

PRÄPARATIONSHILFE

EDELSTAHL

EINFÜHRUNG

Alle Eisenlegierungen, die aufgrund ihrer Beständigkeit gegen eine Vielzahl von korrosiven Umgebungen verwendet werden, werden als «Edelstahl» bezeichnet. Damit ein Stahl weniger Korrosionsanfällig ist (üblicherweise als rostfreier Stahl bezeichnet), muss er einen Chromgehalt aufweisen, der variieren kann, immer höher als 10,5% ist und einen Kohlenstoffgehalt zwischen 0,02% und 1,2%.

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**

Molare Masse: **12 g.mol⁻¹**

CHROM

Symbol: **Cr**

Ordnungszahl: **24**

Dichte: **7.15**

Molare Masse: **52 g.mol⁻¹**

Schmelzpunkt: **1907 °C**

Es ist dieser Chromgehalt, der Stahl rostfrei macht, indem er mit dem Sauerstoff in der Luft unter Bildung einer Schutzschicht aus Chromoxid (Passivierungsfilm genannt) reagiert:



Bestimmte andere Elemente (Legierungszusätze) werden hinzugefügt, wodurch Edelstahlqualität entsteht. Diese Zusätze verbessern die Korrosionsbeständigkeit oder die mechanischen Eigenschaften. Nickel ist die häufigste Zugabe, aber auch Molybdän, Kupfer, Titan, Silizium, Niob, Aluminium, Wolfram usw. werden häufig verwendet.

Die Korrosionsbeständigkeit in Kombination mit den mechanischen Eigenschaften macht Edelstahl zu einem unverzichtbaren Material in vielen Anwendungsbereichen wie der Luftfahrt, der Automobil-, Chemie- und Marineindustrie, der Medizin und Chirurgie, Küchenutensilien, Alltagsgegenständen, Werkzeugen usw.



METALLURGIE AUS ROSTFREIEM STAHL

Unter allen Edelstahlsorten lassen sich fünf Kategorien nach ihrer Zusammensetzung und metallurgischen Eigenschaften unterscheiden:

- **Ferritische rostfreie Stähle** haben einen sehr geringen Kohlenstoffgehalt ($<0,1\%$) und daher eine ferritische Struktur. Ihre Korrosionsbeständigkeit steigt entsprechend ihrem Chromgehalt, der zwischen 12% und mehr als 25% liegen kann.

Diese Stähle sind magnetisch und bei Stabilisierung (Zugabe von Titan, Niob und Zirkonium) schweißbar. Ihre Struktur begrenzt jedoch ihre mechanischen Eigenschaften (insbesondere Festigkeit und Härte).
Beispiel für die Klasse: X6Cr17 (AISI: 430).

- **Martensitische rostfreie Stähle** haben einen ausreichenden Kohlenstoffgehalt ($> 0,08\%$ und bis zu 1,2%). Sie bestehen aus 12-18% Chrom und weisen aufgrund ihrer martensitischen Struktur im Allgemeinen eine geringere Korrosionsbeständigkeit als andere Edelstahlklassen auf.

Diese Struktur wird durch Wärmebehandlung erzeugt und diese rostfreien Stähle verhalten sich ähnlich wie herkömmliche behandelte Stähle. Sie sind daher magnetisch und werden dort eingesetzt, wo hohe mechanische Eigenschaften erforderlich sind.

Beispiel für die Klasse: X20Cr13 (AISI: 420).

- **Austenitische rostfreie Stähle** werden am häufigsten verwendet. Sie haben eine ausgezeichnete Korrosionsbeständigkeit und eine hohe Duktilität. Ihr Chromgehalt beträgt 16-20% und sie haben einen ziemlich hohen Nickelgehalt, normalerweise 8-10%. Es ist dieser Nickelgehalt, der dem rostfreien Stahl seine austenitische Struktur verleiht. Andere Elemente können hinzugefügt und / oder der Kohlenstoffgehalt verringert werden, um die Korrosionsbeständigkeit zu verbessern.

Diese Struktur macht diese rostfreien Stähle nicht magnetisch. Ihre mechanischen Eigenschaften werden durch die Kaltbehandlung beeinflusst (eine Wärmebehandlung ist nicht möglich).

Beispiel für die Klasse: X5CrNi18-10 (AISI: 304) oder X2CrNiMo17-12-2 (AISI: 316L).

- **Ausscheidungshärtende rostfreie Stähle** sind Typen, die aus mehreren Additivelementen bestehen, zusätzlich zu 13-17% Chromgehalt, einschließlich Kupfer, Aluminium, Molybdän und Niob.

Die mechanischen Eigenschaften dieser rostfreien Stähle werden durch Wärmebehandlung zur Ausfällung intermetallischer Verbindungen verbessert. Sehr oft haben diese Klassen martensitische Matrixqualitäten.

Beispiel einer Klasse: W8CrNiMoAl15-7-2 (AISI: 630 (17-4PH)).

- **Austenitisch-ferritische rostfreie Stähle** (allgemein als Duplex bekannt) haben eine Struktur mit ungefähr gleichen ferritischen und austenitischen Teilen. Ziel ist es, rein ferritischen oder austenitischen rostfreien Stählen überlegene mechanische Eigenschaften zu verleihen.

Ihr Chromgehalt ist hoch ($> 20\%$) und sie zeichnen sich durch die Verwendung von Stickstoff als Additiv aus, das die strukturelle Härtung fördert und die Zähigkeit erhöht.

Beispiel für die Klasse: X2CrNiMoN22-5-3 (AISI: 2205).

METALLOGRAPHISCHE PRÄPARATION

Im Allgemeinen beeinflussen die Entwicklung, Umwandlung sowie mechanische, thermische und Oberflächenbehandlungen die Eigenschaften und Mikrostrukturen von rostfreien Stählen.

All diese Einflüsse führen dann zu metallografischen Qualitätskontrollen wie Mikrostrukturuntersuchungen, Schweißkontrollen, Suche nach Porositäten und / oder Heterogenitäten, Einschlussprüfungen, Härteprüfungen, Härtungskontrollen, Korngrößenkontrollen usw.

Eine Reihe von Vorgängen ist erforderlich, um Oberflächen zu inspizieren, von denen jede unabhängig vom Material genauso wichtig ist wie die nächste. Diese Schritte sind in der folgenden Reihenfolge:

- Das Entfernen 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: Aufdecken 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.

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 Gefüge-Veränderung 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 schneidenden Produkte angepasst werden:



Abb. 1: MECATOME T210



Abb. 2: MECATOME ST310




Abb. 3: 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. die Fixierung des Werkstücks, ist wesentlich. Wenn das Werkstück nicht richtig gespannt wird, kann sich der Schnitt nachteilig auf die Trennscheibe, das Werkstück und die Maschine auswirken.

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.



	ROSTFREIER STAHL
Präzisionstrennen	UTW S Ø180 AO
Trennen mittelgroßer Proben	A AO
Trennen großer Proben	A AO

Tabelle 1: Auswahl der richtigen Trennscheibe

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

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 und Schneidgrate sind 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 eine Schrumpfung vorherrscht, kann dies zu Problemen beim Polieren führen. Schleifkörner können sich in diesem Raum festsetzen und zu einem späteren Zeitpunkt freigesetzt werden, wodurch die Gefahr 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. 4: 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 5: Druckmontagevorrichtung

PLUSPUNKT

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



Abbildung 6: Vakuummontagevorrichtung:
POLY'VAC


PLUSPUNKT

Maschine zur Vakuumimprägnierung poröser Materialien mit einem Epoxidharz.

Kalteinbettmittel bieten aufgrund der Kapillaraszension 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.

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: optimierte Formen mit der Bezeichnung «KM2.0», Gummi-, Teflon- oder Polyethylenformen. Die Kalteinbettung ist auch flexibler als die Warmeinbettung, weil es unterschiedliche Einbettformen für spezifische Anforderungen gibt.



	ROSTFREIER STAHL
Warmeinbettprozess	Epoxid Phenol Allyl
Kalteinbettprozess	IP KM-U KM-B 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 und 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, vom Vorpolieren bis zum Superfinish und Polieren von Einzel- oder Serienproben.

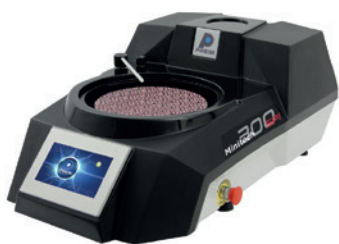


Abb. 7:

MINITECH 300 SP1

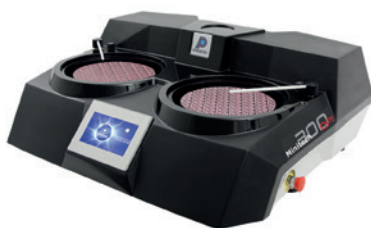


Abb. 8:

MINITECH 300 DP1 und DP2



Abb. 9:

MECATECH 300 SPC



Abb. 10:

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 POLIERPROZESSE

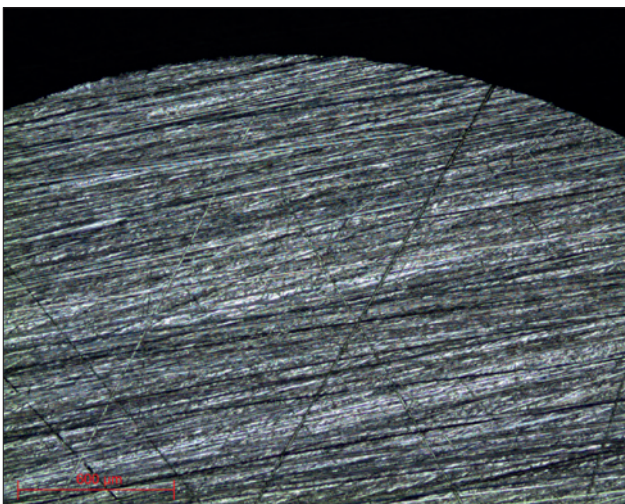
Alle folgenden Schleif- und Polierprozesse sind für die automatische Probenvorbereitung angegeben (für das manuelle Polieren: Berücksichtigen Sie nicht die „Kopf“-Parameter). Sie werden am häufigsten verwendet und dienen zur Information und Beratung.

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

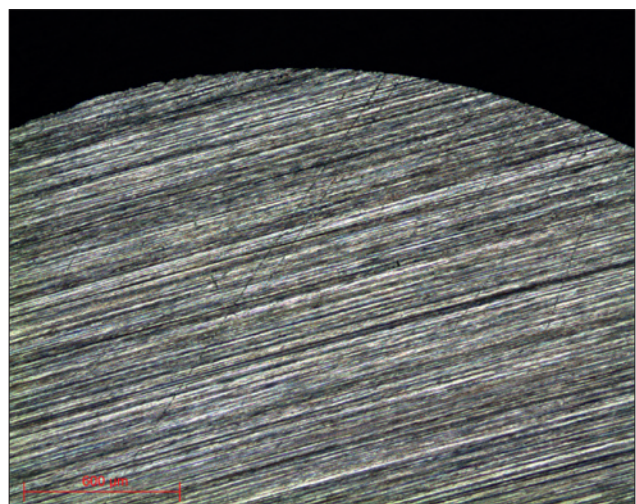
Der Probenandruck variiert je nach Probengröße, im Allgemeinen gilt jedoch Folgendes: 1 daN pro 10 mm Einbettdurchmesser für die Schleifschritte (z. B. Ø 40 mm = 4 daN), dann die Kraft bei jedem Polierschritt mit einer Schleifsuspension um 0,5 daN reduzieren.

POLIERPROZESS N°1

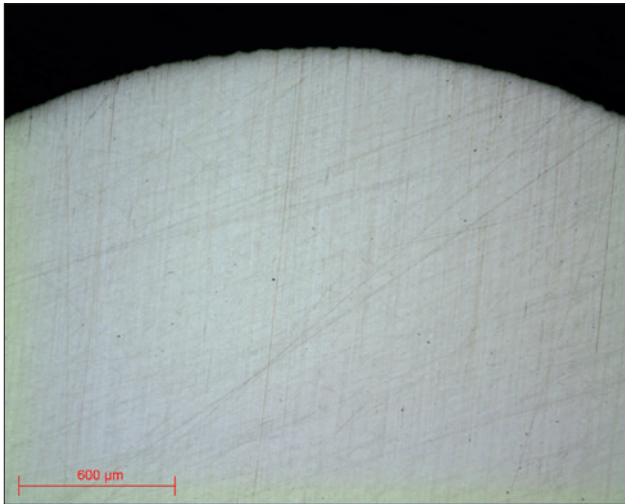
N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	SiC P320	Ø / Wasser	300	150	→ →	1'
2	SiC P1200	Ø / Wasser	300	150	→ →	1'
3	RAM	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	2'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al ₂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



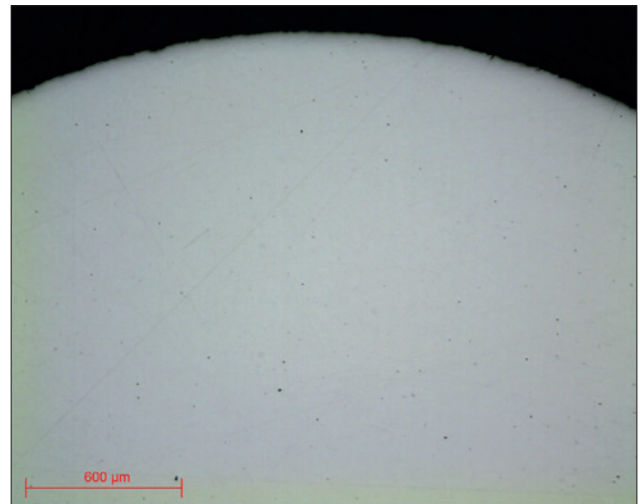
Mikroskopische Aufnahme 1:
Oberflächenzustand P320 Objektiv x5



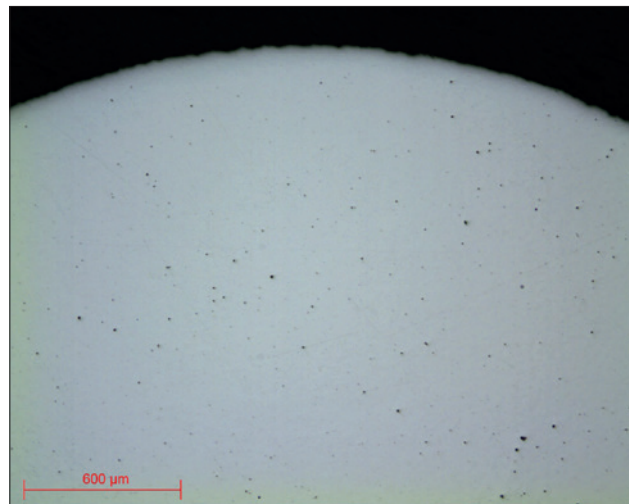
Mikroskopische Aufnahme 2:
Oberflächenzustand P1200 Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 3:
Oberflächenzustand RAM 3µm Objektiv x5



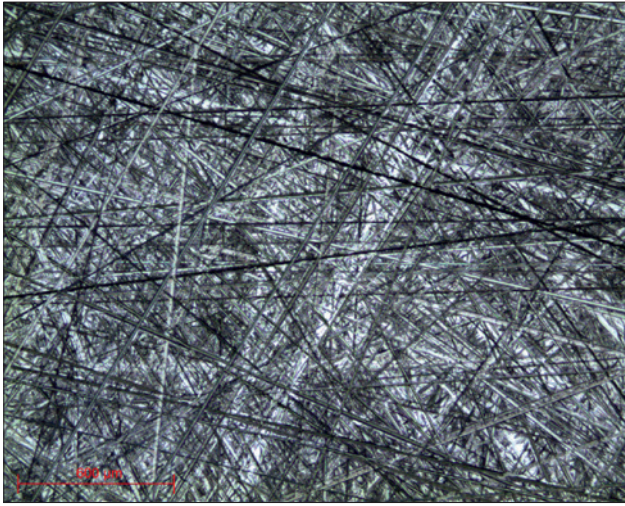
Mikroskopische Aufnahme 4:
Oberflächenzustand NT 1µm Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 5:
Oberflächenzustand Al₂O₃ N° 3 Objektiv x5

POLIERPROZESS N°2

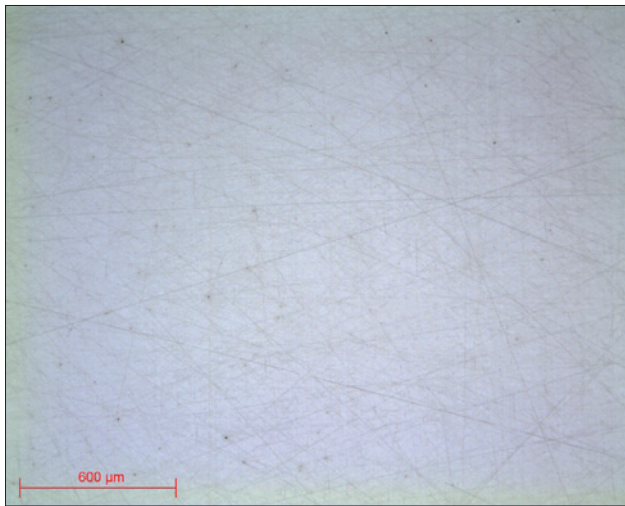
N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	I-Max R 54µm	∅ / Wasser	300	150	→ →	3'
2	I-Max R 18µm	∅ / Wasser	300	150	→ →	3'
3	ADR II	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	4'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'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



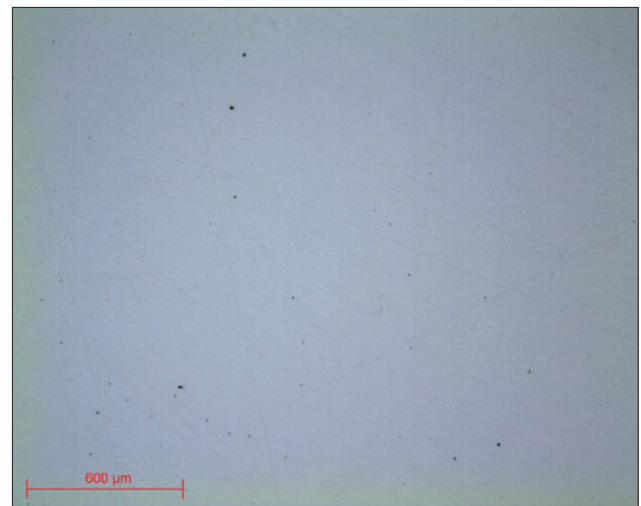
Mikroskopische Aufnahme 6:
Oberflächenzustand I-Max R 54µm Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 7:
Oberflächenzustand I-Max R 18µm Objektiv x5



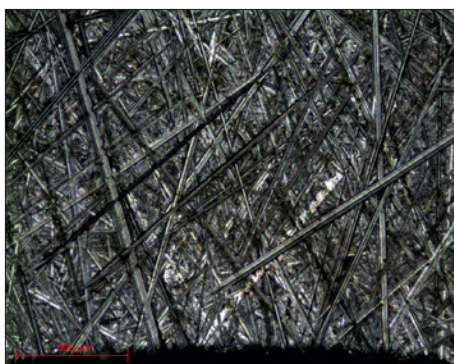
Mikroskopische Aufnahme 8:
Oberflächenzustand ADR II 3µm Objektiv x5



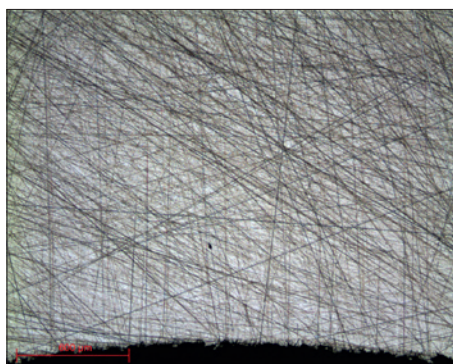
Mikroskopische Aufnahme 9:
Oberflächenzustand NT 1µm Objektiv x5

POLIERPROZESS N°3

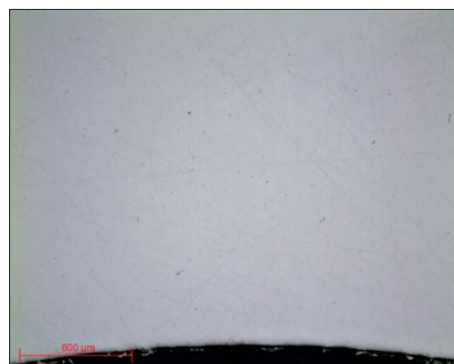
N°	Verbrauchsmaterial	Suspension / Lubrikant	Arbeitsplatte (U/min)	Kopf (U/min)	Rotationsrichtung von Arbeitsplatte / Kopf	Zeit (mm)
1	SiC P80	Ø / Wasser	300	150	→ →	1'
2	MED R	9µm Super Abrasive / Ø	150	135	→ →	3'
3	ADR II	3µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	3'
4	NT	1µm LDP / Reflex Lub	150	135	→ →	1'
5	NT	Al ₂ O ₃ N°3 / Wasser	150	100	→ ←	1'



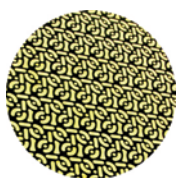
Mikroskopische Aufnahme 10:
Oberflächenzustand P80 Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 11:
Oberflächenzustand MED R 9µm
Objektiv x5



Mikroskopische Aufnahme 12:
Oberflächenzustand ADR II 3µm
Objektiv x5



	POLIERPROZESS N°1	POLIERPROZESS N°2	POLIERPROZESS N°3
Rostfreier Stahl	Alle	Wärmebehandelt (gehärtet)	Alle
Vorteil	Flexibel	<ul style="list-style-type: none"> • Lange Lebensdauer der Verbrauchsmaterialien • Optimiert für große Serien • Hervorragende Ebenheit 	Schnelle, reduzierte Anzahl von Schritten

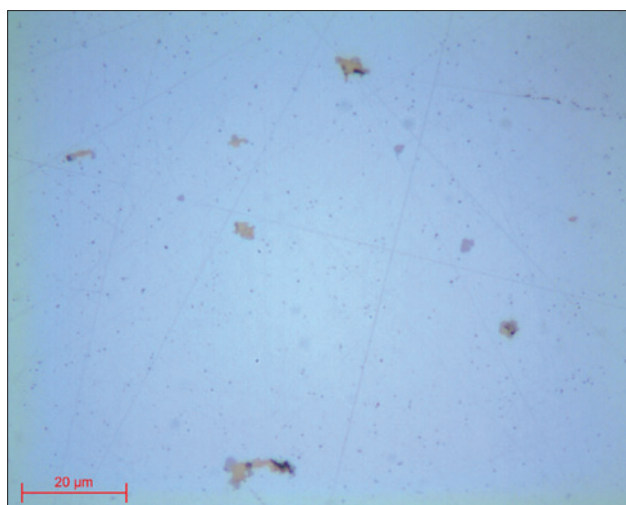
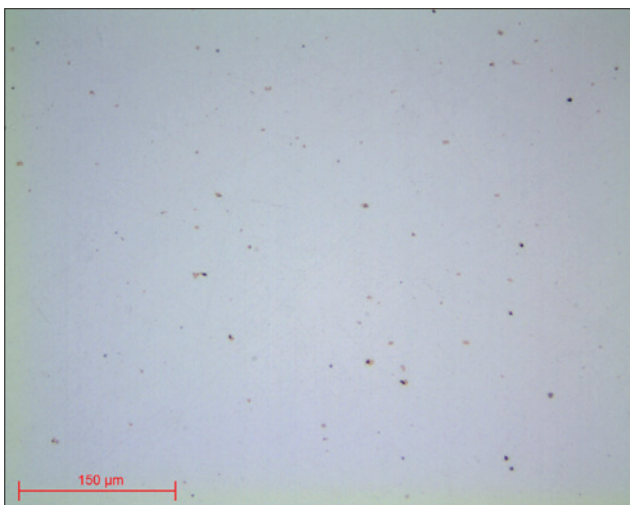
Tabelle Nr. 3: Wahl des Polierprozesses

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

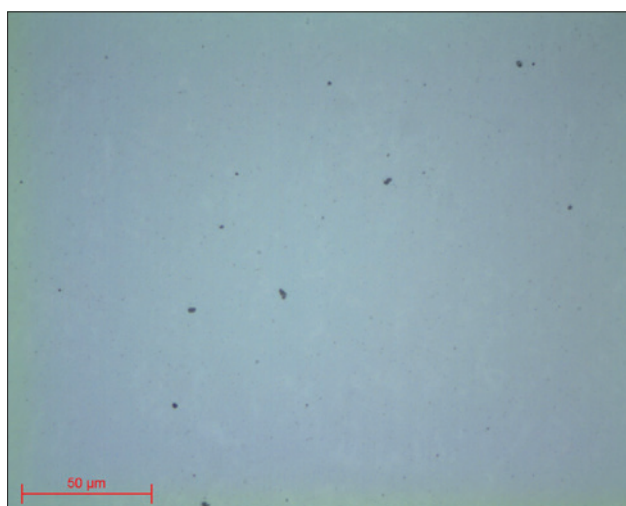
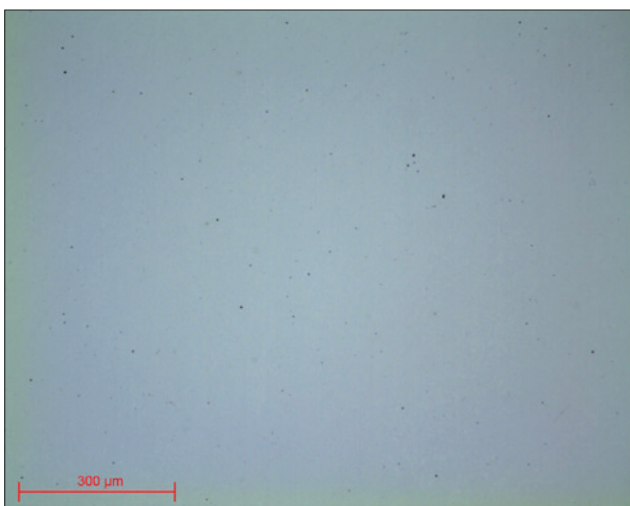
Am Ende dieser Präparation können die polierten Proben ohne metallografisches Ätzen direkt inspiziert werden. Andernfalls wird das metallografische Ätzen üblicherweise unter Verwendung des ADLER-Reagens durchgeführt. Dies kann auch mit MARBLE - oder KALLING-Reagenzien erfolgen. Das Ätzen erzeugt Unterschiede im Relief und / oder in der Farbe zwischen den verschiedenen Bestandteilen und ermöglicht so eine Inspektion.

MIKROSKOPIE

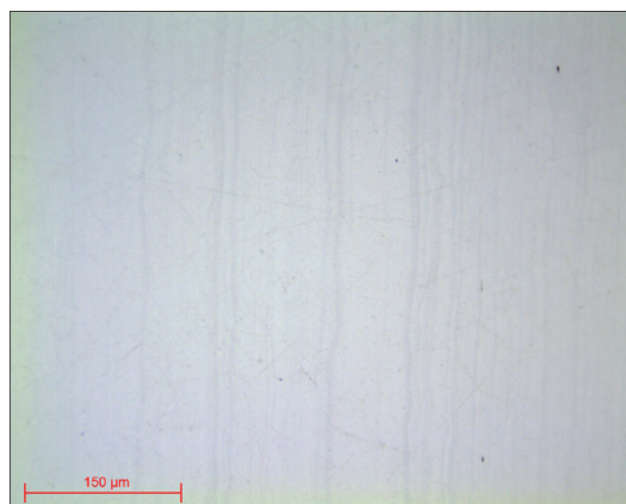
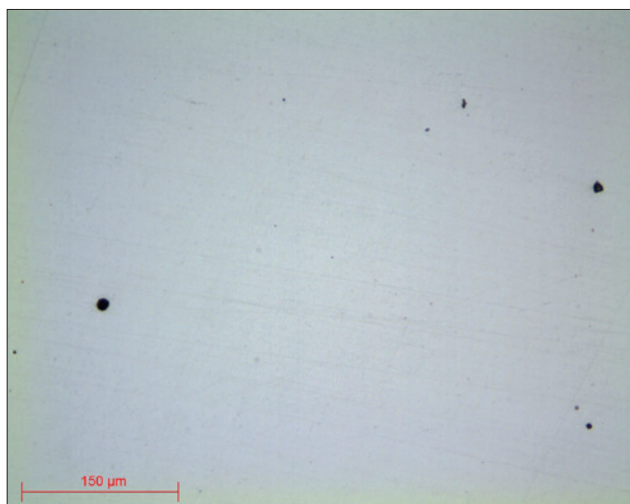
Alle vorgestellten mikroskopischen Aufnahmen wurden mit der **PRESI VIEW**-Software erstellt:



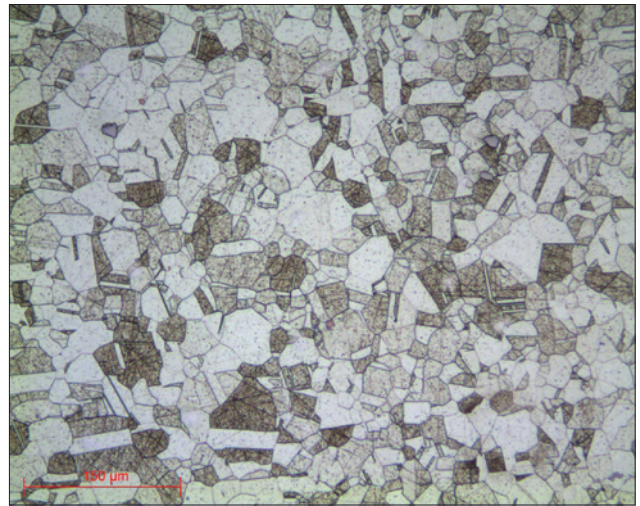
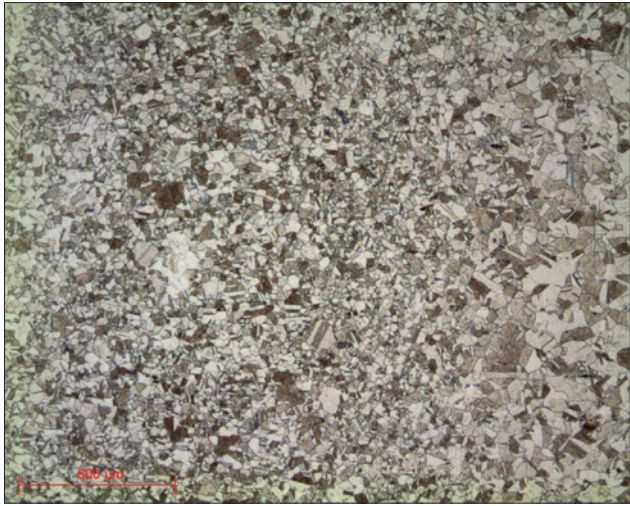
Mikroskopische Aufnahmen 13 und 14:
Edelstahl poliert auf 1µm Objektiv x20 und x100



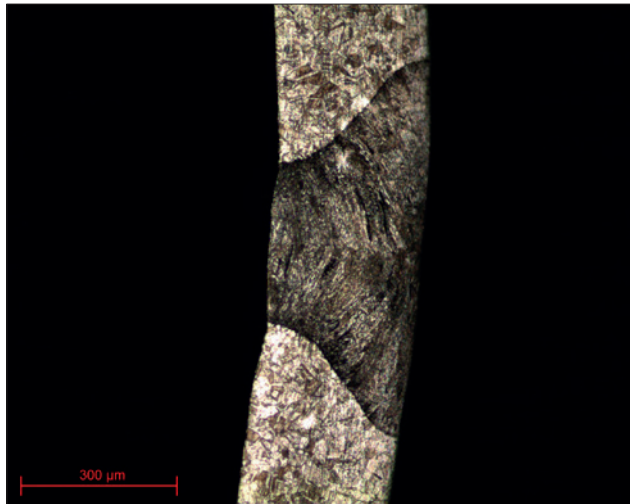
Mikroskopische Aufnahmen 15 und 16:
Edelstahl poliert auf Al₂O₃ N ° 3 Objektiv x10 und x50



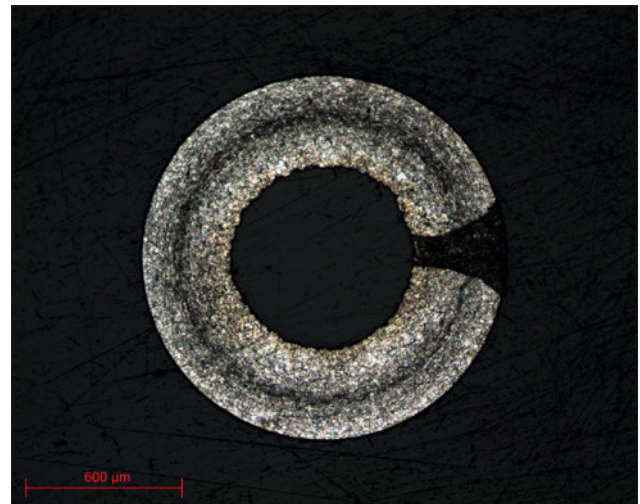
Mikroskopische Aufnahmen 17 und 18:
Edelstähle poliert auf Al₂O₃ N ° 3 Objektiv x20



Mikroskopische Aufnahmen 19 und 20:
Edelstahl geätzt mit ADLER Objektiv x5 und Objektiv x20



Mikroskopische Aufnahme 21:
Edelstahl geätzt mit ADLER Objektiv x10



Mikroskopische Aufnahme 22:
Edelstahl geätzt mit MARMOR Objektiv x5