzustand P1200 - Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 3:
Oberflächenzustand RAM 3µm - Objektiv x5



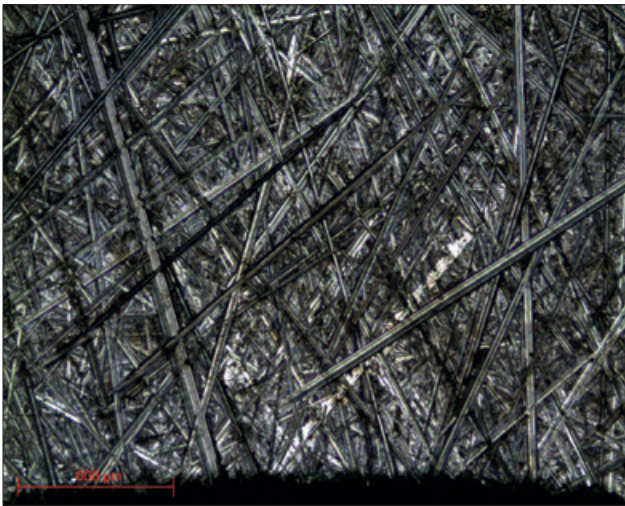
Mikroskopische Aufnahme 4:
Oberflächenzustand NT 1µm - Objektiv x5



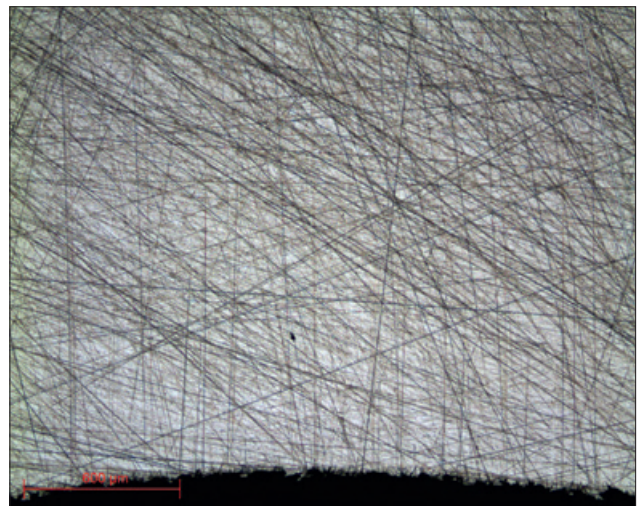
Mikroskopische Aufnahme 5:
Oberflächenzustand Al₂O₃ N° 3 - Objektiv x5

POLIERPROZESS N°2

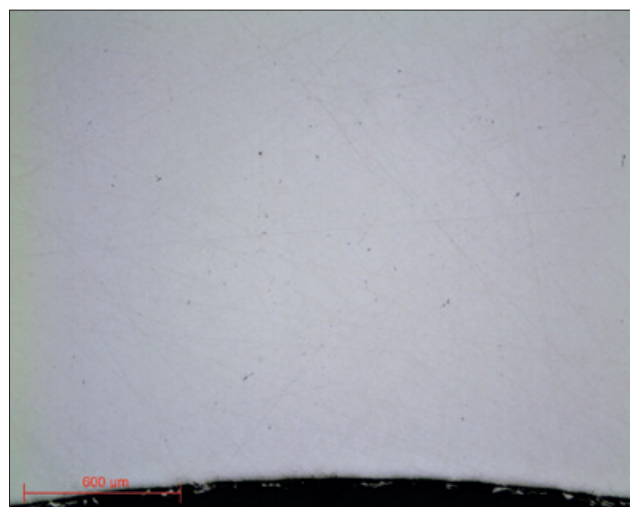
N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	SiC P180	Ø / Wasser	300	150	→	1'
2	MED R	9µm Super Abrasive / Ø	150	135	→	3'
3	ADR II	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→	3'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→	1'
5	NT	Al ₂ O ₃ N°3 / Wasser	150	100	←	1'



Mikroskopische Aufnahme 6:
Oberflächenzustand P80 - Objektiv x5



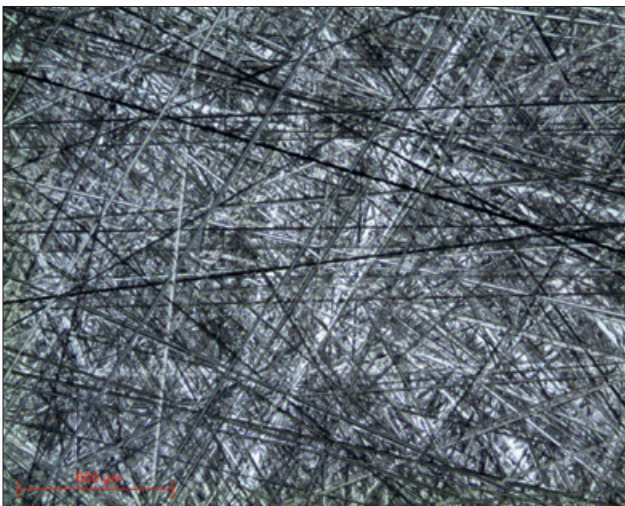
Mikroskopische Aufnahme 7:
Oberflächenzustand I MED R 9µm - Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 8:
Oberflächenzustand ADR II 3µm - Objektiv x5

POLIERPROZESS N°3

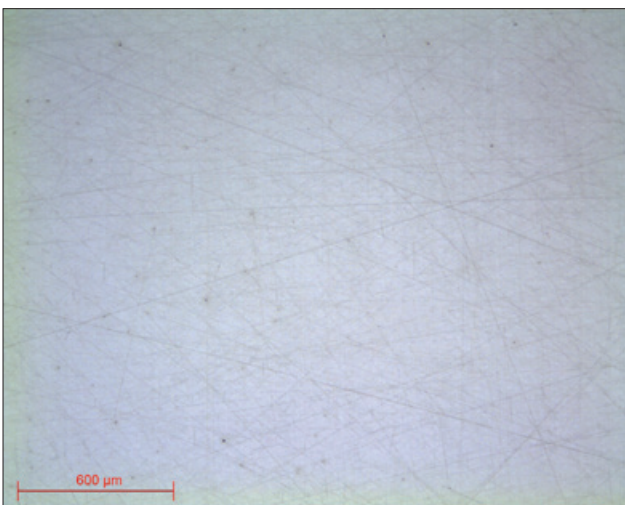
N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	I-Max R 54µm	Ø / Wasser	300	150	→ →	3'
2	I-Max R 18µm	Ø / Wasser	300	150	→ →	3'
3	ADR II	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	4'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al ₂ O ₃ N°3 / Wasser	150	100	→ ←	1'



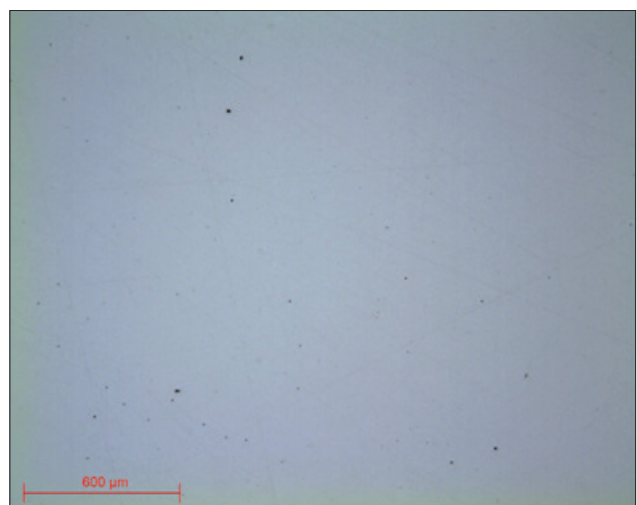
Mikroskopische Aufnahme 9:
Oberflächenzustand I-Max R 54µm - Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 10:
Oberflächenzustand I-Max R 18µm - Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 11:
Oberflächenzustand ADR II 3µm - Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 12:
Oberflächenzustand NT 1µm - Objektiv x5



	POLIERPROZESS N°1	POLIERPROZESS N°2	POLIERPROZESS N°3
Stahl	Alle	Alle	"Mittel-Hart" "Hart"
Vorteile	Flexibel	Schnelle, reduzierte Anzahl von Schritten	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Lebensdauer der Verbrauchsmaterialien • Optimiert für große Serien • Hervorragende Planheit

Tabelle Nr. 3: Wahl des Polierprozesses



In dem speziellen Fall, in dem die zu polierende Stahlsorte sehr korrosionsempfindlich ist, können die Polierprozesse angepasst werden. Ersetzen Sie dazu einfach die Diamantsuspensionen und das wässrige Schmiermittel durch Suspensionen und Schmiermittel auf Alkoholbasis (ADS-Suspension und Schmiermittel).

In einigen Fällen und insbesondere zur Herstellung von «hartem Stahl» kann ein Phänomen des «Kantenabfalls» beobachtet werden, d. h. die Kanten der Probe sind abgerundet. In diesen Fällen wird empfohlen, geeignete Verbrauchsmaterialien wie I-Max R-Scheiben zu verwenden. Sie sind steifer und liefern eine hervorragende Planheit.

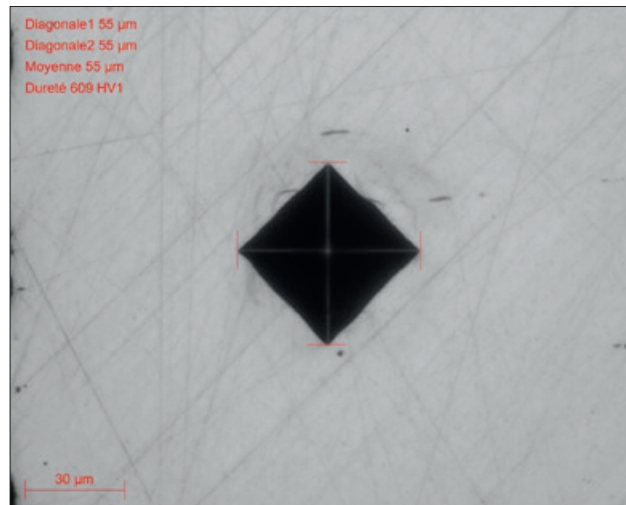
=> Die oben angegebenen Polierprozesse sind vollständig, müssen jedoch abhängig von den durchzuführenden metallografischen Untersuchungen nicht unbedingt vollständig durchgeführt werden.

DAS METALLOGRAPHISCHE ÄTZEN

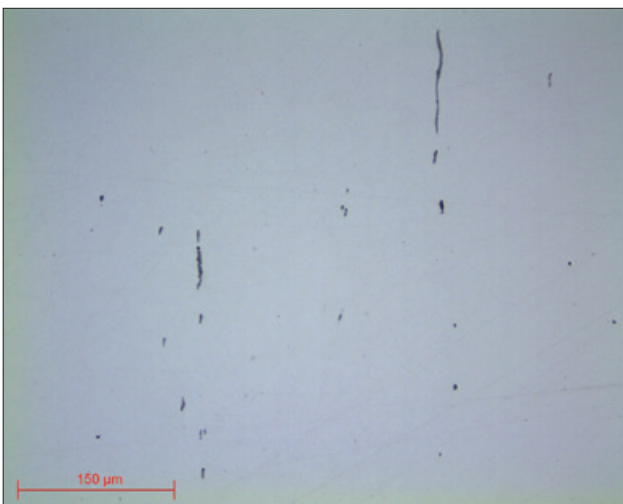
Am Ende dieser Präparation können die polierten Proben ohne metallografisches Ätzen direkt inspiziert werden. Das metallographische Ätzen wird üblicherweise unter Verwendung des Reagens Nital 4 durchgeführt: einer Lösung aus 4% Salpetersäure und 96% Ethanol. Es kann auch mit einem Picral-Reagenz durchgeführt werden: 4 mg Pikrinsäure und 100 ml Ethanol. Das Ätzen erzeugt Unterschiede im Relief und / oder in der Farbe zwischen den verschiedenen Bestandteilen und ermöglicht deren Inspektion.

MIKROSKOPIE

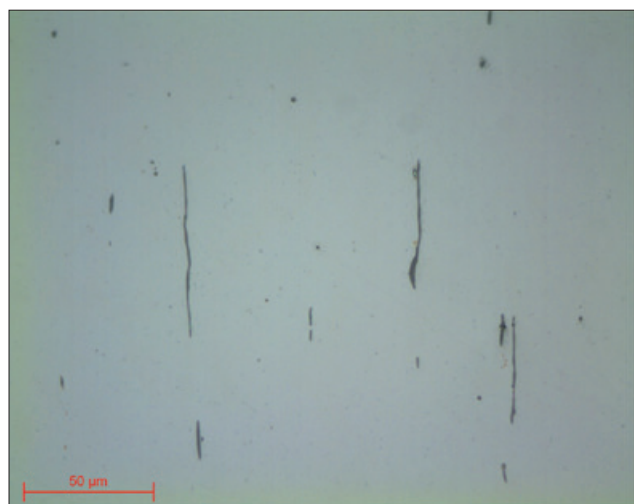
Alle vorgestellten mikroskopischen Aufnahmen wurden mit der *PRESI VIEW*-Software erstellt:



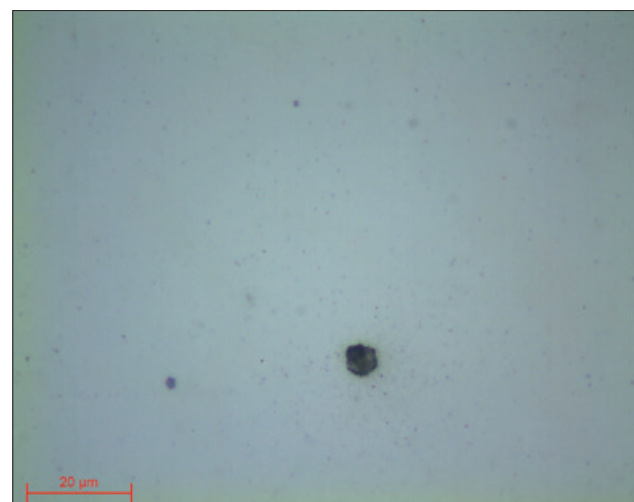
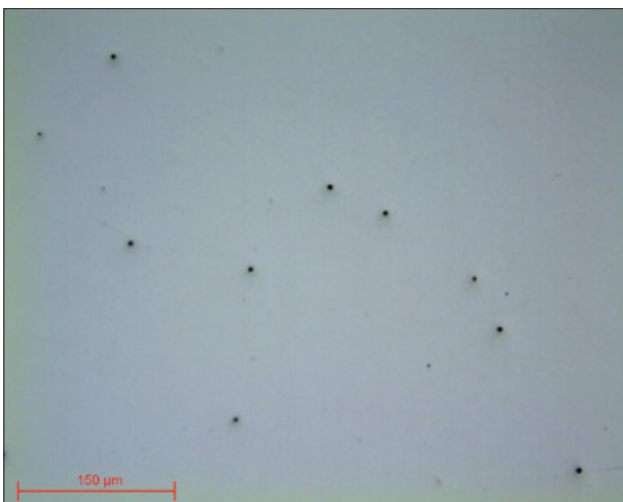
Mikroskopische Aufnahme 13: Polierter behandelter Stahl bis zu 3µm, ideal für Härteprüfung - Objektiv x20



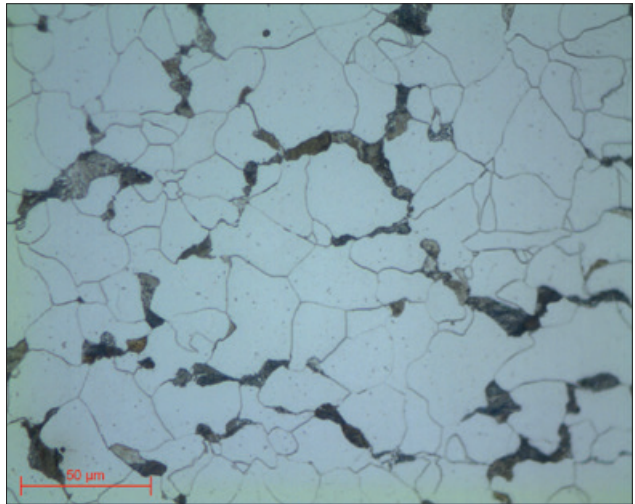
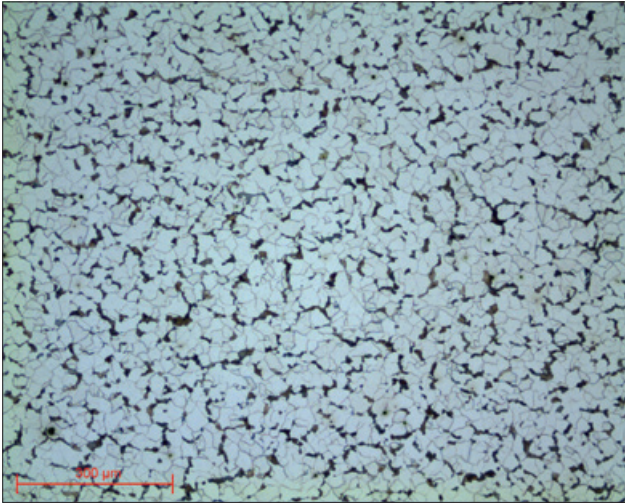
Mikrophotographie 14: Kohlenstoffarmer Stahl auf 1µm poliert Beobachtung von Einschlüssen vom Typ Sulfid und Silikat - Objektiv x20



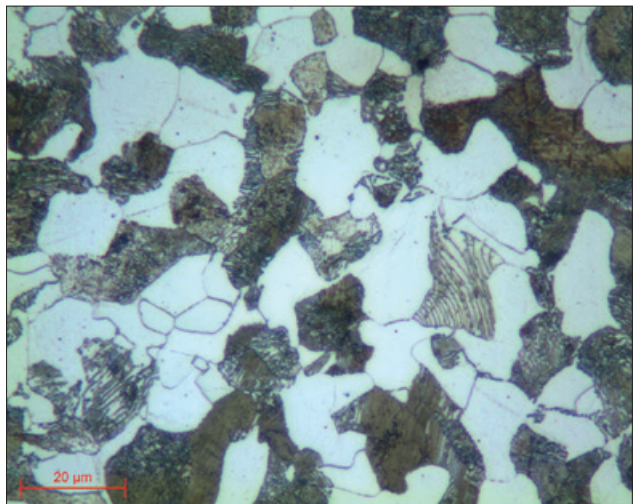
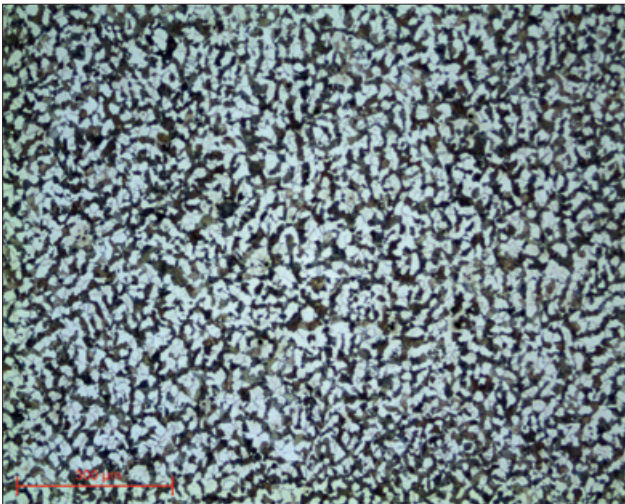
Mikroskopische Aufnahme 15: Kohlenstoffarmer Stahl, poliert auf Al₂O₃ N°3 Beobachtung von Einschlüssen vom Typ Sulfid und Silikat - Objektiv x50



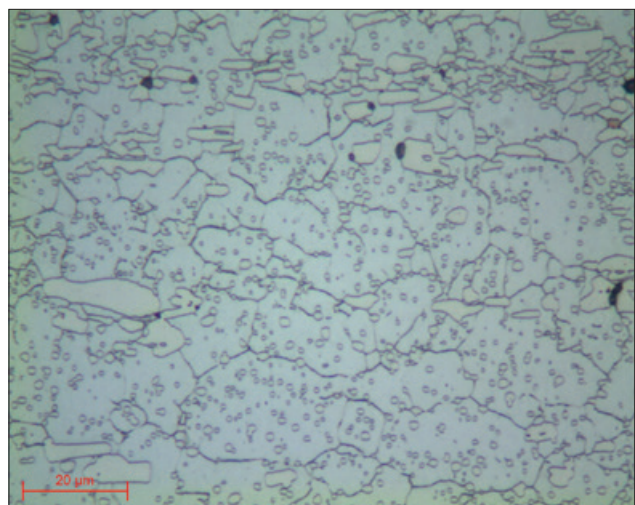
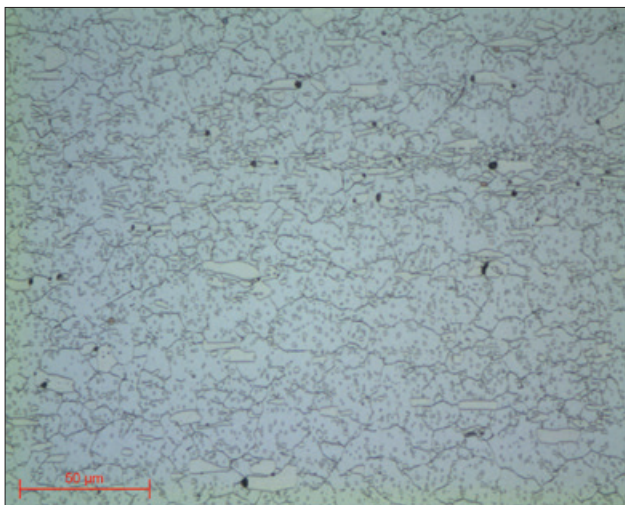
Mikrophotographien 16 und 17:
Kohlenstoffarmer Stahl, poliert auf Al₂O₃ N°3
Beobachtung von Einschlüssen - Objektiv x20 und x100



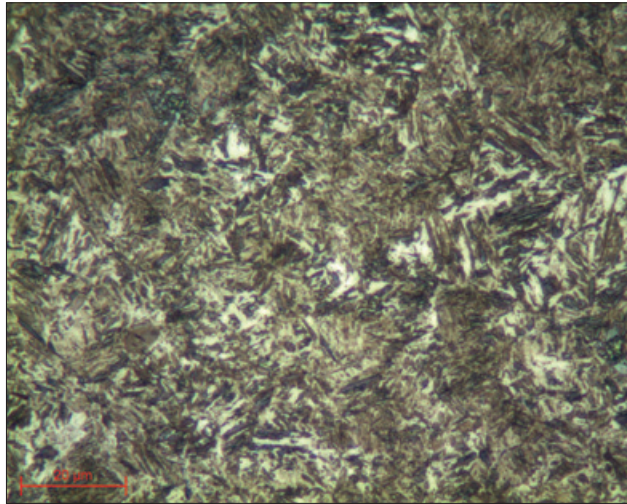
Mikroskopische Aufnahmen 18 und 19:
Hypoeutektoider Stahl - Ferrit und Perlit, geätzt mit NITAL 4 - Objektiv x10 und x50



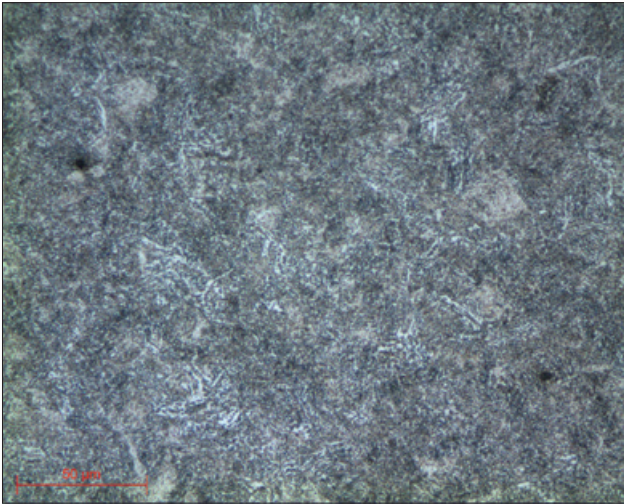
Mikroskopische Aufnahmen 20 und 21:
Hypoeutektoider Stahl - Ferrit und Perlit, geätzt mit NITAL 4 - Objektiv x10 und x100



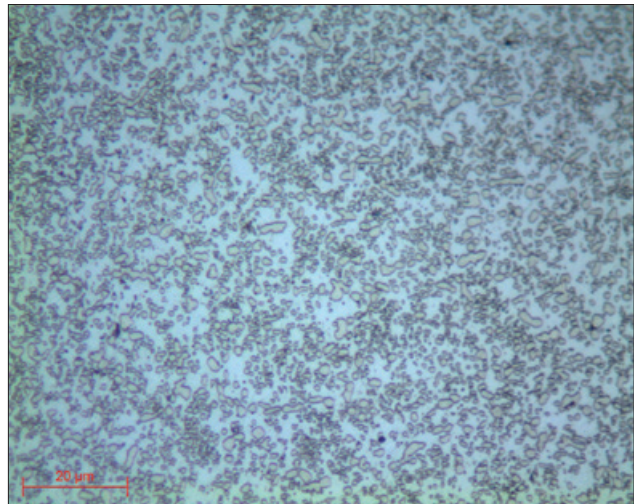
Mikroskopische Aufnahmen 22 und 23:
Hypoeutektoider Stahl - Globularer Perlit, geätzt mit NITAL 4 - Objektiv x50 und x100



Mikroskopische Aufnahme 24:
Behandelter Stahl - Martensit und Bainit, geätzt mit NITAL 4
Objektiv x50



Mikroskopische Aufnahme 25:
Hypereutektoider Stahl - Perlit und Zementit
Geätzt mit NITAL 4 - Objektiv x50



Mikroskopische Aufnahme 26: Werkzeugstahl - Karbide
Geätzt mit PICRAL - Objektiv x100