

RATGEBER FÜR DIE
MECHANISCHE
BEARBEITUNG VOR EINER
NIEDERTEMPERATUR-
OBERFLÄCHENHÄRTUNG

REPRODUZIERBARE ERGEBNISSE

ERHÖHTE OBERFLÄCHENHÄRTE

HÖCHSTE
KORROSIONSBESTÄNDIGKEIT

VERBESSERTE DIFFUSIONSTIEFE





MINIMIERUNG DES EINFLUSSES DER BEARBEITUNG FÜR OPTIMALE ERGEBNISSE

Bodycote S³P mit den proprietären Verfahren Kolsterisieren[®] und S³P ADM sind eine Gruppe von handelsüblichen Niedertemperatur-Oberflächenhärtungsverfahren (NTOH). Mit diesen Prozessen ist es möglich, eine harte (> 1 000 HV_{0,05}) und verschleißfeste Oberfläche auf Edelstahlkomponenten zu erzielen, wobei gleichzeitig die hervorragenden Korrosionseigenschaften erhalten bleiben. Die Oberflächenhärtung erfolgt in der Regel nach dem letzten Bearbeitungsschritt und ist einer der letzten Fertigungsschritte, bevor ein Bauteil verwendet wird.

Optimale Ergebnisse in Bezug auf Härte, Diffusionstiefe und Korrosionsbeständigkeit sind nur mit der richtigen Wahl der Bearbeitungsparameter, der optionalen Oberflächenbehandlung und/oder der Wärmebehandlung vor den NTOH-Prozessen zu erzielen. Diese Broschüre zeigt Hinweise zur Zerspanbarkeit von Edelstählen und Überlegungen zu den optimalen Bearbeitungsparametern für Edelstähle.



Zerspanbarkeit von Edelstählen

Die Zerspanbarkeit wird anhand der Gesamtbearbeitungszeit, der Werkzeugstandzeit und der Oberflächenbeschaffenheit des Produkts bewertet. Es ist die Aufgabe des Bearbeiters, die richtigen Parameter zu finden, um eine gleichmäßige und reproduzierbare Oberflächenbeschaffenheit bei vertretbarem Aufwand (Standzeit und Zeit) zu gewährleisten. Insbesondere bei Edelstählen hat die Oberflächenbeschaffenheit einen großen Einfluss auf die Korrosionseigenschaften. Eine glatte und gleichmäßige Oberfläche ohne Spalten oder Kratzer gilt als optimal. Die Zerspanbarkeit von Edelstählen unterscheidet sich deutlich von der von Baustahl. Vor allem austenitische und Duplex-Edelstähle sind bekanntlich schwer zu bearbeiten. Die Zerspanbarkeit wird durch die Tendenz zur Kaltverfestigung, die schlechte Wärmeleitfähigkeit, die hohe Zähigkeit und das Kaltschweißverhalten negativ beeinflusst.

Umformmartensit

Insbesondere die Neigung zur Kaltverfestigung führt zur Bildung von Umformmartensit auf bearbeiteten Oberflächen. Im Allgemeinen führen höhere Schnittkräfte zu mehr Umformmartensit. Auch Umformprozesse können zu einer übermäßigen Bildung von Umformmartensit führen. Umgeformte Oberflächen haben einen negativen Einfluss auf Diffusionsprozesse wie Kolsterisieren® und S³P. Die Diffusionstiefe und Oberflächenhärte kann geringer sein. Zusätzlich kann es zu einer verminderten Korrosionsbeständigkeit kommen.

Austenitischer Edelstahl kann magnetisch werden, eine unerwünschte Nebenwirkung für viele Anwendungen. Mit speziellen Ferritmessgeräten ist es möglich, die Menge des Umformmartensit direkt zu messen. Die Menge an unerwünschtem Umformmartensit kann durch bestimmte, der mechanischen Bearbeitung nachgelagerte Verfahren, die in dieser Broschüre vorgestellt werden, reduziert werden.

Schwefelhaltige Legierungen sind keine Option, wenn eine hohe Korrosionsbeständigkeit erforderlich ist

Um die Zerspanbarkeit zu verbessern, kann eine gewisse Menge Schwefel zu Edelstählen legiert werden, jedoch wird diese Maßnahme nicht empfohlen, da Schwefel Mangansulfid-Zeilen im Material bildet. Diese sind nicht nur eine Schwachstelle für den Span, sondern auch für korrosive Angriffe. Befindet sich eine Sulfid-Zeile auf der Oberfläche eines bearbeiteten Teils, wird die schützende Passivschichtbildung in diesem Bereich nicht ausgebildet. Ein korrosiver Angriff ist in einer korrosiven Umgebung wahrscheinlicher. Die Korrosionsbeständigkeit dieser Zerspanungsgüten ist deutlich geringer als die Beständigkeit von standardmäßig legierten Austeniten. Daher sind solche Typen nicht für Anwendungen in korrosiven Umgebungen geeignet. Weitere Informationen über den Einfluss von Schwefel auf die Korrosionsbeständigkeit finden Sie in einem speziellen „Spotlight“, (S³P: Berücksichtigung von Schwefel in korrosionsbeständigen Stählen).

Bearbeitungsprozesse beeinflussen die Ergebnisse der Niedertemperatur-Oberflächenhärtung

Auf den folgenden Seiten wird der Einfluss verschiedener Bearbeitungsverfahren auf die Ergebnisse von Niedertemperatur-Oberflächenhärtungsverfahren, wie z. B. die S³P-Verfahren von Bodycote (Kolsterisieren® und S³P ADM), zusammengefasst. Für optimale Ergebnisse sollten Legierungen mit niedrigem Schwefelgehalt und optimierten Bearbeitungsparametern berücksichtigt werden. Werkzeuge, die für die Bearbeitung von unlegierten Stählen verwendet werden, sollten nicht für die Bearbeitung von Edelstählen verwendet werden, da Verunreinigungen nicht vermieden werden können. Bei Bedarf können zusätzliche Nachbearbeitungsschritte angewendet werden.



BEARBEITUNG MIT GEOMETRISCH DEFINIERTER SCHNEIDE

Drehen und Fräsen

Rostfreie Stähle, insbesondere austenitische und Duplex-Stähle, neigen dazu, während der Bearbeitung eine Aufbauschneide zu bilden. Aufgrund der schlechten Wärmeleitfähigkeit von Edelstählen ist mit einem zusätzlichen Wärmearaufbau zu rechnen. Um optimale Ergebnisse nach NTOH-Prozessen zu erzielen, sollten die folgenden Punkte berücksichtigt werden*:

- Im Vergleich zu Kohlenstoffstählen sind bei der Bearbeitung von Edelstählen höhere Kräfte erforderlich. Daher sollte die Maschine ausreichend ausgelegt sein.
- Die Werkzeuge und Vorrichtungen sollten so steif wie möglich sein, um Vibrationen zu vermeiden, die sonst zu einer ungleichmäßigen Oberflächenbeschaffenheit führen.
- Ein kontinuierlicher positiver Vorschub vermeidet übermäßige Kaltumformung.
- Eine geringere Schnitttiefe führt zu einer Verringerung der Kaltumformeffekte auf der Oberfläche.
- Niedrigere Schnittgeschwindigkeiten sind zu wählen, da erhöhte Drehzahlen zu höherem Werkzeugverschleiß, schlechterer Oberflächengüte und frühem Werkzeugwechsel führen.
- Die Werkzeuge müssen scharf gehalten werden, um die Reibung zwischen Werkzeug und Span zu minimieren. Eine scharfe Schneide erzeugt das beste Oberflächenfinish.
- Die Verwendung von Kühlschmiermitteln, die speziell für Edelstähle entwickelt wurden, wird empfohlen. Da Edelstähle eine schlechte Wärmeleitfähigkeit aufweisen, ist eine Kühlung zwingend erforderlich.

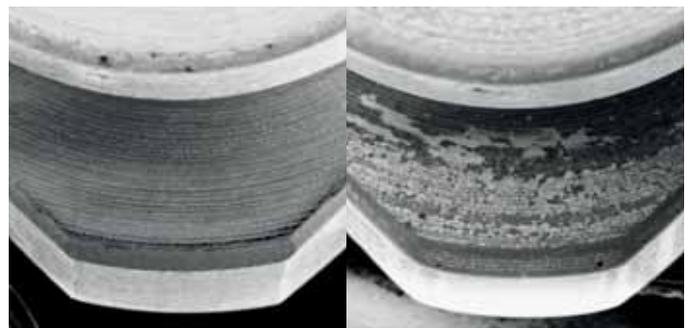


Abb. 1: Gedrehte Edelstahloberfläche. Links: Scharfes Werkzeug und angepasste Bearbeitungsparameter führen zu einer gleichmäßigen Oberflächengüte. Rechts: verschlissenes Werkzeug und hohe Schnittkräfte führen zu einer Schmierung der Oberfläche mit reduzierter Korrosionsbeständigkeit, Abplatzungen und schlechtem Diffusionsverhalten.

Vor diesem Hintergrund ist es möglich, eine gute Oberflächengüte zu erreichen und die Kaltumformung (Umformmartensit) zu minimieren, die letztendlich zu Folgendem führt:

- Höhere Diffusionstiefe mit erhöhter Lebensdauer
- Höhere Oberflächenhärte (da mehr Kohlenstoff/Stickstoff gelöst werden kann)
- verbesserte Korrosionsbeständigkeit

Führt eine gute Bearbeitungspraxis nicht zu ausreichenden Ergebnissen nach dem NTOH-Prozess, sollte vor der Härtung eine zusätzliche Nachbearbeitung wie Lösungsglühen und/oder Elektropolieren in Betracht gezogen werden. Abb. 1 zeigt den Einfluss des Werkzeugverschleißes auf die Ergebnisse nach einem NTOH-Prozess.

* Quelle: Thyssen Krupp VDM „Verarbeitungshinweise für austenitische Edelstähle und Nickelbasislegierungen“

NACH DER MECHANISCHEN BEARBEITUNG ...

Rückstände aus früheren Prozessen sowie eine beeinflusste Oberfläche machen es notwendig, bestimmte Nachbearbeitungsmethoden nach der mechanischen Bearbeitung und vor der Oberflächenhärtung anzuwenden. Nicht alle diese Maßnahmen sind obligatorisch, aber einige sind zu empfehlen.

Chemische Reinigung, Entfettung, Beizen

Die chemische Reinigung und Entfettung ist nach allen Bearbeitungsprozessen und vor jeder Wärmebehandlung (inkl. NTOH) ein obligatorischer Prozessschritt. Saubere und glatte Oberflächen sind ein Schlüsselfaktor für die ungehinderte Diffusion von Kohlenstoff und/oder Stickstoff in die Bauteiloberfläche.

- Rückstände aus früheren Produktionsschritten können als Diffusionsbarriere wirken und die Diffusionstiefe und Oberflächenhärte verringern.
- Darüber hinaus können Rückstände nach der Behandlung zu Flecken führen, die sich nicht in allen Fällen entfernen lassen.
- Eisenpartikel können zu lokalem Korrosionsangriff (Flugrost) führen

Zusätzliches Beizen, Entzundern und/oder Passivieren kann notwendig sein, um die Korrosionseigenschaften von bearbeiteten Teilen weiter zu verbessern. So ist es beispielsweise beim Beizen möglich, Umformmartensit zu entfernen, das sich in früheren Bearbeitungsschritten gebildet hat.



Wärmebehandlung

Abhängig von der Edelstahlsorte und der vorgesehenen Anwendung kann ein Wärmebehandlungsprozess vor der Niedertemperatur-Oberflächenhärtung erforderlich sein:

- Zusätzliches Lösungsglühen von austenitischen und Ni-Basislegierungen kann eine Option zur Verbesserung des Korrosionsverhaltens von NTOH-behandelten Teilen sein.
- Martensitische und ausscheidungshärtende (PH)-Sorten sollten im wärmebehandelten Zustand sein (gehärtet und angelassen).

Gleitschleifen

Gleitschleifprozesse sind kostengünstige Methoden zum Reinigen, Trocknen, Entgraten oder Polieren von Bauteilen. Da Edelstähle relativ weich sind, sollten die Parameter an diese Materialien angepasst werden, um eine gute Oberflächengüte und eine geringe Martensitbildung zu erreichen. Der Einfluss der Gleitschleifparameter auf die Oberfläche von Edelstahlteilen ist in Abb. 2 dargestellt.

- Im Allgemeinen sollte die Bearbeitungszeit kurz sein.
- Compounds und Schleifmittel sollten eher weich sein.
- Für die Verarbeitung von Edelstählen werden spezielle Maschinen und Additive empfohlen, um ferritische Verunreinigungen zu vermeiden.
- Nach der Fertigstellung sollte eine ordnungsgemäße Reinigung und Trocknung in Betracht gezogen werden, um die Korrosionseigenschaften zu erhalten. Prozessrückstände können die Diffusion bei NTOH-Prozessen zusätzlich hemmen.

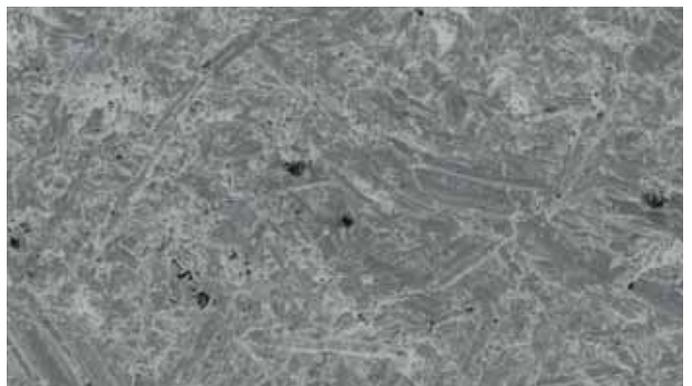


Abb. 2: Edelstahloberfläche nach dem Gleitschleifen. Links: glatte Oberfläche (Ra 0,17) mit kleinen Fehlern, erreicht mit angepassten Parametern und weichen Schleifmitteln. Rechts: grobe Oberflächenbeschaffenheit (Ra 0,56), abrasive Einschlüsse und übermäßige Bildung von Umformmartensit, was zu einem schlechten Korrosions- und Diffusionsverhalten führt.



Elektropolieren

Das Elektropolieren als letzter Schritt vor Niedertemperatur-Diffusionsprozessen kann die Oberflächengüte von bearbeiteten Teilen deutlich verbessern.

- Mikrospitzen und Täler an der Oberfläche werden geglättet.
- Stark beeinflusste Oberflächenbereiche (bis zu 50 µm) können entfernt werden, was zu einer ungehinderten Diffusion von Kohlenstoff- und/oder Stickstoffatomen in die Oberfläche führt. Oberflächenhärte und Diffusionstiefen können erhöht werden.
- Das Ergebnis ist in der Regel eine höhere Korrosionsbeständigkeit und eine ansprechendere Optik.

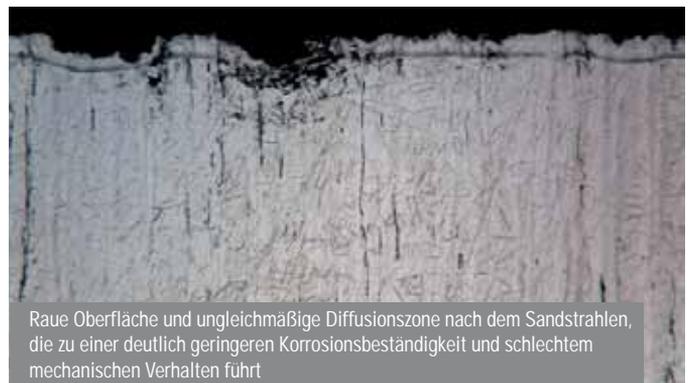
Strahlen

Das Strahlen, insbesondere das Sandstrahlen, wird für Edelstahlkomponenten nicht empfohlen, wenn höchste Korrosionsbeständigkeit gefordert ist. Abb. 3 zeigt den Einfluss des Strahlens und Elektropolierens eines AISI 316L vor der Niedertemperatur-Oberflächenhärtung auf die Oberflächengüte und das Diffusionsergebnis.

- Nach dem Strahlen ist die Oberflächenrauheit deutlich höher, was zu einer höheren Wahrscheinlichkeit eines Angriffs in einer korrosiven Umgebung führt, z. B. können sich Chloride in den gebildeten Vertiefungen und Rillen ansammeln.
- Restschleifmittel können in diesen Rillen stecken bleiben und den Korrosionsangriff weiter fördern.
- Hohe Kräfte bei solchen Prozessen führen zu einer übermäßigen Bildung von Umformmartensit an der Oberfläche, was zu ungleichmäßigen Diffusionsergebnissen führt.



Glatte, homogene und fällungsfreie Diffusionszone auf elektropolierter Edelstahloberfläche



Raue Oberfläche und ungleichmäßige Diffusionszone nach dem Sandstrahlen, die zu einer deutlich geringeren Korrosionsbeständigkeit und schlechtem mechanischen Verhalten führt

Abb. 3: Vergleich der NTOH-Ergebnisse für AISI 316L nach dem Elektropolieren (links) und Sandstrahlen (rechts). Das Sandstrahlen führt zu lokal hohen Verformungen mit übermäßiger Bildung von Umformmartensit. Die Diffusion wird behindert und die Korrosionsbeständigkeit wird verringert. Im Vergleich dazu führen die elektropolierten Oberflächen zu einer fehlerfreien und homogenen Diffusionszone.



MECHANISCHE FEINBEARBEITUNG

Schleifen und Honen

Der Bedarf an mechanischer Feinbearbeitung ergibt sich aus engen Toleranzen, die in bestimmten technischen Anwendungen erforderlich sind. Schleifen und Honen sind Bearbeitungsverfahren mit einer geometrisch undefinierten Schneide. Der Materialabtrag erfolgt durch Schleifmittel, z. B. Al_2O_3 oder SiC , die in einer Schleifscheibe bzw. einem Honstein gebunden sind. Mit den richtigen Prozessparametern und Schleifmitteln sind feine Oberflächengüten erreichbar. Die Oberflächenbeschaffenheit hat einen hohen Einfluss auf die Korrosionseigenschaften und das Diffusionsverhalten. Bei hohen Kräften bildet sich mehr Umformmartensit, was die Diffusionsergebnisse an geschliffenen und gehonten Teilen beeinträchtigt. Dadurch kann die Korrosionsbeständigkeit deutlich reduziert werden. Daher ist es sehr wichtig, die Schleif- und Honparameter an Edelstähle anzupassen, insbesondere wenn eine Oberflächenhärtung nach der Bearbeitung erforderlich ist.

- Druck und Schnittkräfte sollten so gering wie möglich sein, um die Bildung von Umformmartensit zu verringern und eine übermäßige Erwärmung der Oberfläche zu reduzieren. Da die Wärmeleitfähigkeit von Edelstählen gering ist, ist eine ausreichende Kühlung erforderlich.
- Die Werkzeuge sollten frei von Eisen und Chloriden sein.
- Es sollten immer scharfe Werkzeuge verwendet werden. Andernfalls erwärmt sich das bearbeitete Teil und die Oberfläche wird geschoben und verschmiert anstatt geschnitten zu werden, was das Risiko einer geringeren Korrosionsbeständigkeit erhöht. Auch eine Delamination des stark verformten Oberflächenbereichs ist möglich.
- Zusätzliche Nachbearbeitungen (z. B. Elektropolieren) und/oder Glühen sollten vor dem S³P-Prozess in Betracht gezogen werden, um optimale Ergebnisse zu erzielen.



Abb. 4: Geschliffene Edelstahloberfläche. Rechts: Hohe Schnittkräfte und ein verschlissenes Werkzeug führen zu einer Oberfläche, die eher umgeformt als geschnitten ist. Links: Geringe Kräfte und scharfes Werkzeug führen zu einem ausgeprägten Schleifbild, was für die korrekte Honbearbeitung selbstverständlich ist. Weniger Umformung, Wärmeeintrag und Schmierung führen zu einem besseren Diffusionsverhalten und verbesserter Korrosionsbeständigkeit.

UMFORMPROZESSE

Umformen

Edelstahlbleche werden oft durch Tiefziehen oder Stanzen geformt. Hohe Umformungsgrade führen aufgrund der Neigung zur Kaltumformung zu einer erhöhten Festigkeit und Härte des Werkstoffs. Bei zu hohen Umformungsraten sind ein oder mehrere Glühstufen erforderlich, um die induzierten Spannungen abzubauen. Andernfalls können die umgeformten Bleche reißen. Darüber hinaus führen hohe Umformungsraten letztendlich zu einem übermäßigen Anteil an Umformmartensit auf der Oberfläche, was das Diffusionsverhalten beeinträchtigt und die Korrosionseigenschaften nach der Niedertemperatur-Oberflächenhärtung negativ beeinflusst. Für optimale Ergebnisse nach der Niedertemperatur-Oberflächenhärtung, bei Zieh- oder Stanzteilen, sind die folgenden Richtlinien zu beachten:

- Das Glühen wird empfohlen, wenn die erhöhte Festigkeit durch Umformung nicht erforderlich ist.
- Durch die Kaltverfestigung von Edelstählen werden höhere Drücke für das Ziehen und Stanzen benötigt.
- Aufgrund der Neigung von Edelstahl zum Fressen muss die Reibung beim Umformen so gering wie möglich sein. Dies kann durch eine ordnungsgemäße Schmierung und Beschichtung der Werkzeuge erreicht werden.

Stanzen

Stanzen kann anstelle der zeitaufwändigen Zerspanung eine schnelle und kostengünstige Methode sein, um geometrisch einfache Teile mit spezifizierten Abmessungen herzustellen, insbesondere in der Massenproduktion.

- Abhängig vom gewählten Verfahren kann eine Nachbearbeitung und Entgratung erforderlich sein. Grate und Oberflächenunregelmäßigkeiten treten in der sogenannten Bruchzone auf. In diesem Bereich wird das Material entfernt und verschmiert, anstatt es zu schneiden. Die Eigenschaften von Edelstahl führen zu einigen Einschränkungen, die berücksichtigt werden müssen.
- Die Tendenz zum Fressen erfordert eine Werkzeugbeschichtung und eine ausreichende Schmierung. Durch die Kaltumformung sind die Schnitt-/Stanzkräfte im Vergleich zu Kohlenstoffstählen deutlich höher.
- Die hohe Zähigkeit von Edelstählen kann zu Schmierungen und Überlappungen des Materials in der Schneidezzone führen.
- Dies führt nicht nur zu einer übermäßigen Bildung von Umformmartensit, sondern auch zu Spalten, die eine Schwachstelle für Korrosion sein können.
- Eine Option zur Verbesserung der Oberflächengüte nach dem Stanzen ist das Feinschneiden. Dieses Verfahren verbessert die Oberflächengüte. Die Nachbearbeitung kann entfallen, was die höheren Werkzeugkosten ausgleichen kann.

Abb. 5 zeigt die Bruchzone nach dem Stanzen und dem anschließenden Niedertemperatur-Oberflächenhärten (links). Hohe Umformung und schlechte Oberflächengüte in der Bruchzone führen zu einer geringeren Diffusionstiefe.



Abb. 5: Oberflächengehärtetes Edelstahlbauteil. Links: Gestanzte Oberfläche. Unregelmäßige und stark verformte (dunkle Bereiche) Oberflächen. Geringere Diffusionstiefe und beeinträchtigte Korrosionseigenschaften in dieser Zone. Rechts: gleiches Teil gebohrt statt gestanzt. Weniger Verformung und gleichmäßige Oberflächenbeschaffenheit führen zu einer höheren Diffusionstiefe und verbesserten Korrosionseigenschaften.



GIESS- UND PULVERBA-SIERTE VERFAHREN

Gießen

Unterschiedliche Gießverfahren wie Sand- und Druckguss können eingesetzt werden, um komplexe Teile mit komplexen Innenabmessungen in einem Arbeitsgang zu formen. Die Oberflächengüte eines gegossenen Bauteils ist jedoch für technische Anwendungen oft nicht ausreichend und eine mechanische Bearbeitung notwendig.

- Verunreinigungen in der Oberfläche oder im Schüttgut nach dem Gießen können die Korrosion und die mechanischen Eigenschaften im Vergleich zu einem geschmiedeten Material mit vergleichbarer Zusammensetzung verringern. Auch Einschlüsse von Schlacke oder Sand auf der Oberfläche können die Korrosionsbeständigkeit negativ beeinflussen.
- Aufgrund der eher langsamen Abkühlraten ist die Bildung einer teilweise ferritischen Struktur (δ -Ferrit) möglich. Wenn der δ -Ferritgehalt mehr als 3 Vol. % übersteigt, wird ein negativer Einfluss auf das Diffusionsverhalten und die Korrosionsbeständigkeit erwartet. Falls erforderlich, kann der δ -Ferritgehalt nach dem Gießen mit zusätzlicher Wärmebehandlung zu reduziert werden.



Additive Herstellungsverfahren

Additive Manufacturing (AM)-Methoden wie Metallspritzgießen (MIM) und Selective Laser Melting (SLM) sind relativ neue Produktionsmethoden auf Basis der Pulvermetallurgie. Alle Prozesse aus dieser Gruppe sind grundsätzlich für die Verarbeitung von Edelstählen geeignet. Während MIM-Prozesse für große Losgrößen geeignet sind, eignen sich SLM-basierte Prozesse für die Herstellung von Teilen mit Losgröße eins.

MIM-Prozesse sind vergleichbar mit polymeren Spritzgussverfahren. Metallpulver wird mit einem polymeren Bindemittel gemischt und mit Spritzgießmaschinen geformt. Nach dem Formvorgang muss das Bindemittel entfernt und das Metallpulver muss durch Sintern in einem Ofen unter Vakuum oder Schutzgas gebunden werden.

- Das verwendete Schutzgas kann einen Einfluss auf das Ergebnis haben, wenn ein MIM-Bauteil kolsterisiert werden soll.
- Typische Gase sind ein Gemisch aus Wasserstoff und Stickstoff (H_2/N_2), die eine reduzierende Atmosphäre bilden, um eine Oxidation zu verhindern. In einigen Fällen kann der Stickstoff in der Oberfläche des Sinterteils diffundieren, was eine weitere Diffusion während der NTOH behindert.
- Wenn Stickstoff beim Sintern problematisch ist, sollte eine Vakuumatmosphäre in Betracht gezogen werden.



Abb. 6 zeigt ein Sinterteil mit einer beeinflussten Oberfläche durch Stickstoffdiffusion in einer H_2/N_2 -Atmosphäre. Ein anschließender Bohrvorgang (rechtes Bild) entfernte die betroffene Oberfläche. In diesem Bereich ist eine ungehinderte Diffusion möglich.

Selective Laserprozesse (z.B. 3D-Drucken) sind eine Gruppe von Prozessen, um Teile aus einem Pulverbett mit einem Laserstrahl herzustellen. Die Teile werden Schicht für Schicht aufgebaut, was zu nahezu keinen geometrischen Einschränkungen führt. Ein Nachteil ist die relativ schlechte Oberflächengüte, die eine Nachbearbeitung erforderlich macht. Darüber hinaus müssen für eine geringe Porosität optimale Prozessparameter gefunden werden.

- Poren können mechanische Eigenschaften und Korrosionsbeständigkeit reduzieren, da sie wie Spalten wirken.
- Die Außenporosität und Oberflächenfehler können durch eine angepasste Nachbearbeitung reduziert werden.
- Innere Porositäten können durch heißisostatisches Pressen (HIP) geschlossen werden. Mit solchen Prozessen wird die mechanische Festigkeit weiter erhöht.



Abb. 6: Querschnitt gesintertter MIM-Teile aus Edelstahl. Die Stickstoffdiffusion (dunkle Oberfläche) verhindert eine ungehinderte Diffusion und hohe Oberflächenhärte nach NTOH. Ein nachfolgender Bohrvorgang (rechts) entfernt die Stickstoffdiffusionszone teilweise. In diesem Bereich ist eine ungehinderte Diffusion möglich.

www.bodycote.com

