

Hochschule Merseburg

Fachbereich INW

Werkzeugmaschinen und Fertigungstechnik



Bachelorarbeit

Erstellung eines Konzeptes für ein Wasserstrahl-Schneid-Zentrum zur
Realisierung von Konturen an ebenen Teilen aus metallischen Werkstoffen

von

Wenqi Jiang

Merseburg

2021

**Erstellung eines Konzeptes für ein Wasserstrahl-Schneid-Zentrum zur
Realisierung von Konturen an ebenen Teilen aus metallischen
Werkstoffen**

vorgelegt bei
Prof. Dr.-Ing. R. Kademann
Hochschule Merseburg
Mechatronik

eingereicht von

Wenqi Jiang

25868

01.09.21

Hochschule Merseburg

Fachbereich Ingenieur und Naturwissenschaften

Aufgabenstellung für die Bachelorarbeit von Herrn Wenqi Jiang (25868)

Thema: Erstellung eines Konzeptes für ein Wasserstrahl-Schneid-Zentrum zur Realisierung von Konturen an ebenen Teilen aus metallischen Werkstoffen

Betreuer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW
Dipl.-Ing. (FH) Thomas Kirchhofer; Hochschule Merseburg, Fachbereich INW

Aufgabenstellung:

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes des Wasserstrahlschneidens und der zugehörigen Anlagentechnik in der Materialbearbeitung
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o. g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der drei genannten wasserstrahlgestützten Fertigungsverfahren
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispielteil (mit Begründung)
5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Rohteil, Fertigteil, Restmaterialien, Werkzeuge), Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante

Anzahl der Exemplare:

2 (zuzüglich 1 Exemplar in digitaler Form)



Prof. Dr.-Ing. M. Staiger
Vorsitzender des Prüfungsausschusses
des Studiengang MMP



Prof. Dr.-Ing. R. Kademann
Themenstellender Hochschullehrer

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung	3
1.1 Aufgabenstellung	3
1.2 Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung	3
1.3 Übersicht der Bachelorarbeit	3
2 Gegenwärtiger Stand des Wasserstrahlschneiden	5
2.1 Der Entwicklungshintergrund	5
2.1.1 Geschichte des Wasserstrahls	5
2.1.2 Geschichte der Wasserstrahlsteuerung	6
2.2 Stand der Technik	7
2.2.1 Grundprinzip des Wasserstrahlschneidens	7
2.2.2 Einzigartigkeit und Eigenschaften der Wasserstrahlschneidtechnik	8
2.2.3 Verschiedene Anwendungen für das Abrasiv- und Reinwasserstrahlschneiden	9
2.3 Vor- und Nachteile der Wasserstrahlschneidtechnik	13
2.4 Einflussfaktoren der Schnittqualität	14
2.5 Schneidverfahren im Vergleich	16
2.5.1 Im Vergleich zum Laserschneiden	16
2.5.2 Im Vergleich zum Plasmaschneiden	17
2.5.3 Im Vergleich zu anderen Schneidmethoden	17
2.6 Zugehörige Anlagen und Anlagetechnik	18
3 Technische Einrichtungen	25
3.1 FinJet P3020	25
3.2 TCIcutting BP-C 4020	27
3.3 OMAX 55100	29
3.4 Flow Mach 500 Waterjet Series	31
3.5 STM Mastercut	33
4 Allgemeine Lösungsvariante	35
4.1 Reinwasserstrahl	35
4.2 Abrasivwasserstrahl	36

4.2.1	Wasser-Abrasiv-Suspensionsstrahlschneiden(WASS)	36
4.2.2	Wasser-Abrasiv-Injektorstrahlschneiden(WAIS)	37
4.2.3	Abrasivmittel	38
5	Bewertung und Vergleich der allgemeinen Lösungsvarianten	41
5.1	Vergleich zwischen reinen und abrasiven Wasserstrahlschneiden	41
5.2	Bewertung und Vergleich zwischen WASS und WAIS	42
6	Prozess der Vorzugsvariante mit einem Beispiel und Begründungen	45
6.1	Auswahl des Beispielteils mit Begründung	45
6.2	Prozess der Vorzugsvariante und Darstellung des Zusammenhangs	46
6.3	Abfallsentsorgung	49
7	Zusammenfassung	51
	Quellenangaben und Literaturverzeichnis	52
	Selbständigkeitserklärung für Bachelorarbeit	53

1 Einleitung

1.1 Aufgabenstellung

Zunehmend gewinnt die Automatisierung in mannigfaltiger Form in der Produktionstechnik an Bedeutung, so dass es bei der Auslegung der einzusetzenden Fertigungstechnik eine Vielzahl an technischen und organisatorischen Rahmenbedingungen zu beachten gilt.

Im Rahmen der Bachelorarbeit sind, gemäß der o. g. Themenstellung, das Maschinenkonzept zu konzipieren, deren Struktur darzustellen sowie dazugehörige maschinenbautechnische und organisatorische Besonderheiten aufzuzeigen und deren Einbindung in den Prozessablauf zu analysieren.

1.2 Hinweise zur Lösung der Aufgabenstellung

1. Analyse des gegenwärtigen Standes des Wasserstrahlschneidens und der zugehörigen Anlagentechnik in der Materialbearbeitung
2. Dokumentation der vorhandenen Lösungen für die o. g. technischen Einrichtungen in derartigen Prozessen
3. Auslegung und Bewertung von allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der drei genannten wasserstrahlgestützten Fertigungsverfahren
4. Beschreibung einer möglichen Lösung an einem selbst gewählten Beispielteil (mit Begründung)
5. Darstellung des Zusammenhangs zwischen den maschinenbaulichen und organisatorischen Schnittstellen Materialfluss (Rohteil, Fertigteil, Restmaterialien, Werkzeuge), Transport und Handhabung sowie Ver- und Entsorgung der einzelnen Elemente für die Vorzugsvariante

1.3 Übersicht der Bachelorarbeit

Wasserstrahl, sein richtiger Name ist Hochdruck-Wasserstrahl-Schneidtechnologie. Diese Technologie stammt ursprünglich aus der USA und wurde in der Luft- und Raumfahrt- und Militärindustrie eingesetzt. Mit der Entwicklung des Wasserstrahlschneidens in den letzten Jahrzehnten wird das Wasserstrahlschneiden nach und nach zum

Mainstream-Schneidverfahren in der industriellen Schneidtechnik. Unter der Steuerung des Computers kann das Werkstück beliebig geschnitten werden. Es wird bevorzugt, weil das Kaltschneiden die physikalischen und chemischen Eigenschaften von Materialien nicht verändert. Es findet breite Anwendung im Bereich der industriellen Verarbeitung und ist auch für die Verarbeitung und Formgebung von Materialien von großer Bedeutung. Durch den Betrieb des Wasserstrahl-Schneidzentrums kann eine gute Schneidwirkung auf unterschiedlichen Materialien erzielt werden.

Deshalb muss die gegenwärtige bestehende Wasserstrahlschneidtechnologie evaluiert und optimiert werden. Gleichzeitig ist es auch notwendig, weitere Forschung und Entwicklung am Wasserstrahlschneidzentrum durchzuführen.

Vor diesem Hintergrund beschäftigt sich diese Bachelorarbeit mit folgender zentraler Zielstellung:

In dieser Bachelorarbeit werde ich die aktuelle Situation und Anlagentechnik des Abrasivwasserstrahlschneidens vorstellen und analysieren noch dazu die technische Ausstattung des Wasserstrahlschneidzentrums untersuchen. Dann werde ich die allgemeinen Lösungsvarianten für das Koppeln der drei genannten wasserstrahlgestützten Fertigungsverfahren auslegen und bewerten. Abschließend werde ich die entsprechenden allgemeinen Lösungen und Vorzugsvarianten erläutern und die Vorzugsvarianten nutzen, um bestimmte Konturen auf der Metallplatte zu realisieren.



Abb. 1: Wasserstrahlschneiden

2 Gegenwärtiger Stand des Wasserstrahlschneiden

2.1 Der Entwicklungshintergrund

2.1.1 Geschichte des Wasserstrahls

Erst in den 1930er Jahren begannen schmale Wasserstrahlen als industrielle Schneidevorrichtung zu erscheinen. 1933 entwickelte die Paper Patents Company in Wisconsin eine Papierdosier-, Schneide- noch dazu Aufrollmaschine, die mit einer diagonal bewegten Wasserstrahldüse ein horizontales bewegtes Endlospapier. Diese frühen Anwendungen erfolgten mit geringem Druck und beschränkten sich auf weiche Materialien wie Papier.

1958 entwickelte Billie Schwacha von North American Aviation ein System, das mit ultrahohem Druck harte Materialien schneidet. Das System verwendet eine Pumpe mit 100.000 psi (690 MPa), um einen Hyperschall-Flüssigkeitsstrahl zu liefern, der PH15 und anderen hochfesten legierten 7-MO-Edelstahl schneiden kann. Es wird auch zum Schneiden von Wabenlaminaten aus Mach 3 North America XB-70 Valkyrie verwendet, aber diese Schneidmethode führt zu einer Hochgeschwindigkeitsleistung und erfordert eine Änderung des Herstellungsprozesses.

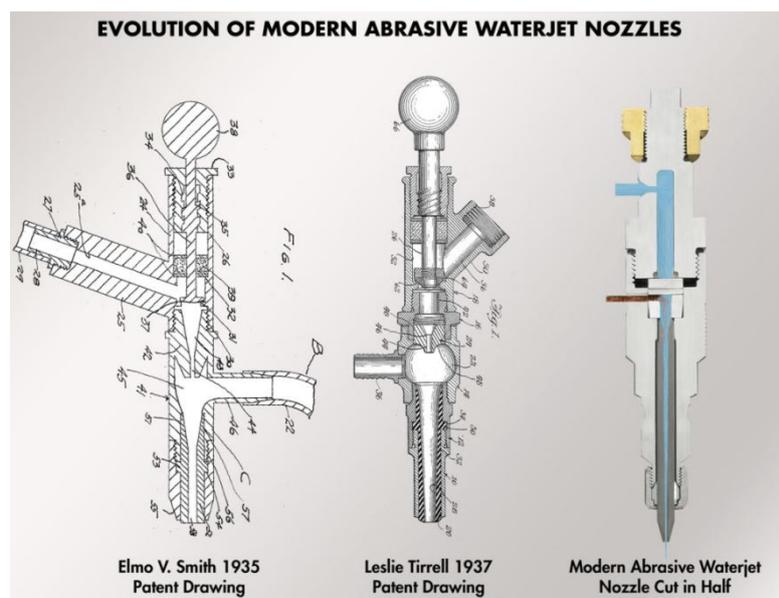


Abb. 2: Die Evolution der abrasiven Wasserstrahldüse

Während bei weichen Materialien das Schneiden mit Wasser möglich ist, wurde der Wasserstrahl durch die Zugabe eines Abrasivmittels zu einem modernen Zerspanungswerkzeug für alle Materialien. Dies begann 1935, als Elmo Smith für das Flüssigstrahlen die Idee entwickelte, dem Wasserstrahl ein Strahlmittel zuzusetzen. Smiths Design wurde 1937 von Leslie Tirrell von der Hydroblast Corporation weiter verfeinert, was zu einem Düsendesign führte, das eine Mischung aus Hochdruckwasser und Strahlmittel zum Nassstrahlen erzeugte.

1979 arbeitete Dr. Mohamed Hashish im Flow Research Laboratory und begann, Möglichkeiten zur Steigerung der Wasserstrahlschneidenergie zu untersuchen, um Metalle und andere harte Materialien zu schneiden. Dr. Hashish gilt als der Vater des Schleifens von Wasserstrahlen. Er erfand die Methode, gewöhnlichen Wasserstrahlen Sand hinzuzufügen. Als Sandmaterial verwendet er Granat (ein Material, das häufig auf Sandpapier verwendet wird). Mit diesem Verfahren kann der sandhaltige Wasserstrahl fast jedes Material schneiden. 1980 wurden erstmals abrasive Wasserstrahlen zum Schneiden von Metall, Glas und Beton eingesetzt. 1983 kam die weltweit erste kommerzielle Wasserstrahlschneidanlage auf den Markt und wurde zum Schneiden von Autoglas verwendet. Die ersten Anwender dieser Technologie waren die Luft- und Raumfahrtindustrie. Sie fanden heraus, dass Wasserstrahlen ideale Werkzeuge zum Schneiden von Edelstahl, Titan, hochfesten leichten Kunststoffen und Kohlefaserverbundwerkstoffen sind, die in Militärflugzeugen verwendet werden (bereits in zivilen Flugzeugen verwendet). Seitdem wurden Wasserstrahlschleifen von vielen anderen Industrien übernommen, wie Verarbeitungsanlagen, Stein, Keramikfliesen, Glas, Düsentriebwerken, Bau, Nuklearindustrie, Werften und so weiter.

2.1.2 Geschichte der Wasserstrahlsteuerung

Als das Wasserstrahlschneiden in traditionelle Fertigungsbetriebe Einzug hielt, war eine zuverlässige und genaue Steuerung der Schneidemaschine von entscheidender Bedeutung. Frühe Wasserstrahlschneidsysteme passten traditionelle Systeme wie mechanische Stromabnehmer und CNC-Systeme an, die auf der NC-Fräsmaschine von John Parsons von 1952 basieren und G-Code ausführen. Die der Wasserstrahltechnologie innewohnenden

Herausforderungen zeigten die Unzulänglichkeiten des traditionellen G-Codes, da die Genauigkeit von der Variation der Düsendeschwindigkeit abhängt, wenn sie sich Ecken und Details nähert.

Die Entwicklung von Bewegungssteuerungssystemen, die diese Variablen einbeziehen, wurde in den frühen 1990er Jahren zu einer wichtigen Innovation für führende Wasserstrahlhersteller Verwendung von gängigen PCs als Controller. Der größte Wasserstrahlhersteller Flow International (ein Spin-off von Flow Industries) hat die Vorteile dieses Systems erkannt und die OMAX-Software lizenziert, mit dem Ergebnis, dass die überwiegende Mehrheit der Wasserstrahlschneidmaschinen weltweit einfach zu bedienen, schnell und genau ist.

2.2 Stand der Technik

2.2.1 Grundprinzip des Wasserstrahlschneidens

Mit Hilfe einer hydraulischen Pumpe wird der erforderliche Betriebsdruck für das Wasserstrahlschneiden von rund 4.000 bar erzeugt und nahezu kontinuierlich aufrecht erhalten. Die Systeme mit 4.000 bar Schneiddruck entsprechen zur Zeit den am häufigsten vorkommenden Pumpenleistungen, wobei auch Systeme mit 6.000 bar Schneiddruck zum Einsatz kommen. Das Druckwasser wird über entsprechende Leitungen zum Schneidkopf der Wasserstrahlanlage geführt, der auf einer geeigneten Schneidmaschine montiert ist. Üblicherweise wird der Schneidkopf über einen X-Y-Koordinatentisch mit numerischer Steuerung betrieben.

Abhängig vom zu schneidenden Material kann das Wasser zusätzlich mit verschiedenem Abrasivmittel versetzt sein. Am Schneidkopf tritt das Wasser mit einem Strahldurchmesser von 0,1 bis 0,5 Millimeter aus einer feinen Düsenöffnung aus. Die Strahlleistung ist vom Druck des Wassers und dem Durchmesser der Düsenöffnung abhängig. Der Wasserstrahl trennt die oberflächennahen Werkstoffpartikel ab und verursacht einen spannungsfreien Schneidprozess ohne Wärmeeintrag in das Material. Je nach Beschaffenheit des Wasserstrahls sowie der Härte und Dicke des Materials sind unterschiedliche Schnitttiefen und -geschwindigkeiten erzielbar.

Im Schneidkopf der Wasserschneidanlage verrichtet eine Düse aus Rubin, Saphir oder Diamant die Einschnürung des Wasserstrahls.

Beim Abrasiv-Verfahren liegt der Düsen-Durchmesser um die 1,2mm und größer.

Für spezielle filigrane Schnitte und bei bestimmten Genauigkeitsanforderungen kommen beim Wasserstrahlschneiden aber auch Düsen mit viel geringerem Durchmesser zum Einsatz.

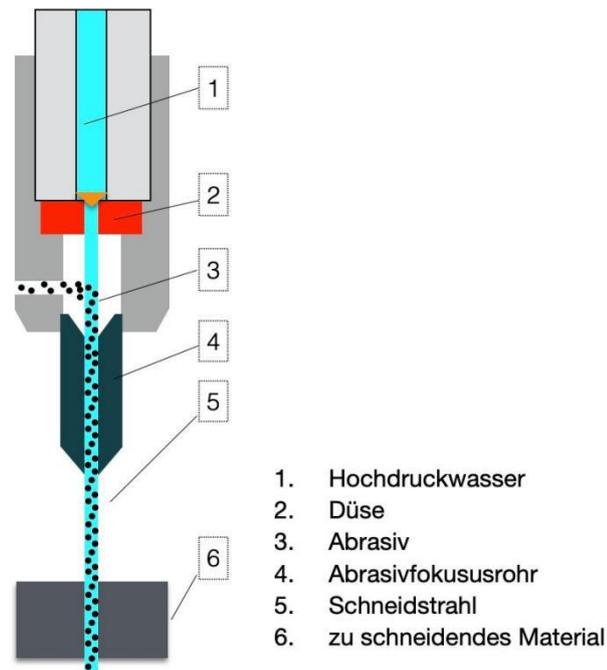


Abb. 3: Schemaabbildung eines Wasserstrahlschneidkopfes mit Abrasiv

2.2.2 Einzigartigkeit und Eigenschaften der Wasserstrahlschneidtechnik

Die Flexibilität und Materialfreundlichkeit des Wasserstrahlschneidsystems machen es einzigartig. Die hohe Flexibilität, mit der fast alle Stoffe geschnitten werden können, ist ebenso einzigartig wie die geringe mechanische Beeinflussung und thermische Neutralität und wird die Materialstruktur nicht negativ beeinflussen. Die Aushärtung des Einschnitts ist so gering wie die Aushärtung des Randbereichs des Einschnitts.

Prozesseigenschaften der Wasserstrahltechnik:

- Verwendet einen Hochgeschwindigkeitsstrom von Ultrahochdruckwasser 2068bar - 6205bar (210–620 MPa), der von einer Hochdruckpumpe mit möglicherweise im Strom suspendierten

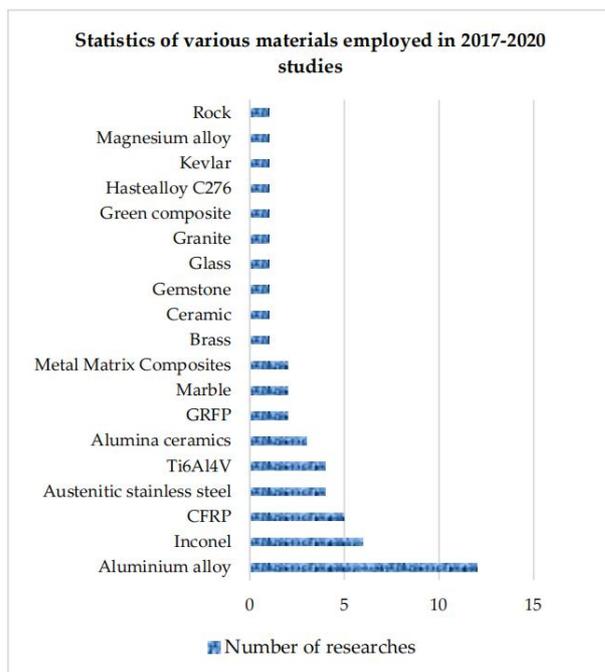
abrasiven Partikeln erzeugt wird.

- hoher Automatisierungsgrad
 - Wird für die Bearbeitung einer Vielzahl von Materialien verwendet, darunter wärmeempfindliche, empfindliche oder sehr harte Materialien.
 - Verursacht keine Hitzeschäden an Werkstückoberfläche oder -kanten.
 - Hat eine so präzise Schnittergebnisse, dass sich Bauteil und Verschnitt danach nahtlos wieder zusammenfügen lassen und eine Nachbearbeitung meist entfällt.
 - Wird die gesamte Bearbeitungsprozess spannungsfrei erfolgen.
 - Der Düsenabstand zum Werkstück beeinflusst die Schnittfugengröße und den Materialabtrag.
- Der typische Abstand beträgt 0,125 Zoll (3,2 mm).

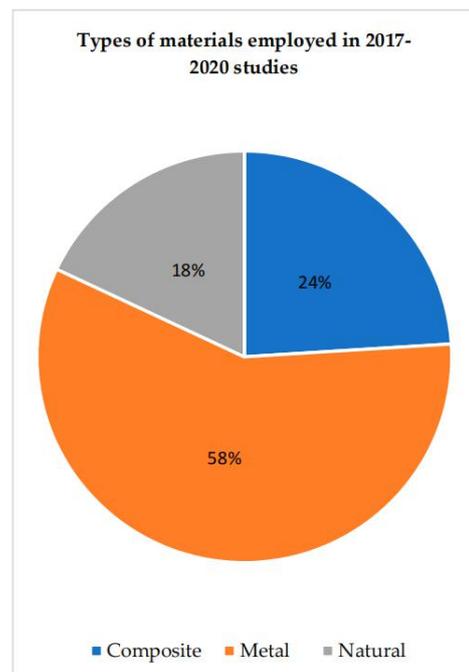
2.2.3 Verschiedene Anwendungen für das Abrasiv- und Reinwasserstrahlschneiden

[1] Anwendungen für Abrasive Wasserstrahlschneiden

In den letzten und letzten Jahren hat abrasives Wasserstrahlschneiden großes Interesse in der Forschung gefunden, da es ein vielseitiges Werkzeug ist, das in fast allen Herstellungsverfahren und Materialien eingesetzt wird. Abb. 4 zeigt die Statistiken verschiedener Werkstücke, die in abrasive Wasserstrahlschneiden Anwendungen verwendet werden, wie aus mehreren überprüften Veröffentlichungen hervorgeht.



(a)



(b)

Abb. 4: Statistik von (a) verschiedenen Werkstücken, die in abrasive Wasserstrahlschneiden Anwendungen verwendet werden, und (b) Materialtyp von 2017 bis 2020 in dieser Arbeit besprochenen Veröffentlichungen.

Das erste Diagramm zeigt eine generierte Zusammenfassung verschiedener Werkstücke, die in abrasive Wasserstrahlschneiden Anwendungen verwendet wurden, während das zweite Diagramm erstellte Übersichtsmaterialtypen für eine erweiterte Analyse basierend auf mehreren Forschungsstudien aus den Jahren 2017 bis 2020 darstellt.

I. Wasserstrahlschneiden für die Luft- und Raumfahrtindustrie

Das Abrasiv-Wasserstrahlschneiden eignet sich hervorragend für die Luft- und Raumfahrtindustrie, da es Aluminium, Stahl, Titan, Messing und verschiedene Verbundwerkstoffe gleichermaßen schneiden kann. Damit lassen sich beispielsweise Flugzeugrümpfe, Rotationsblätter sowie Flügel- und Leitwerksteile präzise schneiden.

Vorteile des Abrasiv-Wasserstrahlschneidens für die Luft- und Raumfahrt sind:

- Es entstehen keine Grate und raue Kanten
- Keine wärmebeeinflussten Zonen
- Weniger Materialabfall
- Erhöhte Produktivität durch schnelleres Schneiden



II. Wasserstrahlschneiden für die Automobilindustrie

Das Wasserstrahlschneiden, ob rein oder abrasiv, ist eine perfekte Lösung für die Automobilbranche. Aufgrund seiner Vielseitigkeit ist es in der Lage, Materialien wie Aluminium, Stahl und Verbundwerkstoffe sowie Türverkleidungen oder Teppiche für den Fahrzeuginnenraum zu schneiden.

Die Vorteile der Wasserstrahltechnologie beim Schneiden im Automobilbereich sind:

- Es entstehen keine Grate und raue Kanten

- Keine Wärmeeinflusszonen und schädliche Dämpfe
- Weniger Materialabfall
- Keine mechanische Beanspruchung der Schnittoberfläche
- Erhöhte Produktivität durch schnelleres Schneiden



III. Wasserstrahlschneiden für die medizinische Industrie

Bei der Herstellung von lebensrettenden medizinischen Implantaten und Instrumenten sowie chirurgischen Instrumenten ist nichts wichtiger als Präzision und die Erfüllung höchster Qualitätsstandards. Das Abrasivschneiden kann beides garantieren, da es mit höchster Genauigkeit schneidet und Materialien ohne unerwünschte Nebenwirkungen präzise in Form bringt.

Die Vorteile des Abrasiv-Wasserstrahlschneidens für medizinische Implantate und Instrumente sind:

- Keine Wärmeeinflusszonen und damit keine Oberflächenverhärtung und Veränderung der Eigenschaftsprofile
- Keine giftigen und gefährlichen Abfallstoffe
- Minimale Schnittfuge ermöglicht hochpräzise Schnitte
- Schneiden Sie Winkel, die herkömmliche Maschinen nicht schneiden können
- Weniger Materialabfall



IV. Wasserstrahlschneiden für Glas

Das abrasive Wasserstrahlschneiden ist in der Lage, verschiedene Glasarten wie Standardglas, Verbundglas, Panzerglas und Plexiglas® zu bearbeiten. Dies ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen, die mit der Kraft des Wassers unter Zugabe eines Abrasivmittels geschnitten werden können. Dazu gehören:

Linsen/Spiegel/Optische Laserteile/Glasartikel für die Elektronik- und
 Medizinindustrie/Fensterteile/Glasschmuck & Kirchenmosaiken/Inlays für Tischplatten/...

Die Vorteile der Wasserstrahltechnik beim Glasschneiden sind:

- Es entstehen keine rauen Kanten
- Winkel, die herkömmliche Maschinen nicht schneiden können
- Keine wärmebeeinflussten Zonen
- Weniger Materialabfall
- Eine minimale Schnittfuge ermöglicht detaillierte Schnitte
- Erhöhte Produktivität durch schnelleres Schneiden



V. Wasserstrahlschneiden für Stein und Fliesen

Mit dem Abrasiv-Wasserstrahlschneiden können Sie alle Arten von Steinen und Fliesen wie Granit, Kalkstein, Schiefer und Marmor u.a. für Böden sowie Keramikfliesen oder Spülbecken für Küche oder Bad schneiden.

Die Vorteile des Abrasiv-Wasserstrahlschneidens für Steine und Fliesen sind:

- Es entstehen keine rauen Kanten
- Im Vergleich zum Schneiden mit Sägeblättern und Sägen entsteht kein giftiger Staub oder Abfall
- Weniger Materialabfall
- Die minimale Schnittfuge ermöglicht kunstvolle und detaillierte Muster
- Erhöhte Produktivität durch schnelleres Schneiden und keine Notwendigkeit zum Messerwechsel oder Schärfen
- Keine Gefahr der Verformung und Verfärbung



[2] Verschiedene Anwendungen für das Reinwasserstrahlschneiden

Wasserstrahlschneiden für die Lebensmittelindustrie

Reinwasserstrahlschneiden ist das modernste Verfahren zum Schneiden einer Vielzahl von Lebensmitteln. Fleisch, Fisch, Geflügel, Tiefkühlkost, Kuchen und sogar Schokoriegel oder Pizza werden beispielsweise mit der Kraft puren Wassers geschnitten.

Gegenüber anderen Verfahren bietet das Wasserstrahlschneiden für die Lebensmittelbranche zahlreiche Vorteile:

- Es gewährleistet ein hygienisches Umfeld. Da keine Messer oder Metallschneiden notwendig sind, gibt es keine Kreuzkontamination von Werkzeug zu Lebensmitteln oder von Lebensmittel zu Lebensmittel.
- Es nutzt weder Chemikalien noch Hitze
- Es ermöglicht eine höhere Produktivität. Da keine Messer verwendet werden, müssen keine Klingen gewechselt oder geschärft werden. Daher entstehen keine Stillstandszeiten. Außerdem sorgt die kleine Schnittfuge für fast keinen Abfall und stellt sicher, dass die Lebensmittel nicht zusammengedrückt oder ausgewaschen werden, was zu einer längeren Haltbarkeit führt.
- Sorgt für eine extrem hohe Schnittqualität, die eine saubere Kante ohne Verschmieren oder Einreißen ermöglicht.

2.3 Vor- und Nachteile der Wasserstrahlschneidtechnik

Es ist eine wohlbekannte Tatsache, dass das Wasserstrahlschneiden eine Vielzahl von Vorteilen besitzt, die es einzigartig macht. Doch auch die Nachteile werden nicht verschwiegen. Für die Entscheidung über den Einsatz der Wasserstrahlschneidtechnik ist es notwendig, die Auswirkungen von Vor- und Nachteilen umfassend abzuwägen.

Vorteile der Wasserstrahlschneidtechnik:

- kein Aufhärten
- erzeugt keine Materialspannungen

- geringe Umweltbelastung: Kein Mikro-Staub, Rauch oder Dämpfe
- Geringe Tangentialkräfte auf das Werkstück
- Kein Nachschärfen des Werkzeugs
- Geringe Schnittfugenbreite, wenig Materialabtrag, gute Materialausnutzung, hohe Verschachtelungsdichte
- schnelle Prototypenherstellung
- leicht zu handhaben und universell einsetzbar
- Kaum Materialeinschränkungen, schneidet nahezu alles und gilt wahrscheinlich als das universellste Werkzeug
- kann auch zur Reinigung und Entgratung eingesetzt werden, Oberflächenreinigung

Nachteile der Wasserstrahlschneidtechnik:

- Teilweise geringe Schnittgeschwindigkeit, daher ergeben sich potentielle Einschränkungen bei Großserienfertigung, wenn nicht mit Mehrkopftechnik gearbeitet wird.
- Feuchtigkeit und direkter Wasserkontakt, daher eingeschränkte Einsatzmöglichkeiten, wo Kontakt mit Wasser oder hohe Luftfeuchte aufgrund des Materials/Umgebung vermieden werden muss.
- Nachlauf beim Austritt des Wasserstrahls, dadurch muss in Ecken und engen Radien die Schnittgeschwindigkeit abgesenkt werden, wenn nicht eine besondere Schwenkkopftechnik eingesetzt wird.
- Strahlaustrittsgeräusche können sehr hoch sein, wenn Überwasser geschnitten wird.
- Sorgfältige Wasseraufbereitung erforderlich und sinnvoll.
- Entsorgung des Schlammes muss geklärt werden.
- Halle kann verstauben, Probleme für benachbarte empfindliche Maschinen möglich

2.4 Einflussfaktoren der Schnittqualität

Beim Wasserstrahlschneiden beeinflussen verschiedene Parameter die Schnittleistung und die Schnittqualität. Diese Einflussfaktoren sind:

- der Pumpendruck
- der Düsenabstand zur Materialoberfläche

- der Durchmesser der Düsenöffnung
- der erzeugte Schneiddruck des Wasserstrahls
- die Vorschubgeschwindigkeit des Schneidkopfs

Hier sehen Sie Fotos von Schnittmustern, die mit einer 50 PS-Pumpe bei 4.000 bar Schneiddruck erzeugt wurden. Deutlich sichtbar: Beim Wasserstrahlschneiden hängt die Schnittqualität entschieden von der Vorschubgeschwindigkeit ab.

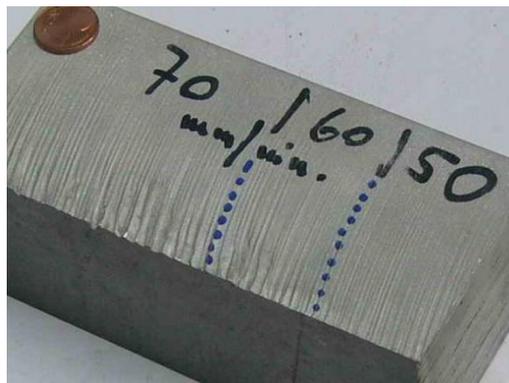


Abb. 4: 70mm Alu mit verschiedenen Geschwindigkeiten mit Wasserstrahl geschnitten 70mm

Alu: je höher die Schnittgeschwindigkeit, desto gröber der Schnitt

Daraus können wir Grundregel ziehen:

- Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit nimmt die Schnittqualität eines Wasserstrahlzuschnitts ab.

Ursache der Qualitätsbeeinflussung des Zuschnitts beim Wasserstrahlschneiden:

Das Schneidmittel, der Sand, nutzen sich mit zunehmender Schneidlänge ab, die Granatkörner stumpfen ab und verlieren so ihre Abtragsfähigkeit. Um die abnehmende Schnittleistung zu kompensieren fügt man dem Schnitt mehr Sand hinzu, was durch Erhöhung der Schneidwassermenge pro Zeiteinheit erfolgt, dies kann durch Reduktion der Schnittgeschwindigkeit erzielt werden. Das Absenken der Schnittgeschwindigkeit schafft hier eine schnelle und einfache Abhilfe und verbessert die Schnittqualität.

Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit besitzt der Wasserstrahl einen stärkeren Nachlaufeffekt. Der Strahl hat weniger Zeit zum Trennen zur Verfügung und läuft nach unten

schräg weg. Unsaubere Ecken, Schnittschrägen, raue Oberflächen und abgerundete Ecken und Löcher sind die Folge. Um diesem Zustand entgegen zu wirken, können bestimmte 3D-Schneidköpfe durch Anpassung des Schnittwinkels die Schnittschräge kompensieren.

Beispiel für eine 50PS/37kW-Pumpe:

5 mm dünner Edelstahl kann mit

- 250 mm/min in hoher Qualität oder auch mit

- 700 mm/min in geringerer Qualität geschnitten werden.

Bei dem Bearbeitungsprozess müssen wir uns die Auswahl der Vorschubgeschwindigkeit überlegen.

Wenn die Genauigkeit keine Rolle spielt, rechnet man mit 700 mm/min Vorschub bei dieser Materialdicke.

Wenn man gehobene Schnittqualität bevorzugt und womöglich den Fertigzustand des Bauteils erzeugen will und damit die weitere Nacharbeit reduzieren möchte, dann nutzt man eine entsprechend geringere Schnittgeschwindigkeit von beispielsweise 250 mm/min.

2.5 Schneidverfahren im Vergleich

2.5.1 Im Vergleich zum Laserschneiden

Die Investition in Laserschneidanlagen ist relativ groß, von denen die meisten zum Schneiden von dünnen Stahlplatten und einigen nichtmetallischen Materialien verwendet werden, und die Schnittgeschwindigkeit ist relativ hoch.

Beim Laserschneiden kommt es jedoch zu Lichtbogenmarkierungen und Hitzeeffekten an der Schnittfuge.

Darüber hinaus ist das Laserschneiden für einige Materialien keine ideale Lösung. Nichteisenmetalle und -legierungen wie Aluminium und Kupfer.

Die Forschung an Hochleistungs-Lasergeneratoren versucht, das Schneiden dicker Stahlplatten zu lösen, aber die Kosten für Ausrüstungsinvestitionen, Wartung und Betriebsverbrauch sind enorm. Wasserstrahlschneiden hat geringe Investitionen, niedrige Betriebskosten, eine große Auswahl an Schneidmaterialien, eine hohe Effizienz und eine

bequeme Bedienung und Wartung.

2.5.2 Im Vergleich zum Plasmaschneiden

Plasmaschneiden ist im Grunde ein Verfahren, das verwendet wird, um im Allgemeinen Stahl und manchmal andere Metalle unterschiedlicher Dicke zu schneiden. Dieser Prozess besteht aus dem Schmelzen von Metall und dem anschließenden Entsorgen des geschnittenen Metalls aus dem Schlitz. Dies geschieht mittels eines konzentrierten Plasmalichtbogens mit einer großen kinetischen Energie. Tatsächlich verwendet das Plasmaschneiden einen hohen Temperatur, die im Kernplasmabogen und Hochgeschwindigkeitsplasmastrom vorherrscht. Der Lichtbogen wird zwischen der Wolframelektrode und dem geschnittenen Objekt gebildet. Aufgrund der Hochtemperatur-Plasmaschneidkante wird die Einmündung destruktiv beeinflusst. Mit diesem Verfahren können wir in der Regel von 50 mm bis 150 mm Dicke schneiden.

2.5.3 Im Vergleich zu anderen Schneidmethoden

Für einige Metallteile kann das Stanz- und Scherverfahren angewendet werden, das effizient und schnell ist, jedoch spezielle Formen und Werkzeuge erfordert. Im Vergleich zu dieser Schneidmethode hat das Wasserschneiden eine bessere Flexibilität und kann jederzeit Werkstücke jeder Form schneiden. Vor allem bei dicken Materialien ist der Stanz- und Scherprozess schwer oder gar nicht zu realisieren und das Wasserschneidverfahren ist tatsächlich idealer.

Auch das Brennschneiden stellt ein weit verbreitetes Schneidverfahren im Metallbereich dar. Der Schnittdickenbereich ist sehr groß, aber im Vergleich zum Wasserschneiden ist die thermische Wirkung offensichtlich und die Schnittflächenqualität und Genauigkeit sind schlecht.

Darüber hinaus kann das Wasserschneiden die Schneidbearbeitung einiger spezieller Materialien wie hohem Schmelzpunkt, Legierungen und Verbundwerkstoffen gut lösen.

In der schneidenden und verarbeitenden Industrie von Glas, Stein, Keramik usw. werden

traditionell Diamantfräser zum Schneiden, Sägen, Fräsen usw. verwendet. Der Schnittdickenbereich ist sehr groß und die Geschwindigkeit ist relativ hoch.

Bei Platten herkömmlicher Dicke kann das Wasserstrahlschneiden jedoch ein hochpräzises Schneiden beliebiger Kurven mit hoher Ausbeute und niedrigeren Produktionskosten durchführen und die Wertschöpfung der verarbeiteten Produkte erheblich steigern.

Technologie	Prozessart	Materialien	Nachbearbeitung der Kanten
Wasserstrahl	Erosionsprozess = Flüssiges Hochgeschwindigkeitssandpapier	Nahezu alle	Nein
Plasma	Verbrennungs-/Gasschweißprozess mit hohen Temperaturen durch ionisiertes Gas	Hauptsächlich Stahl, Edelstahl und Aluminium	Zumeist
Laser	Schmelzprozess durch konzentrierten Laserstrahl	Hauptsächlich Stahl, Edelstahl und Aluminium u.a.	Manchmal
EDM/Brenner	Erosionsprozess durch elektrische Entladung	Nur leitfähige Materialien	Nein

Abb. 5: Schneidverfahren im Vergleich

Das Wasserstrahlschneiden stellt eine ideale Lösung zum Schneiden von wärmeempfindlichen Materialien dar. Es erzeugt beim Schneiden keine belastende Hitze und liefert feine Schnittkanten mit minimalen Schnittfugen. Zur Erzeugung des Hochdruckstrahls kommen leistungsfähige Hochdruckpumpen und feine Düsen zum Einsatz. Selbst sehr harte oder dicke Werkstoffe lassen sich mit einem passend dimensionierten Wasserstrahl mit oder ohne Abrasivmittel problemlos schneiden.

2.6 Zugehörige Anlagen und Anlagentechnik

Wasserstrahlschneidmaschinen bzw. Wasserstrahlschneidsysteme oder Wasserstrahlschneidanlagen sind Werkzeugmaschinen, mit denen das Trennen von Werkstücken mittels dem Verfahren des Wasserstrahlschneidens möglich ist. Es gibt viele Hersteller von Wasserstrahlschneidmaschinen.

Wie sieht eine Wasserstrahlschneidanlage aus?

Als Beispiel nehme ich die Wasserstrahlschneidmaschine von OMAX.

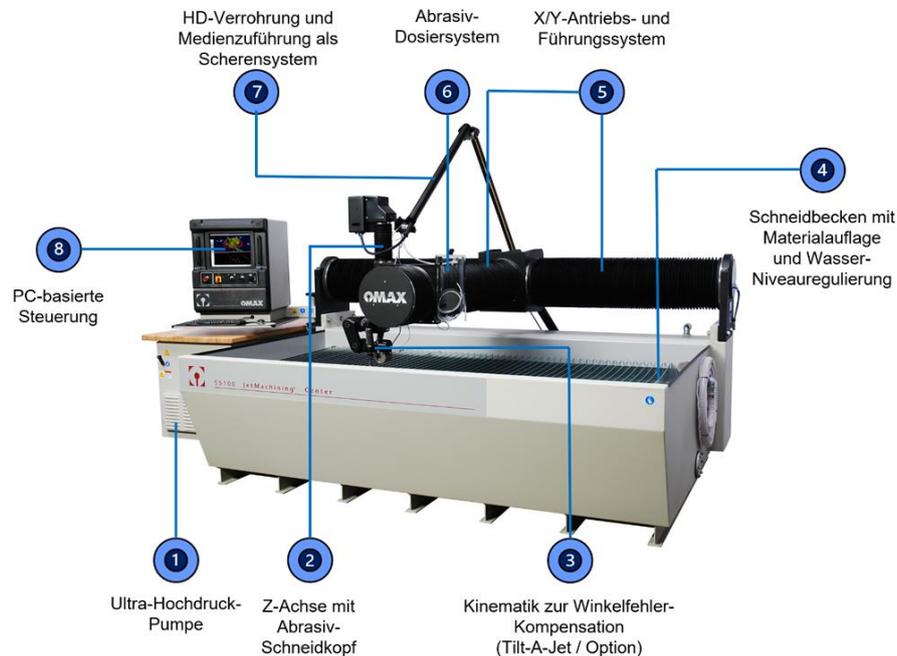


Abb. 6: Wasserstrahlschneidanlagen und ihre Bestandteile

1. Ultra-Hochdruck-Pumpe

Damit der Wasserstrahl beim Wasserschneiden möglichst pulsationsfrei ist, kommt eine Hochdruckpumpe zum Einsatz. Einfache Modelle werden lediglich mittels Druckluft betrieben, was zu einem schlechten Wirkungsgrad führen kann. Verbreiteter beim Wasserstrahlschneiden sind Hochdruckpumpen, die durch Ölhydraulik einen Druck bis 200 bar erzeugen. Ein Proportionalventil ermöglicht die Druckregelung. Komprimiertes Öl wird zunächst in den Hochdruckübersetzer gepumpt. Dort wirkt es mit Übersetzungsverhältnissen von 20:1-40:1 auf die Wasserfläche. Dadurch wird ein Druck von bis zu 6200 bar ermöglicht. Das Wasser gelangt danach in einen Pulsationsdämpfer, der wie ein Gashochdruckspeicher als eine Art Pufferzylinder mit 1 bis 2 l Volumen funktioniert. Druckschwankungen bei der Umkehrung des Hydraulikkolbens werden so gedämpft. Je größer diese Puffer konzipiert sind, desto besser ist die Schneideleistung. Heutige Anlagen verfügen über eine Leistung zwischen 11 und 149 kW bei einer Fördermenge von bis zu 15,2 l pro Minute. Neuere Maschinen setzen Schneidpumpenaggregate mit Plungerpumpen ein, die direkt einen Druck von 4100 bar

erzeugen können. Dadurch wird die Hydraulik und durch die geringe Pulsation außerdem der Pulsationsdämpfer überflüssig. Der erzeugte Volumenstrom beträgt bis zu 100 l/m bei einem Druck von 3800 bar und einer Antriebsleistung von 7450 kW.



Abb. 7: Ultrahochdrucksystem, Maschine und Steuerungssystem

2. Z-Achse mit Abrasiv-Schneidkopf

Ein Wasserstrahl-Schneidkopf ist das Teil, in dem der Wasserdruck in Wassergeschwindigkeit umgewandelt wird, wenn das Wasser die Edelsteindüse passiert.

Beim Abrasiv-Wasserstrahlschneiden beinhaltet der Schneidkopf auch die Mischkammer und die Mischröhre. In manchen Fällen ist in den Schneidkopf auch ein Ein-/Aus-Ventil integriert. Dieses Ventil sitzt direkt über der Düse und ist mit einer Art von Stößel- und Sitzkonfiguration ausgestattet, um dem Bediener oder dem CNC-Controller das Starten und Stoppen des Wasserstrahls zu ermöglichen.

Die gemeinsame Verbindung von Abrasiv Schneidkopf und Z-Achse verbessert die Flexibilität des Schneidsystems und ermöglicht eine präzise Positionierung. In dem Fertigungsprozess sollten je nach Verarbeitungsanforderung unterschiedliche Abrasiv Schneidkopf gewählt werden. Unter der Steuerung des numerischen Steuersystems bewegt sich der Wasserstrahlschneidkopf gemäß dem angegebenen Programm, um das Werkstück auf dem Arbeitstisch in jeder Kurve zu schneiden.

3. Kinematik zur Winkelfehler-Kompensation (Tilt-A-Jet/Option)

Wasserstrahlschneiden nutzt für harte Materialien einen kalten Hochdruckwasserstrahl zum Transport von Abrasiv-Partikeln, die einen schmalen Schnittspalt ins Material „schleifen“. Ein Wasserstrahl neigt dazu, sich aufzuspreizen oder kann begrenzt auch zusammengepresst werden – dies führt oft zu einem Winkelfehler im Schnittspalt. In einem harten Material entsteht oft ein V-förmiger Schnittspalt, in einem weichen Material ein A-förmiger.

Durch Erhöhung der Schnittenergie oder Reduzierung der Schnittgeschwindigkeit kann zwar die Schnittneigung teilweise reduziert werden, dennoch besteht das Problem, dass nicht vollständig vertikal geschnitten werden kann. Deshalb ist dieses Kompensation-Gerät äußerst notwendig, um die Genauigkeit des Schneidens zu verbessern. Dies ist der direkteste und effektivste Weg, um das Schnittneigungsproblem zu lösen und die Genauigkeit zu erhöhen.

Vorsicht: Wenn man Aluminium schneidet, verläuft der Schnittspalt aufgrund der Werkstoffhärte meist recht gerade (ohne Winkelfehler).

4. Schneidbecken mit Materialauflage und Wasser-Niveauregulierung

Der beim Schneidprozess entstehende Abrasivschlamm sammelt sich im Schneidpool an. Damit man die vielen Vorzüge von Wasserstrahltechnik in vollem Maß (und über einen langen Zeitraum) optimal ausschöpfen kann, sollte der beim Schneiden anfallende Abrasivschlamm umgehend abgesaugt werden. Eine andere Methode ist, das verbrauchte Abrasiv mit dem automatischen Abrasiv-Spülsystem aus dem Schneidbecken ausgespült wird. Schon eine Anlage mit nur zwei Schneidköpfen produziert täglich mehr als 1.000 kg Abrasivschlamm. Ist dieser Schlamm erst verhärtet, muss das Schneidbecken manuell gereinigt werden – das kostet die ausführende Werkstatt viel Zeit.



Abb. 8: ein automatisches, platzsparendes Abrasiv-Ausspülsystem

Das mit Schneidmaterial und Abrasivstoffen vermischte Schneidwasser muss aus dem Strahlvernichter entfernt werden. Die kontinuierliche Entsorgung besteht entweder aus einem Kratzförderer, der die Schneidmittelreste aus dem Strahlvernichter entfernt, oder aus einem Wasserumlauf, der die Reste aus dem Strahlvernichter aussondert. Das Wasser aus dem Strahlvernichter wird dann gefiltert und dem Schneidbecken wieder zugeführt.

5. X/Y-Antriebs- und Führungssystem

Auf einem Bewegungssystem werden die Antriebsmotoren von den CNC-Antriebsverstärkern mit Plus-/Minus-Strom versorgt, um eine Drehung im oder gegen den Uhrzeigersinn zu ermöglichen. Mithilfe dieser Drehung wird die Maschine bewegt.

Das X/Y-Antriebs- und Führungssystem wird von dem Computer gesteuert, um eine genaue Positionierung und ein automatisches Schneiden zu ermöglichen.

6. Abrasiv-Dosiersystem

Beim Wasserschneiden wirkt sich die Frage, ob das Abrasivmittelversorgungssystem gleichmäßig Abrasivmittel liefern kann, direkt auf die Effizienz, Qualität und Ausfallrate des Wasserschneidens aus. Es ist ein wichtiger Indikator zur Messung der Arbeitsleistung der Wasserstrahlschneidmaschine und eine der Schlüsselkomponenten der Wasserstrahlschneidmaschine. Seine Hauptfunktion besteht darin, das Abrasive entsprechend den Anforderungen des Schneidprozesses im Handumdrehen ein- und auszuschalten.

7. HD-Verrohrung und Medienzuführung als Scherensystem

8. PC-basierte Steuerung

Präzise Schneidbewegungen und schnelle Schnittgeschwindigkeiten helfen man bei der Optimierung der Schneidvorgänge und bei der Steigerung der Produktivität.

Auf einem Bewegungssystem wandelt die Steuerung das Teileprogramm, Geschwindigkeiten und Strahl-Ein-/Ausschaltbefehle in eine Sprache um, die das Elektrosystem verstehen kann.

In der Regel wird ein CNC- (Computer Numerical Control-)Steuerungssystem, ein PC-basiertes Steuerungssystem oder eine Kombination aus beiden verwendet.

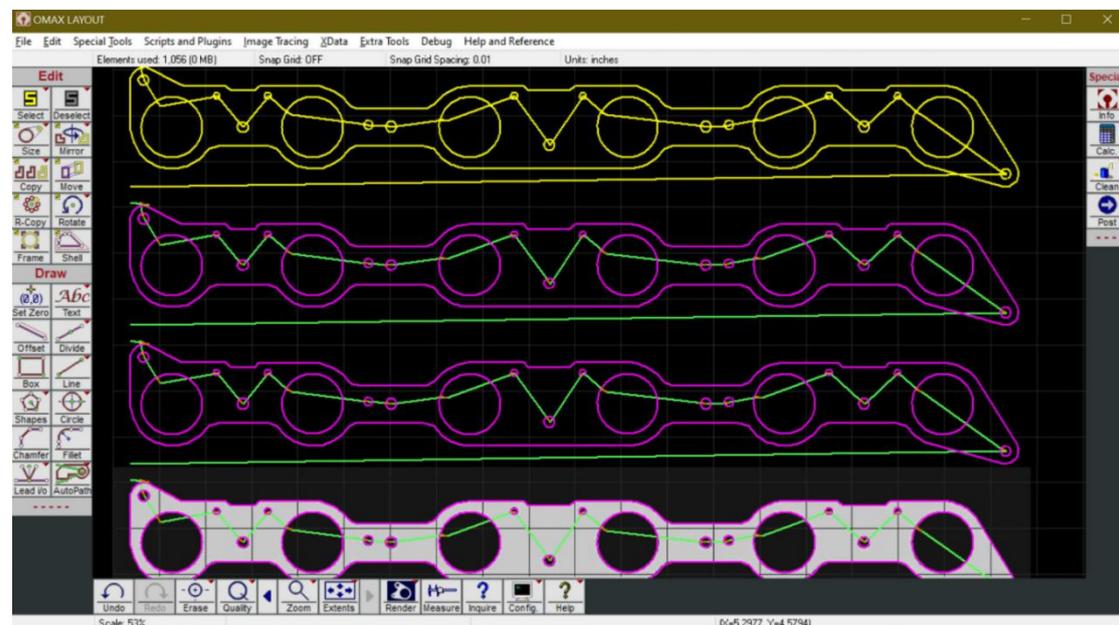


Abb. 9: OMAXs Software bietet

eine blitzschnelle Programmierung und außergewöhnliche Leistungsfähigkeit

Zur Erläuterung: Ein Ingenieur oder Designer könnte in einem CAD- (Computer Aided Design-)Programm wie beispielsweise AutoCAD® ein auf dem Wasserstrahlssystem zu schneidendes Quadrat zeichnen. Ein Programmierer (kann auch dieselbe Person sein) speichert diese Zeichnung eines Quadrats als .dxf- oder .dwg-Datei ab und importiert sie in ein CAM- (Computer Aided Manufacturing-)Softwarepaket.

Dort fügt der Programmierer nach Bedarf Stopp-Positionen, Verfahrwegrichtung, Schneidausgleich und Verfahrgeschwindigkeit hinzu. Diese Datei wird dann an das Steuerungssystem übertragen, wo der Bediener (könnte wieder dieselbe Person sein) die Datei im Steuerungssystem des Maschinenwerkzeugs öffnet, den Schneidkopf in die Startposition über das Zielmaterial bringt und den Zyklus zum Schneiden des Teils startet.

Das Steuerungssystem wandelt die Schneiddatei in elektrischen Strom um, der von den Steuerungssystem-Antrieben zu den Maschinenwerkzeug-Motoren geleitet wird, um die Maschine zu bewegen. Außerdem steuert das System Digitalausgänge zum automatischen Starten und Stoppen des Wasser- und Abrasivstrahls.

3 Technische Einrichtungen

3.1 FinJet P3020

Die FinJet P-Modellen werden von Hochleistungs-Linearmotoren mit einer maximalen Leistung von 7000 N angetrieben und liefern Geschwindigkeiten von 40 oder sogar bis zu 100 m/min. Darüber hinaus ist immer ein separates Messsystem für Präzisions-Linearführungen verbaut, dass trotz hoher Beschleunigung eine präzise Positionierung der Maschine ermöglicht.

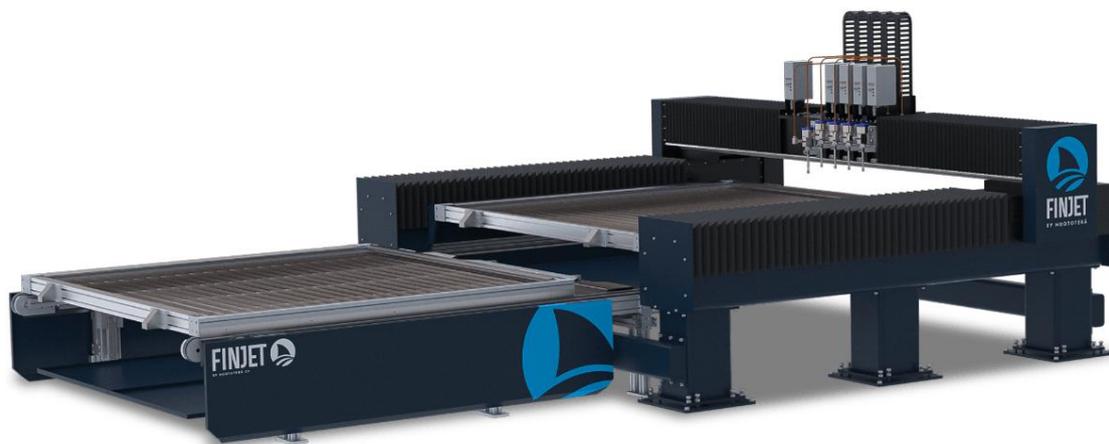


Abb. 10: FinJet P3020, eine Reinwasserstrahlschneidmaschine

Vorteile eines Linearmotors:

- Hohe Geschwindigkeiten und Beschleunigungen
- Messfunktion im System integriert
- Die absolute Position ist immer bekannt
- exakte Systempositionierung und Wiederholbarkeit
- Induktives berührungsloses Messprinzip
- Gute Abriebfestigkeit
- Keine verschlissenen Getriebekomponenten

Das HMI (Human Machine Interface) ist ein 21,5-Zoll-Full-HD-Touchscreen mit einem leistungsstarken 1,91-GHz-Prozessor. Die Benutzeroberfläche wurde basierend auf praktischer Erfahrung so gestaltet, dass sie einfach und dennoch leistungsstark ist. Sie bietet

alle Funktionen, die für ein effektives Arbeiten erforderlich sind.



Abb. 11: 21,5" full HD wide screen operation panel

Die Wasserstrahl-schneidmaschinen FinJet P sind so konzipiert, dass sie die hohen Beschleunigungen und Geschwindigkeiten beim Reinwasserstrahl-schneiden optimal nutzen. Die traditionelle Z-Achse wurde durch einen in der Höhe variablen Schneidetisch ersetzt. Dies verringert die Gewichte der X-Brücke und Düsen-einheiten um höhere Geschwindigkeiten zu realisieren.

In die Schaltschränke der FinJet P-Modelle wird grundsätzlich eine geschlossene Zirkulationskühlung eingebaut, wodurch die Elektro- und Automatisierungskomponenten langlebiger und die Maschine weniger stör-anfällig wird.

Schnittbereich:	2 x 2 – 3 x 2 m
Z-Achse:	100 / 200 / 300 mm
Positioniergenauigkeit:	± 0,025 mm/m
Wiederholgenauigkeit:	± 0,015 mm
max. Geschwindigkeit X- und Y-Achse:	40 / 100 m/min
Schneidköpfe:	1 – 6, 3- oder 5-achsig

Abb. 12: Technische spezifikationen von FinJet P3020

3.2 TCIcutting BP-C 4020

Die Maschine TCI Cutting BP-C 4020-1 umfasst die folgenden Elemente:

- Aufbau der Maschine mit Schneidtablett und Brücke mit Schneidkopf für abrasives und reines Wasserschneiden.
- Komplette numerische Steuereinheit TCICNC 4.0, eingebaut in einen hochwertigen Schaltschrank mit Multi-Touchscreen der neuen Generation.
- Automatischer Schleifmittelzuführer mit 200L Fassungsvermögen. TCI ABRALINE 1.0
- Automatischer Abrasivmengenregler, unabhängig für jeden Schneidkopf, gesteuert von der Konstruktionssoftware. TCI-SCHLEIFMITTEL 3.0
- Schleifrücklaufsystem TCI CUT CONTROL 3.0
- Hochdruckpumpe KMT von 50 PS SL-VI • 4100 bar • 1L mit:
 - Hydraulikpumpe mit variablem Durchfluss und kompensiertem Druck
 - Hoch- / Niederdruckauswahl, die das Durchstechen ermöglicht
 - Elektrische Umkehrung des Schneidkopfes
 - Geräuschpegel unter 80dB
 - Leckageerkennung im Hochdruckkreislauf
 - Langlebige Hochdruckdichtungen
 - System zur Demontage des Kolbens ohne Demontage des Zylinders
 - Luft/Öl-Wärmetauscher
- Installation von Hochdruckschläuchen
- Mensch-Maschine-Schnittstelle TCI SMARTTOUCH V6.0
- Kommunikationssystem zur Kommunikation zwischen Maschine und TCI
- CAD/CAM-Software und Postprozessor



Abb. 13: TCIcutting BP-C 4020, eine Rein- /Abrasivwasserstrahlschneidmaschine

Vorteile und Merkmale:

- Leerlaufgeschwindigkeit bis zu 85 m/min
- Intelligentes System bewegt bis zu 4 Schneidköpfe unabhängig und ermöglicht so eine maximale Ausnutzung des Materials
- Echtzeit Monitoring Software für Verbrauchsteile ermöglicht vorbeugende Wartung, um Ausfallzeiten vorzubeugen
- CNC-Steuerung, Schaltschrank, Verstärker und weitere umgebende Geräte sind vom Arbeitsbereich der Maschine abgeschirmt
- Möglichkeiten für frontale und seitliche Beladung von Materialien
- Autonom funktionierendes System
- Anti-Kollisionssystem mit digitaler Empfindlichkeitsregulierung

TECHNICAL DATA	MODELS	
Feature	BP-C 1515	BP-C 4020
Maximum thickness of the part	200 mm	200 mm
Maximum permitted load	790 kg/m ²	790 kg/m ²
Number of cutting heads	1 to 2	1 to 2
Maximum simultaneous positioning speed	85 m/min	85 m/min
Maximum cutting speed	20 m/min	20 m/min
Machine tolerance in accordance with VDI/DGQ 3441	± 0.05 mm/m	± 0.05 mm/m
Repeatability precision	± 0.025 mm	± 0.025 mm
Dimensions	1500x1500x200mm	4000x2000x200 mm

Abb. 14: Technische spezifikationen von TCIcutting BP-C 4020

3.3 OMAX 55100

Mit über einem Jahrzehnt in Betrieb ist das OMAX 55100 JetMachining® Center das branchenübliche Arbeitspferd für die Hochgeschwindigkeits-Präzisionsbearbeitung. Vom Prototypenbau bis hin zur Serienfertigung kann der 55100 Materialien bis zu einer Größe von 4' x 8' schnell und effizient schneiden. Die einfache Programmierung verwendet DXF- oder CAD-Zeichnungen und erstellt schnell Schnittpfade, wodurch die 55100 ideal für die Kleinserienfertigung und Just-in-Time-Fertigung ist.



Abb. 15: TCIcutting BP-C 4020, eine Rein- /Abrasive Wasserstrahlschneidmaschine

- Höchste Schnittgeschwindigkeiten und höchste Präzision im Vergleich zu allen Schleifdüsen in der Branche
- Programmierbare motorisierte Z-Achse mit einer präzisen MAXJET® 5i-Düsenbaugruppe kann die Schneidproduktivität und Prozesseffizienz steigern
- Präzisions-X-Y-Achse starr am Schneidetisch montiert
- Vorgespannte Linearlager und Präzisions-Kugelgewindetriebe
- wartungsarme, hochzuverlässige, harte Klempnerarbeit im Scherenstil
- Antriebssystem gegen Wasser, Schmutz und Splitt abgedichtet
- Schnelle Wasserstandskontrolle für leises und sauberes Schneiden unter Wasser
- Das Bulk Abrasive Delivery System transportiert Granat aus dem großen Trichter der

Baugruppe in den Zero Downtime Trichter, der sich auf der Z-Achse befindet

- Optionales Feststoffentfernungssystem mit variabler Geschwindigkeit (VS-SRS)
- Die EnduroMAX-Pumpentechnologie liefert die branchenweit höchste Düsenleistung für schnelleres und effizienteres Schneiden
- Umweltfreundliches „grünes“ System mit leisem und sauberem Betrieb bei geringem Stromverbrauch

55100

MACHINE DIMENSIONS		STANDARD MODEL SPECIFICATIONS	
Footprint (with controller)	12'11" x 7'10" (3,937 mm x 2,388 mm)	Material Support Slats	4" x 1/8" Galvanized Steel
Weight (tank empty)	8,000lb (3,629 kg)	Maximum Supported Material Load	400 lbs/sq ft (1,950 kg/sq meter)
Height (with scissor plumbing)	9'10" (2,997 mm)	Electrical Requirements	3-Phase, 380-480 VAC ±10%, 50-60 Hz
Operating Weight	22,000 lb (9,979 kg)	Noise Level	Below 80 dBA at one meter for submerged cutting
WORK ENVELOPE		Speed	180 in/min (4,572 mm/min)
X-Y Cutting Travel*	8'4" x 4'7" (2,540 mm x 1,397 mm)	Linear Positional Accuracy*	±0.001" (±0.025 mm)
Z-Axis Travel*	8" (203mm)	Repeatability*	±0.001" (±0.025 mm)
Table Size	10'6" x 5'5" (3,200 mm x 1,651 mm)	Ballbar Circularity*	±0.0025" (±0.064 mm)

Abb. 16: Technische spezifikationen von OMAX 55100

3.4 Flow Mach 500 Waterjet Series

Mach 500 ist vom Design her der schnellste, schnellste und genaueste Wasserstrahl.



Abb. 17: Mach 500 Waterjet Series, eine Rein- /Abrasive Wasserstrahlschneidmaschine

- Unübertroffene Genauigkeit

Mit der modernen Architektur, der Präzisionsbewegung und der führenden Ultrahochdrucktechnologie von Flow im Kern ist der Mach 500 in Geschwindigkeit und Genauigkeit unübertroffen. In Kombination mit Dynamic XD und Compass gibt es keinen vergleichbaren Wasserstrahl.

- Sanfte Bewegung

Mach 500 ist mit erstklassigen Komponenten führender Werkzeugmaschinenhersteller für den Maschinenantrieb, das Präzisionsbewegungssystem, die Bewegungssteuerung und die solide Modellsoftware ausgestattet, um eine Maschine zu schaffen, die die schnellste und genaueste auf dem Markt ist.

- Solide Basis

Die von Flow entwickelte Ultrahochdruck-Pumpentechnologie, Maschinensteuerung, Schneidköpfe, branchenführende Software und fortschrittliche Handgelenkgelenke bilden die Grundlage des Mach 500.

- Entwickelt für die Produktion

Mach 500 hat Branchenführende Antriebstechnologie für reibungslose Bewegungen und schnelle Teileproduktion.

- Robuste Konstruktion

Komplett aus Stahl, 2-teilige Konstruktion und vollständiger Umweltschutz für zuverlässigen harten Einsatz.

- Mach 500 Controller

Der Mach 500 verfügt über einen mobilen Konsolen-Controller mit einem 17-Zoll-Bildschirm, der Ihnen die Flexibilität bietet, sich nach Bedarf frei über Ihren Wasserstrahl zu bewegen.

- CF 900 Drucktrichter

Der Flow CF 900 ist ein kontinuierliches Schleifmittelzufuhrsystem mit zwei Trichtern, das die Verfügbarkeit des Schleifmittels während des gesamten Schneidprozesses präzise überwacht. Dadurch wird sichergestellt, dass Ihr Schneidprozess nie durch Granatnachfüllungen unterbrochen wird. Füllstandssensoren am Gerät überwachen den Strahlmittelstand und wenn es fast leer ist, baut das Gerät automatisch den Druck ab und befüllt den Trichter mit Strahlmittel aus dem Granatvorratstank.

SPECIFICATIONS & CONFIGURATIONS

Linear Straightness Accuracy	→	+/-0.038 mm/m
Rapid Traverse Maximum	→	17.8 m/min
Acceleration	→	0.1 g
Repeatability	→	± 0.03 mm
Ballbar Circularity	→	± 0.064 mm
Z-Axis Travel	→	305 mm, 610 mm
Base	→	2 m, 3 m, 4 m, 6 m, 8 m
Bridge	→	2 m, 3 m, 4 m

Abb. 18: Technische spezifikationen von Flow Mach 500

3.5 STM Mastercut

STM MasterCut Wasserstrahl-Schneidanlagen bieten die Möglichkeit anspruchsvolle 2D-Schnitte zu erstellen- optional mit dem STM TAC 12° Schneidkopf für den automatischen Winkelfehlerausgleich. Charakteristisch sind die verdeckten Linearführungen ohne Faltenbälge und einem, in den Achsen mitgeführten, Hochdruckrohr.

Die STM Wasserstrahl-Schneidanlage MasterCut auf einen Blick:

- Leichtbau-Konstruktion aus Aluminium und Edelstahl
- Platzsparende Bauweise mit einer Gesamthöhe unter 2,1 m (inkl. HD-Verrohrung und Signalleuchte)
- Robuster Premium-Zahnstangenantrieb
- Markieren von Werkstücken standardmäßig möglich
- Arbeitsbereich von drei Seiten zugänglich
- Ober- und Unterwasser-Schneiden ist möglich
- Schwerlastauflagen für Werkstücke bis 1.000 kg/m²



Abb. 19: STM Mastercut, eine Rein- /Abrasive Wasserstrahl-Schneidmaschine

Höchste Prozesssicherheit

Das automatische Abtasten des Werkstücks sowie der Kollisionsschutz ermöglichen ein sicheres Arbeiten. STM Wasserstrahl-Schneidanlagen können standardmäßig markieren und durch den Einsatz des Positionslasers das Werkstück problemlos einrichten.

Bester Bedienkomfort

STM Wasserstrahl-Schneidsysteme sind von drei Seiten zugänglich. Die Steuerung erfolgt über einen Windows 10-Desktop-PC. Weitere Features wie die manuelle Handsteuerung ermöglichen außerdem höchsten Bedienkomfort.

Serienmäßig im MasterCut-Paket enthalten:

Geschweißter, rostfreier Maschinenrahmen aus

Aluminium und Edelstahl

Hochdruckpumpe nach dem Druckübersetzer-Prinzip

zwischen 11/75 kW bzw. 4.000/6.000 bar

Premium-Führung X- und Y-Achsen, Premium-Getriebe

Schwerlastauflagen für Werkstücke bis 1.000 kg/m²

Ergonomisches Steuerpult (optional mit Rollen)

STM SmartCut Wasserstrahl-Schneidsoftware

Vorratsbehälter für 450 kg Abrasivmittel

CNC-Steuerung und PC-Interface

STM Edge Tracker Positionslaser

Bürstenlose Servomotoren

CNC Z-Achse

Verfahrensgeschwindigkeit	15 m/min	XY-Positioniergenauigkeit	± 0,05 mm (pro Meter bei 20° C)
Z-Achsenlichte	200 mm	XY-Wiederholgenauigkeit	± 0,03 mm (pro Meter bei 20° C)
Arbeitsflächen	Hochformat: min. 1 m x 1 m / max. 6,5 m x 2,5 m Querformat: min. 1 m x 1 m / max. 2,5 m x 3 m		

Abb. 20: Technische spezifikationen von STM Mastercut

4 Allgemeine Lösungsvariante

4.1 Reinwasserstrahl

Das Schneiden mit einem Reinwasserstrahl ist die ursprüngliche Wasserstrahl-Schneidmethode. In diesem Fall sind es der Druck und die Geschwindigkeit des Wassers selbst, die das Material penetrieren. Dafür wird eine Hochdruckpumpe verwendet, die einen Wasserdruck von bis zu 6.000 bar erreicht. Die Pumpe führt das Wasser über spezielle Edelstahl-Hochdruckrohrleitungen zum Schneidkopf der Wasserstrahlschneidanlage. Zum ersten Mal wurde diese Methode im kommerziellen Bereich in den 1970er Jahren zum Schneiden von Wellkarton angewendet.

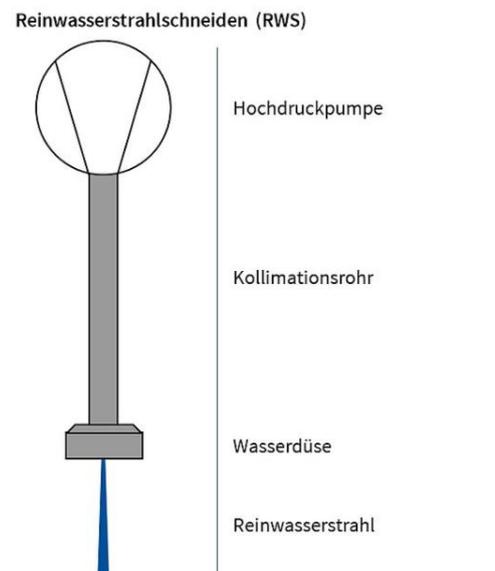


Abb. 21: Reinwasserstrahlschneiden

Reines Wasserstrahlschneiden ist ideal für weichere Materialien wie Stoffe, Gummi oder Metallfolien. Ein wichtiger Anwendungsbereich für reines Wasserstrahlschneiden ist die Nahrungsmittelverarbeitung, bei der die strengen Richtlinien der Branche eingehalten werden können, indem man reines Wasser ohne abrasive Zusatzstoffe verwendet. Ein Reinwasserstrahl kann außerdem zum Entfernen von Beschichtungen verwendet werden, z. B. zum Abstrahlen des Lacks von Schiffen.

4.2 Abrasivwasserstrahl

Der Abrasivwasserstrahl (manchmal auch als Abrasivstrahl bezeichnet) beschleunigt die Abrasivpartikel. Diese Partikel und nicht das Wasser erodieren das Material. Der Abrasivwasserstrahl ist weitaus stärker als ein Reinwasserstrahl und kann harte Materialien wie Metall, Glas, Stein und Verbundwerkstoffe schneiden. Ein Reinwasserstrahl wäre dazu nicht in der Lage.

Um harte Werkstoffe wie z. B. Metalle mit dem Schneide-Verfahren Wasserstrahlschneiden zu durchtrennen, muss dem Wasserstrahl ein Schneidemittel (Abrasiv) z.B. Granatsand beigemischt werden. Dadurch besteht der schneidende Strahl, auch Abrasivstrahl genannt, aus Wasser und dem Schneidemittel.

Grundsätzlich gibt es zwei Systeme für das Wasser-Abrasivstrahl-Schneiden, die sich in ihrer Erzeugung, ihren Eigenschaften und ihren Anwendungen unterscheiden. Ihr wesentlicher Unterschied ist der Zeitpunkt und der Ort der Abrasivmittelzugabe, der zu den spezifischen Strahleigenschaften führt.

4.2.1 Wasser-Abrasiv-Suspensionsstrahlschneiden(WASS)

Der Wasser-Abrasiv-Suspensions-Strahl (WASS) ist dadurch gekennzeichnet, dass die Vermischung von Strahlmittel und Wasser vor der Düse stattfindet. Dies hat den Effekt, dass im Gegensatz zum WAIS der Strahl nur aus 2 Komponenten (Wasser - Abrasivmittel) besteht.

Das Funktionsprinzip besteht darin, das Schleifmittel, Wasser und verschiedene Zusätze im Schleifmitteltank vorzumischen. Die Druckerhöhungspumpe setzt das Wasser unter Druck und tritt in die Oberseite des Schleifmitteltanks ein, um das Schleifmittel von unten zu pressen und einen abrasiven Wasserstrahl durch die Düse zu bilden um das Werkstück zu bearbeiten. Je nachdem, ob das vorgemischte Fluid ein Newtonsches Fluid ist, kann es in zwei Typen unterteilt werden: Suspensionsstrahl und Schlammstrahl. In dem Aufschlammungsstrahl werden das Schleifmittel und Wasser durch Zugabe von Additiven wie Polymeren gemischt,

und das gemischte Fluid ist ein nicht-Newtonsches Fluid. Das Schleifmittel ist in einem suspendierten Zustand, gleichförmig und stabil, mit niedrigem Reibungskoeffizienten, geringem Energieverlust und verbesserter Strahlaggregation.

4.2.2 Wasser-Abrasiv-Injektorstrahlschneiden(WAIS)

Der Wasser-Abrasiv-Injektor-Strahl (WAIS) erzeugt einen Wasserstrahl, der nach dem Austritt aus der Wasserdüse eine Mischkammer (einen Hohlraum) passiert und am Ausgang der Mischkammer in ein Fokussierrohr eintritt. Durch die Interaktion des Wasserstrahls in der Mischkammer mit der darin befindlichen Luft entsteht ein Unterdruck, der Wasserstrahl reißt Luftanteile mit sich. Dieser Unterdruck wird für den pneumatischen Transport des Abrasivmittels in die Kammer genutzt (das Abrasivmittel wird mittels eines Schlauches zu einer seitlichen Öffnung (Bohrung) der Mischkammer geführt).

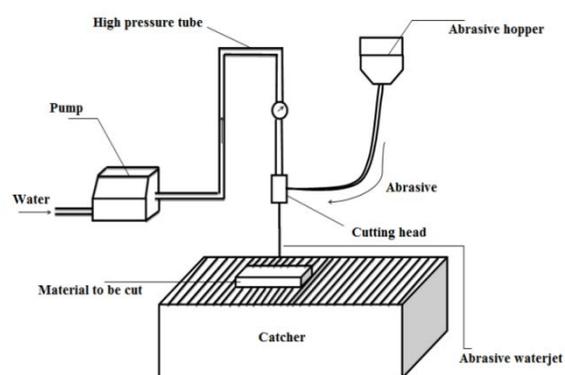


Abb. 22: Schematische Darstellung von WAIS

Das Funktionsprinzip besteht darin: Nach dem Kontakt des Abrasivmaterials in der Mischkammer mit dem Wasserstrahl werden die einzelnen Abrasivmittel-Körner beschleunigt und in die Richtung des Fokussierrohres mitgerissen. Die für den Transport des Abrasivmittels in die Mischkammer als Trägermedium genutzte Luft wird ebenfalls Bestandteil des nun aus 3 Komponenten (Wasser - Abrasivmittel - Luft) bestehenden WAIS. Im Fokussierrohr, welches in seiner Länge dafür optimiert ist, wird das Abrasivmittel weiter beschleunigt (Energieübertrag vom Wasser auf das Abrasivmittelkorn) und der WAIS verlässt das

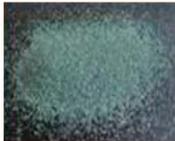
Fokussierrohr im Idealfall mit der maximal möglichen Abrasivkorn-Geschwindigkeit.

Beim WAIS ist es schwierig, wenn der Düsendurchmesser verringert wird, das Schleifmittel gleichmäßig mit dem Hochdruckwasser zu mischen, so dass die Verarbeitungsfähigkeit des erzeugten Schleifwasserstrahls auf dem Werkstück ebenfalls verringert wird.

4.2.3 Abrasivmittel

Auswirkungen des abrasiven Typs:

Abrasivmittel werden in natürliche, Zirkonoxid-Aluminiumoxid, Glas, Stahl und Kupfer kategorisiert. Diese Typen haben inhärent unterschiedliche Eigenschaften wie Härtegrad und Kornform. Insbesondere Perc et al. haben ein Experiment zum Schneiden von Titan mit verschiedenen Abrasivmitteln durchgeführt, d. h. Granat-, Olivin- und Glassplitter. Basierend auf seinen Experimenten ergab Granat den höchsten Materialabtrag oder die höchste Schnittpenetration. Abb. 11 zeigt Kategorien von Abrasivmitteln, die in verschiedenen Industrien verwendet werden, in Verbindung mit ihren Details und Eigenschaften.

Category Details	A. Glass		B. Natural	
Abrasive types				
	Glass beads	Garnet	Ceramic beads	Black corundum
Hardness	MOHS 5–6		MOHS 7–8	
Shape	Round		Irregular sharp—edged	
Application	Grinding, polishing, drilling, cutting, tumbling media, sharpening, and metal cleaning			
Industrial use	Automotive, metal fabrication, machinery, electronic, construction, metallurgy, petrochemical			
Category Details	C. Zirconia Alumina			
Abrasive types				
	Black Silicon carbide	Green Silicon carbide	White fused alumina	Brown fused alumina
Hardness	MOHS 9			
Shape	Round		Irregular sharp—edged	
Application	Drilling, lapping, grinding, or polishing			
Industrial use	Automotive, metal fabrication, optics, household applications, construction, metallurgy			
Category Details	D. Steel Grit, Shot, Cut Wire and Copper Slag			

Abrasive types				
	Steel grit	Steel shot	SS Cut wire	Copper slag
Hardness	MOHS 7-9 or HRC (Hardness Rockwell C) 40-60			
Shape	Irregular rounded			
Application	Cleaning, surface preparation, stone cutting, shot peening			
Industrial use	Automotive, construction, metallurgy, petrochemical industry			

Abb. 23: Abrasivmittelkategorien mit ihren Eigenschaften und industriellen Anwendungen

Das abrasive Wasserstrahlschneiden hat aufgrund seiner abrasiven Partikel Fähigkeiten bei der Bearbeitung von schwer zu schneidenden Materialien. Abb.11 zeigt eine Darstellung der einzelnen Eigenschaften der Abrasivmittelkategorie, wie Partikelform, Härte, Anwendung und industrielle Verwendung.

Bei 99 % aller Wasserstrahlmaschinen wird Granat-Abrasivmittel verwendet, weil es in puncto Schneidvermögen, Einheitlichkeit, Kosten, Abnutzungsrate des Schneidkopfs und nicht gefährlicher Eigenschaften die beste Wahl ist. Die Größe des heutzutage in der Regel für Wasserstrahlanwendungen verwendeten Granat-Abrasivs reicht von 50 Mesh bis 220 Mesh. Am häufigsten wird 80 Mesh eingesetzt. Je höher die Mesh-Zahl, desto feiner die Körnunggröße. 320 Mesh ist staubähnlich. Andere Gründe für den hohen Verbrauch von Granat werden auf seinen konkurrenzfähigen Preis von ca. 0,48 €/Kg zurückgeführt.

Allerdings sollten die wirtschaftlichen Bedenken gegen die Schleifleistung abgewogen werden. Daher richtet sich die Art des Abrasivmittels nach der Härte des Werkstücks. Daher erfordert ein härteres Werkstück ein härteres Schleifpartikel. Im Allgemeinen übt die Schleifhärte direkt die MRR und die Schnitttiefe auf das Material aus; dementsprechend zeigt ein härteres Abrasivmittel eine höhere MRR an, was zu einer höheren Bearbeitungseffizienz führt.

Mesh Number #	Mesh in Microns μm	Grade
40–60	250–400	Coarse
80–100	180–210	Medium coarse
120–150	90–105	Medium fine
180–220	70–88	Fine
240 upwards	≤ 60	Very fine

Abb. 24: Größe und -klasse von abrasiven Stoffen

Auswirkungen der Abrasivmittelgröße: Abrasivmittel sind mit unterschiedlichen Größen oder Maschen erhältlich, die ihren spezifischen Bedingungen oder Qualitäten entsprechen. Die Partikelkornmasse und das Kornvolumen wirken sich direkt auf die kinetische Energie aus, die die Ausgangsparameter beeinflusst. In Abb. 12 sind verschiedene Maschenzahlen mit der entsprechenden Maschenweite und -klasse zusammengefasst.

Beim Granatsant handelt es sich prinzipiell um eine Anhäufung loser mineralischer Körner, die eine sehr ähnliche chemische Zusammensetzung aufweisen. Zwar handelt es sich beim Granatsand um einen silikatischen, aber dennoch natürlichen Sand, dessen Hauptbestandteil das Schwermineral Granat ist. Mit Hilfe von Zerkleinerungsmaschinen wird aus Gestein Sand heraus gebrochen - der sog. "Brechsand". Für das Wasserstrahlschneiden ist dieses Abasivmittel unabkömmlich, wenn harte Materialien geschnitten werden sollen.

5 Bewertung und Vergleich der allgemeinen Lösungsvarianten

5.1 Vergleich zwischen reinen und abrasiven Wasserstrahlschneiden

Das reine Wasserstrahlschneiden, wie der Name schon zeigt, funktioniert das Reinwasserschneiden ausschließlich mit Wasser. Reiner Wasserstrahl verwendet reines Wasser als Energieträger und fügt keine abrasiven Partikel zu. Er nutzt die Aufprallenergie des Hochgeschwindigkeitsstrahls zum Reinigen und Schneiden. Er wird hauptsächlich für die Bearbeitung von Metallplatten, Steinen, Lebensmitteln, Gummi, Holz, Leder und andere Materialien. Der Hochdruckwasserstrahl wird direkt auf das zu schneidende Material gerichtet, um einen sauberen und präzisen Schnitt zu gewährleisten. Dieser Prozess mag für weichere Materialien wie Lebensmittel oder dünne Kunststoffe ausreichen, aber er ist nicht stark genug, um härtere Materialien zu schneiden. Hier kommt die Technologie des Abrasivschneidens ins Spiel.

Sie unterscheidet sich in ihrem reinen Funktionsprinzip nicht vom Reinwasserschneiden, aber nutzt zusätzlich abrasive Partikel, wie beispielsweise Granat. Diese Schleifmittel werden dem Waterjet, der aus der Düse der Maschine gedrückt wird, beigemischt. Durch Zugabe des Schleifmittels, das dann mit hohem Druck und Geschwindigkeit auf das Ziel trifft, erodieren selbst die härtesten Materialien wie Stahl und Stein mit höchster Präzision.

Im Gegensatz zum reinen Wasserstrahlschneiden ist das Wasser selbst nicht mehr das Schneidwerkzeug - es sind die zugesetzten Schleifmittel, die den Ausschlag geben, während der Wasserstrahl sie nur an der richtigen Stelle fokussiert.

Im Vergleich zum reinen Wasserstrahl wird die Auswirkung des Abrasivwasserstrahls verbessert. All dies deutet darauf hin, dass sich das abrasive Wasserschneiden für die Realisierung von Konturen an ebenen Teilen aus metallischen Werkstoffen besser eignet als das reine Wasserschneiden. Im Folgenden werden WASS und WAIS bewertet und verglichen.

5.2 Bewertung und Vergleich zwischen WASS und WAIS

Das WASS soll Wasser und Strahlmittel in suspendiertem Zustand gleichmäßig vormischen und dann in den Strahlmitteltank geben, durch das Strahlmittel-Absperrventil in die Hochdruckleitung eintreten und den Hochdruck-Strahlwasserstrahl abgeben an das Einspritzsystem zu einem Hochgeschwindigkeits-Abrasivwasserstrahl.

Im Unterschied zu WASS, das WAIS nutzt den vom Rohr nach dem Hochdruckwasserstrahl durch die Wasserdüse erzeugten Unterdruck, um das Schleifmittel anzusaugen. Das Schleifmittel und Wasser in der Mischkammer werden gemischt und beschleunigt, um einen Hochgeschwindigkeits-Schleifwasserstrahl zu erzeugen.

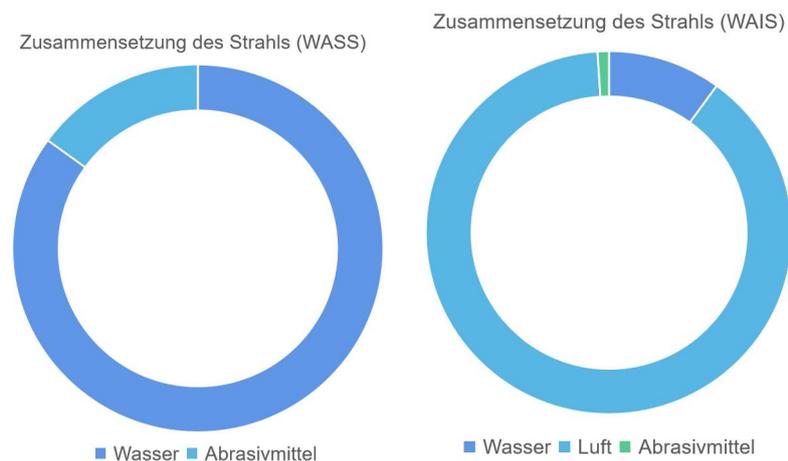


Abb. 25: Zusammensetzung des Strahls(WASS) und Zusammensetzung des Strahls(WAIS)

Die Zusammensetzung der beiden Arten von Abrasivwasserstrahlen ist unterschiedlich.

Der Strahl des Wasser-Abrasiv-Suspensions-Strahls (WASS) besteht nur aus zwei Teilen: Wasser und Abrasivmittel. Davon beträgt das Wasser 85 % und das Abrasivmittel 15 %.

Der Strahl des Wasser-Abrasiv-Injektor-Strahl (WAIS) besteht aus drei anstatt von zwei Teilen: Wasser, Abrasivmittel und Luft. Davon beträgt das Wasser 10 %, die Luft 90%, das Abrasivmittel beträgt nur 1 %.

Weil beim WASS nur 2 Komponenten (Wasser und Abrasivmittel) vorhanden sind, erfolgt die Beschleunigung der Abrasivmittelkörner durch das Wasser mit einem deutlich erhöhten

Wirkungsgrad im Vergleich zum WAIS. Die Abrasivmittelkörner werden bei gleicher hydraulischer Leistung des Systems beim WASS schneller als beim WAIS. Deshalb kann mit dem WASS vergleichsweise tiefer bzw. schneller geschnitten werden.

Lassen Sie uns die Eigenschaften von Wasser-Abrasiv-Suspensionsstrahlschneiden(WASS) und Wasser-Abrasiv-Injektorstrahlschneiden(WAIS) bewerten und vergleichen.

In Bezug auf Zuverlässigkeit, Produktionseffizienz, Genauigkeit, Preis-Leistungs-Verhältnis usw. werden die Bewertungs- und Vergleichstabelle wie folgt dargestellt:

Kriterium	Gewicht (Prozent)	Wasser-Abrasiv-Suspensionsstrahlschneiden (WASS)		Wasser-Abrasiv-Injektorstrahlschneiden (WAIS)	
		Bewertung	Punkte	Bewertung	Punkte
Komplexität der Systemstruktur	5	2	10	4	20
Verlässlichkeit	15	3	45	5	75
Komplexität der Fütterungsmethode	10	3	30	5	50
Gleichmäßigkeit der Schleifmittelmischung	5	5	25	3	15
Haltbarkeit der Düse	5	1	5	4	20
Maschinenlebensdauer	15	3	45	5	75
Energieeffizienz	10	4	40	3	30
Verarbeitungseffizienz	15	4	60	3	45
Genauigkeit	10	5	50	3	30
Preis-Leistungs-Verhältnis	10	3	30	4	40
Summe	100		340		400

Abb. 26: Bewertungs- u. Vergleichstabelle von WASS und WAIS

Wie in der Abbildung gezeigt, ist die erste Spalte das Kriterium von WASS und WAIS. Es gibt 10 verschiedene Kriterien in der Tabelle. Jedes Kriterium hat eine verschiedene Bedeutung als Lösungsvariante, daher wird der Anteil jedes Kriteriums in der zweiten Spalte angezeigt.

Der Gesamtanteil(das Gesamtgewicht) beträgt 100.

Die maximale Bewertungszahl für jedes Kriterium beträgt 5 Punkte. Alle Bewertungen werden positiv korreliert. Zum Beispielkriterium "Zuverlässigkeit", 1 bedeutet "sehr unzuverlässig", 3 bedeutet "relativ zuverlässig" und 5 bedeutet "sehr zuverlässig".

Jede Bewertung und entsprechendes Gewicht werden miteinander multipliziert, um die Gesamtpunkte(Summepunkte) auszurechnen. Alle Punkte werden addiert, um das Summepunkte von WASS und WAIS zu erhalten. Am Ende gilt: Je höher der Wert der Summepunkte beträgt, desto wettbewerbsfähiger ist die Lösungsvariante.

Laut der Grafik beträgt die Gesamtpunktzahl von WASS 340, während die Gesamtpunktzahl von WAIS 400 beträgt.

Im Bereich Processing und Fertigung haben Einrichtungen des WAIS jetzt einen höheren Marktanteil. Im Vergleich zu WASS hat WAIS eine einfachere Struktur, eine geringere Ausfallrate und eine höhere Zuverlässigkeit. Aufgrund der geringen Ausfallrate können Einrichtungen des WAIS die Produktions- und Verarbeitungsaufgaben zu begrenzten Kosten besser erledigen und so dem Unternehmen einen besseren wirtschaftlichen Nutzen zu bringen. Diese Daten und umfassenden Vergleich zeigen, dass WAIS wettbewerbsfähiger als WASS ist, obwohl die Vor- und Nachteile der beiden unterschiedlich sind.

Die oben aufgeführten Argumente weisen nach, dass das Wasser-Abrasiv-Injektorstrahl-schneiden(WAIS) die Vorzugsvariante ist.

6 Prozess der Vorzugsvariante mit einem Beispiel und Begründungen

6.1 Auswahl des Beispielteils mit Begründung

Um die Fähigkeit des WAIS-Systems zu überprüfen, komplexe Muster zu verarbeiten, wurden in diesem Artikel drei Muster entworfen, wie in der Abbildung gezeigt.

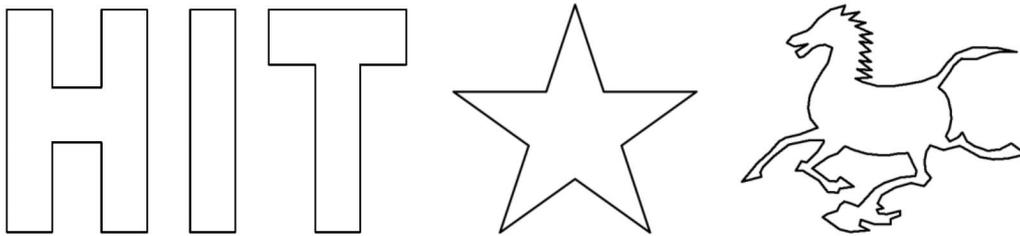


Abb. 27: Drei zu verarbeitende Muster(Entwurf)

Die Tatsachen haben gezeigt, dass bei der Produktion der ersten beiden Muster die Vorteile des Wasserstrahls nicht zum Tragen kommen und der wirtschaftliche Nutzen unbefriedigend sein wird. Nach eingehendem Vergleich wurde entschieden, das dritte Muster zur Verarbeitung auszuwählen.

Die ausführlichen Gründe sind wie folgt:

Erstens ist die Form der ersten beiden Muster zu einfach. Auch andere Schneid- oder Bearbeitungsverfahren als das Wasserstrahlschneiden können deren Bearbeitung gut vervollständigen. Die Kosten anderer Verfahren können geringer sein, die wirtschaftlichen Vorteile des Wasserstrahlschneidens hingegen sind nicht optimal.

Zweitens kann die einfache Form die einzigartigen Vorteile der Wasserstrahlbearbeitung nicht widerspiegeln. Zum Beispiel: Kaltbearbeitung, keine thermische Belastung, kein Entgraten nötig, Kein Mikro-Staub, Rauch oder Dämpfe, usw. Weil die Wasserstrahlbearbeitung diese Vorteile hat, ist die Qualität und Effizienz des dritten Musters, das durch andere Bearbeitungsverfahren bearbeitet wird, geringer als bei der Wasserstrahlbearbeitung.

Drittens hat das Muster "Das Pferd und die Schwalbe" einen direkten Bezug zur chinesischen Kultur. In China wird dieses Muster oft als Dekoration verwendet und ist bei den Leuten sehr

beliebt. Die Realisierung des Musters "Das Pferd und die Schwalbe" auf einer flachen Metallplatte wird einen gute wirtschaftliche Nutzen bringen.

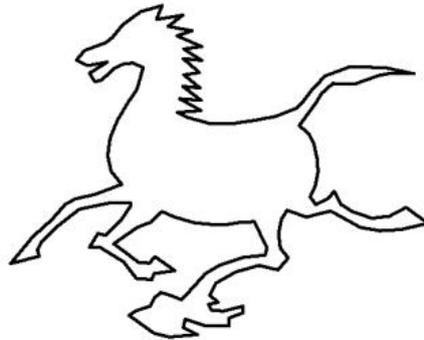


Abb. 28: Das Pferd und die Schwalbe(Entwurf)

Alle Argumente deuten darauf hin, dass das dritte Muster besser für die Verarbeitung mit Wasser-Abrasiv-Injektorstrahlschneiden(WAIS) geeignet ist.

6.2 Prozess der Vorzugsvariante und Darstellung des Zusammenhangs

Um ebenen Teilen aus metallischen Werkstoffen zu verarbeiten, ist der erste Schritt der richtige Transport und die richtige Beladung. Das zu bearbeitende Werkstück (ebene Metallplatte) muss zunächst in die Arbeitsposition transportiert und die richtige Positionierung und Spannung erreicht werden.



Abb. 29: Förderbänder

Um einen korrekten Transport und eine korrekte Werkstückbeladung zu erreichen, können für den Transport gängige Industrie-Förderbänder verwendet werden. Das Förderband wird verwendet, um den Rohstofflagerbereich und den Verarbeitungsbereich zu verbinden. Nach dem Transport müssen die Metallplatten manuell geführt und geladen werden. Handelt es sich

um eine große und dicke Metallplatte oder ist die Strecke zu groß, kann sie ggf. mit einem Gabelstapler transportiert und anschließend manuell verladen werden.

Nachdem die Metallplatte(Rohteil) auf die abrasive Wasserstrahlschneidanlage geladen wurde, sorgt das Spannsystem dafür, dass das Rohteil stabil auf dem Arbeitstisch fixiert wird. Wenn das Rohmaterial nicht fixiert ist, führt die während der Bearbeitung erzeugte Kraft wahrscheinlich dazu, dass sich das Werkstück verschiebt, wodurch die Bearbeitungsgenauigkeit beeinträchtigt und sogar die Anlage und das Rohteil beschädigt werden. Deshalb ist dieser Schritt für die korrekte Verarbeitung von großer Bedeutung.

Nachdem die Metallplatte eingespannt ist, kann der Wasserschneidprozess gestartet werden. Um die korrekte wasserschneidende Bearbeitung des Produkts zu realisieren, ist es zunächst notwendig, die Bearbeitungsbahn des verwendeten Musters zu bestimmen. Ein korrektes Bearbeitungsprogramm ist immer unerlässlich. Nach der Programmierung des Schnittmusters "Das Pferd und die Schwalbe" wird das Bearbeitungsprogramm per G-Code in die PC-basierte Steuerungssoftware geschrieben. Beim Schreiben eines Programms ist darauf zu achten, ob der Startpunkt von Schneidkopf mit dem Koordinatenursprung übereinstimmt. Es ist auch darauf zu achten, ob die Tiefe der Z-Achse im Programm den Anforderungen der Werkstückbearbeitung entspricht. Aufgrund der Komplexität des Programms ist es nach dem Schreiben des Programms erforderlich, das Programm mindestens 3 Mal in der Steuerungssoftware zu simulieren, um sicherzustellen, dass das Programm die Verarbeitungsanforderungen erfüllt. Wenn im Programm ein Fehler oder eine Warnung auftritt, muss das Programm zum Debuggen erledigt werden. Dabei müssen auch einige Prozessparameter wie Einspritzdruck, Einspritzzielabstand, Vorschubgeschwindigkeit und Strahlmittelkonzentration berücksichtigt werden. Nach der Bestätigung, dass keine Fehler vorliegen, ist das Programm abgeschlossen.

Vor der formellen Verarbeitung muss die Ausrüstung überprüft werden, um sicherzustellen, dass alle Teile des Systems normal funktionieren. Es ist zu prüfen, ob Hochdruck-Pumpe, Abrasiv-Schneidkopf, Abrasiv-Dosiersystem, X/Y-Antriebs- und Führungssystem und andere Geräte normal funktionieren. Tritt ein Gerätefehler auf, muss das Gerät repariert oder

ausgetauscht werden. Nachdem der Status aller Geräte als normal bestätigt wurde, kann mit der Bearbeitung der Metallplatte gestartet werden. Bei der Verarbeitung wird in der Regel entmineralisiertes Wasser zum Einsatz kommen. Der Abrasiv-Schneidkopf setzt das Konturschneiden auf der Metallplatte nach dem programmierten und ausgetesteten Programm um.

Nachdem die Bearbeitung abgeschlossen ist, ist Bedienungspersonen oder ein Industrieroboter erforderlich, um das Fertigteil von der Arbeitsposition zu entfernen. Das Fertigteil wird dann auf das Förderband gelegt und zum Qualitätsprüfbereich transportiert. Nach bestandener Verarbeitungsqualitätsprüfung darf das Fertigteil zum Fertigproduktlager transportiert werden.

Die bei der Verarbeitung und Produktion verbleibenden Materialien können recycelt und wiederverwendet werden, zum Beispiel können kleine Metallplättchen verwendet werden, um andere kleinere Muster zu verarbeiten.

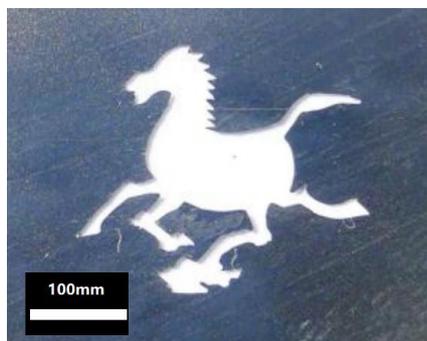


Abb. 30: Das Fertigteil, "Das Pferd und die Schwalbe"

Am Ende wurde die oben erwähnte Kontur von "Das Pferd und die Schwalbe" erfolgreich auf einer ebenen Metallplatte verarbeitet.

Die Verarbeitungsparameter des Systems sind wie folgt:

Das Material ist Edelstahl 304. Die Dicke der Metallplatte beträgt 1 mm. Die Vorschubgeschwindigkeit beträgt 5 mm pro Sekunde. Der Abstand zwischen der Schneidkopf und der Metallplatte beträgt 15mm. Der Schneiddruck beträgt 2800bar.

6.3 Abfallsentsorgung

Beim Wasserstrahlschneiden fallen unvermeidlich Fest- und Schwebstoffe an. Der Abfall der sich im Becken sammelt (Abrasiv etc.) setzt sich als Schlamm ab, schwimmt oben oder emulgiert ins Wasser.

Für Abrasivschlamm gibt es mehrere Entsorgungsmöglichkeiten, diese sind im Wesentlichen davon abhängig, welche Werkstoffe bearbeitet werden. Eine Möglichkeit ist, den Schlamm von einem Kanalfahrzeug absaugen zu lassen. Problematisch wird es natürlich, wenn Materialien schneiden, die zu Grenzwertüberschreitungen im Schneidschlamm führen. I.d.R. verlangen Entsorgungsunternehmen zuerst einmal eine Analyse des Schlamms, bevor dieser überhaupt abgefahren und deponiert wird.

Soll Abwasser in die Kanalisation geleitet werden, schreibt das Wasserhaushaltsgesetz Grenzwerte für Rückstände an Schweb- und Feststoffen vor. Diese gelten auch für die Betreiber von Wasserstrahlschneidanlagen:

- Bei Feststoffen liegen sie in der Regel bei 15 ml/l (kommunal verschieden). Beispiele sind Abrasivsand aus Granat, Schneidpartikel und Reste der zu bearbeitenden Werkstoffe (Dichte $> 1\text{g/cm}^3$). Werden sie nicht entfernt, kann es zu Ablagerungen und Verstopfungen in der Kanalisation kommen.
- Für Schwebstoffe gilt eine Obergrenze von 50 mg/l. Mit einer Größe von 0,5-30 μm benötigen sie länger als 72 Stunden, um sich abzusetzen. Bei einer Größe von unter 5 μm spricht man von gelösten Stoffen – zum Beispiel gelöste Schwermetalle aus Stahllegierungen. Ein hoher Schwebstoffgehalt beeinträchtigt die Lichtdurchlässigkeit und damit die Entwicklung der Flora und Fauna im Wasser.

Der Einsatz von Wasserstrahlschneidanlagen kann bereits bei zwei Schneidköpfen täglich mehr als 1 t Abrasivschlamm verursachen, der regelmäßig entsorgt werden muss. Härtet der Schlamm aus, ist die Reinigung der Anlage sehr mühsam und zeitintensiv. Um einem Absetzen der Feststoffe entgegenzuwirken, wird im ersten Schritt der anfallende Abrasivschlamm im Schneidbecken ständig umgewälzt und gleichzeitig abgesaugt. Im

zweiten Schritt gelangt der restliche Schlamm dann in ein Absetzbecken, in dem sich die Feststoffe ablagern und aufgefangen werden können.

Weil der Schlamm nicht beliebig in die Kanalisation geleitet werden kann, wird der gesammelte Schlamm im Allgemeinen an eine Schlammrecyclinganlage verkauft. Einige Hersteller von Abrasivmitteln betreiben auch Recyclinganlagen, mit denen der Schlamm aufbereitet wird. Diese Firmen nehmen somit den Schlamm gegen einen bestimmten Betrag pro Tonne wieder mit. Ein Teil des schon benutzten Abrasivs kann wiederverwendet werden und wird als Recyclingabrasiv angeboten. Für einen Betreiber einer Wasserstrahlanlage lohnt sich die Aufbereitung mit einer eigenen Recyclinganlage nicht, da die Betriebskosten zu hoch sind. Erst im Rahmen großer Anlagen wird der Aufbereitungsvorgang wirtschaftlich.

7 Zusammenfassung

Diese Bachelorarbeit führt umfassend in das Verfahrensprinzip, die Systemtechnik und den Forschungsstand des abrasiven Wasserstrahls ein. Die technische Ausstattung von 5 verschiedenen Wasserstrahlschneidzentren wurde ausgearbeitet und analysiert. Auf dieser Grundlage erarbeitet, analysiert, bewertet und vergleicht diese Bachelorarbeit die generellen Lösungsmöglichkeiten zur Kopplung der drei wasserstrahlunterstützten Fertigungsverfahren. Schließlich wurde eine Lösung optimiert und mit der Anlage wurde eine 304 Edelstahl-Metallplatte mit einer Dicke von 1 mm geschnitten, um einen bestimmten Kontur zu realisieren.

Die in der tatsächlichen Produktion verwendete Technologie ist nicht statisch. Es gibt keine perfekte Lösung, die alle Produktionsanforderungen erfüllen kann.

Das abrasive Wasserstrahlschneiden hat in die Zukunft sehr breite Anwendungsperspektiven. Zusammenfassend ist der Autor der Ansicht, dass in Zukunft zu folgenden Aspekten vertieft geforscht werden sollte:

1. Der Aufbau der bestehenden Schleifwasserstrahlbearbeitungsanlage wird weiter optimiert. Fügen Sie dem System ein Abfallrecyclingsystem hinzu, um Entsorgungskosten zu sparen.
2. Erforschen Sie die Prozessparameter, die die Qualität der Wasserstrahlbearbeitung beeinflussen. Erkunden Sie die Beziehung zwischen Prozessparametern und Verarbeitungseffekten, um die optimalen Prozessparameter in der tatsächlichen Produktion auszuwählen. Beispielsweise kann die numerische Simulation des dreidimensionalen Strömungsfeldes der Düse die Strömungsfeldeigenschaften der Düse umfassender widerspiegeln. Um einen Standard zur Bewertung der Leistung der Düse zu etablieren, liefert sie eine theoretische Grundlage für die Optimierung der Düsenstruktur.

Quellenangaben und Literaturverzeichnis

- [1] Alsoufifi, M.S. State-of-the-Art in Abrasive Water Jet Cutting Technology and the Promise for Micro-and Nano-Machining. *Int. J. Mech. Eng. Appl.* **2017**, *5*, 1–14.
- [2] Hashish, M. A Modeling Study of Metal Cutting With Abrasive Waterjets. *J. Eng. Mater. Technol.* **1984**, *106*, 88–100.
- [3] Dong, Y.Z.; Liu, W.W.; Zhang, H.; Zhang, H.C. On-line recycling of abrasives in abrasive water jet cleaning. *CIRP Conf. Life Cycle Eng.* **2014**, *15*, 278–282.
- [4] Liu, H.-T. Waterjet technology for machining fine features pertaining to micromachining. *J. Manuf. Process* **2010**, *12*, 8–18.
- [5] Naik, M.B.; Srikanth, D.; Rao, M.S. Abrasive Jet Machining on Soda lime Glass-An experimental investigation. *Int. J. Res. Publ.* **2020**, *44*, 887.
- [6] Saravanan, S.; Vijayan, V.; Suthahar, S.T.J.; Balan, A.V.; Sankar, S.; Ravichandran, M. A review on recent progresses in machining methods based on abrasive water jet machining. *Mater. Today Proc.* **2020**, *21*, 116–122.
- [7] Azmir M A, Ahsan A K. A study of abrasive water jet machining process on glass/epoxy composite laminate[J]. *Journal of Materials Processing Technology*, 2009, 209(20): 6168-6173.
- [8] Hashish M. Turning with abrasive-waterjets—a first investigation [J]. *Journal of Manufacturing Science and Engineering*, 1987, 109(4): 281-290
- [9] <https://www.stm-waterjet.com/produkte/master-cut/>
- [10] <https://www.flowwaterjet.com/>
- [11] <https://www.omax.com/>

Selbständigkeitserklärung für Bachelorarbeit

Hiermit erkläre ich,

Wenqi Jiang, 25868

dass ich die vorliegende Bachelorarbeit mit dem Thema:

Erstellung eines Konzeptes für ein Wasserstrahl-Schneid-Zentrum zur Realisierung von Konturen an ebenen Teilen aus metallischen Werkstoffen

selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst und nur die von mir angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet habe.

Die Richtlinien zur Sicherung der guten wissenschaftlichen Praxis an der Hochschule Merseburg wurden von mir beachtet.

Eine gegebenenfalls eingereichte digitale Version stimmt mit der schriftlichen Fassung überein.

(Ort, Datum)

(Unterschrift)