Bei diesem Beitrag handelt es sich um einen wissenschaftlich begutachteten und freigegebenen Fachaufsatz („reviewed paper“).

doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84

Einfluss der Bandoberfläche auf die Schnittflächenqualität beim Feinschneiden

Vom Halbzeug zum Feinschnittteil

T. Bergs, T. Herrig, H. Voigts

ZUSAMMENFASSUNG Das Massenfertigungsverfahren Feinschneiden eignet sich aufgrund hoher Maßhaltigkeit, geringem Kanteneinzug und hohem Glattschnittanteil für die Herstellung von Funktionsbauteilen wie beispielsweise Verzahnungen. Die Schnittflächenanforderungen müssen auch in Grenzbereichen durch neue Werkstoffe oder filigrane Schnittkonturen erfüllt werden. Vor diesem Hintergrund wurde untersucht, wie die Bildung von Kanteneinzug und Einrissen durch die gewalzte Blechoberfläche beeinflusst wird.

STICHWÖRTER

Fertigungstechnik, Blechbearbeitung

From strip to fineblanking parts – How sheet metal surface affects sheared surface quality in fineblanking

ABSTRACT The mass production process of fineblanking is suitable for manufacturing functional components, such as gears, due to its high dimensional accuracy, low die roll height, and smooth sheared surface. Requirements on sheared surfaces in technically demanding circumstances must also be fulfilled by new materials or filigree part contours. Therefore, it was investigated how the rolled sheet metal surface affects the formation of die roll and tears.

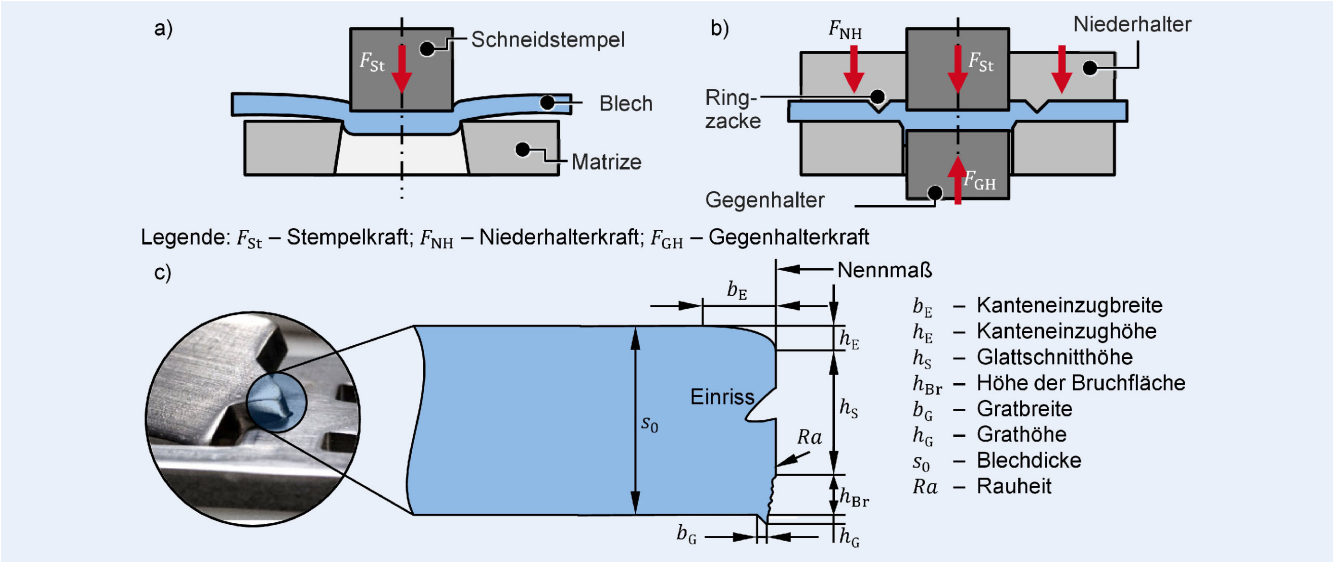

Bild 1. Prinzip a) des Normalschneidens im Vergleich zum b) Feinschneiden und c) Definition von Schnittflächenmerkmalen. *Grafik: MTI nach [2]*

1 Einleitung

Generell trägt der Werkstoff, gemessen an den Werkstoffkosten, erheblich zu den Stückkosten von Feinschnittteilen bei [1]. Aus wirtschaftlicher Sicht spielt die Vermeidung von Ausschuss und Stanzschrott daher eine bedeutende Rolle. Für eine hohe Werkstoffausnutzung ist die Sicherstellung einer hohen Schnittteilqualität nötig, die bei typischen Feinschnittteilen in Leichtbauanwendungen sowie bei der Verarbeitung hochfester Werkstoffe gefordert ist. Konstante Qualität ermöglicht es, die Ausschussproduktion und notwendige Nachbearbeitungen zu minimieren.

Maßgeblich für die hohe Schnittflächenqualität beim Feinschneiden im Vergleich zum Normalschneiden sind hydraulische Zusatzkräfte für einen Niederhalter und einen Gegenhalter (**Bild 1** a) und b) [2].

Zudem ist der Schneidspalt mit etwa 0,5 % der Blechdicke um das Zehnfache geringer als beim Normalschneiden. Bild 1 c) führt

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

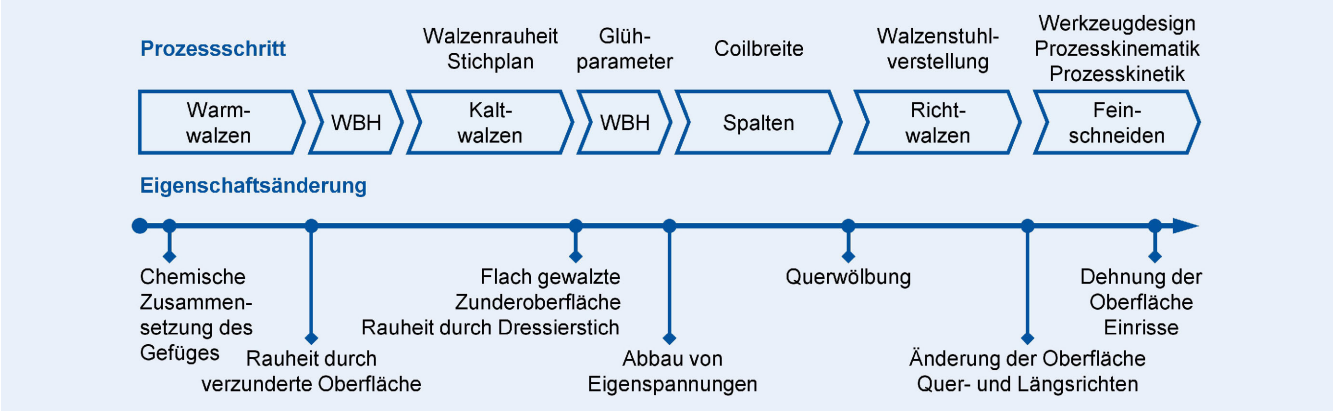

Bild 2. Mögliche Prozesskette der Bandherstellung und -vorbereitung für das Feinschneiden. *Grafik: MTI*

Kriterien zur Bewertung der Schnittflächenqualität auf. Die Schnittfläche weist im Vergleich zum Normalschneiden eine hohe Maßhaltigkeit zum Nennmaß auf. Auf der Seite des Schneidkanteneintritts entsteht ein Kanteneinzug. Am Schneidkantenaustritt entstehen Grat und gegebenenfalls eine Bruchfläche. Dazwischen liegt ein Glattschnittbereich, der bis zu 100 % der Schnittfläche betragen kann. An schwierig zu schneidenden Geometriefeatures, wie spitzen Winkeln und kleinen Radien, können Einrisse auf der Glattschnittfläche entstehen.

Die Schnittflächenqualität wird durch vielfältige Einflussgrößen bestimmt, die den Spannungszustand in der Scher- und Kanteneinzugzone beeinflussen. Zu diesen Einflussgrößen gehören die Prozessführung, Werkzeugeigenschaften, das Streifenlayout sowie die Schnittliniengeometrie und der Werkstoff [3].

Mithilfe von Experimenten und der Finite-Elemente-Methode (FEM) zeigten *Hatanaka et al.*, dass Kanteneinzug aufgrund der Durchbiegung des Blechs in der Scherzone über den Schneidspalt entsteht [4]. Dabei entstehen Zugspannungen an der Blechoberfläche und der Werkstoff fließt in den Schneidspalt nach. Aufgrund von FE-Simulationen von *Husson et al.* wird angenommen, dass die Scherzone erst nach der Ausbildung des Kanteneinzugs mit zunehmender Schnitttiefe ausgebildet wird [5]. Vor allem bei filigranen Geometriefeatures überspannen Zugspannungen laut *Liu et al.* die Oberfläche, sodass sich ein verstärkter Kanteneinzug einstellt [6].

Für das Ein- und Abrissverhalten ist neben der Umformbarkeit des Werkstoffs der Spannungszustand in der Scherzone verantwortlich. Ein schmaler Schneidspalt und hohe Prozesskräfte stellen günstige Umformbedingungen her, indem der Fließscherprozess unter Druckspannungen durchgeführt wird [4]. Dementsprechend hat auch die Schnittliniengeometrie einen Einfluss auf den Glattschnittanteil, da filigrane Geometriefeatures aufgrund oberflächennaher Zugspannungen unter einem für die Umformung ungünstigen Spannungszustand schergeschnitten werden [7], was zur Folge hat, dass Einrisse auftreten.

Der Blechwerkstoff beeinflusst die Feinschneidbarkeit und damit die Bildung von Einrissen. Die Legierungszusätze von Stählen steigern zwar deren Festigkeit, reduzieren jedoch durch spröden lamellaren Zementit oder Karbide im Gefüge deren Umformbarkeit [8]. Zur Erhöhung des Umformvermögens werden weichgeglühte Stähle mit kugelig eingeformtem Zementit genutzt [9]. Als Halbzeugmaterial für das Feinschneiden wird Warm- oder Kaltband aus unterschiedlichen Herstellrouten verwendet. **Bild 2** stellt eine Herstellroute mit möglichen Verarbeitungsschritten für das Feinschneiden dar. Die Prozessschritte können in der Praxis abweichen oder in anderer Reihenfolge ausgeführt werden.

Bei der Bandherstellung wird die Bramme zunächst warm ausgewalzt, wodurch die Oberfläche eine raue Struktur erhält, die gegebenenfalls verzundert ist. Um die Maßhaltigkeit der Blechdicke und die Oberflächenrauheit zu verbessern, werden Kaltwalzstiche mit schrittweiser Höhenabnahme durchgeführt. Dadurch werden Toleranzen enger und die Oberfläche glatter. Nach Bedarf können beim Kaltwalzen auch abschließende Dressierstiche zur Aufprägung von Oberflächenstrukturen oder leichtes Nachwalzen durchgeführt werden, um Maßhaltigkeit und Oberflächengüte für höchste Anforderungen sicherzustellen.

Durch eine Wärmebehandlung, welche nach dem Warmwalzen oder nach dem Kaltwalzen erfolgen kann, wird ein gut umformbares Gefüge eingestellt und es werden Eigenspannungen abgebaut. Das so entstehende Muttercoil wird mittels einer Längsteilanlage mit Rollmessern in Schmalbänder gespalten. Beim Spalten erhält das Band vor allem bei dickeren Blechdicken ein gebogenes Querprofil. Im verarbeitenden Betrieb wird das Coil abgehaspelt und der Feinschneidanlage zugeführt. Längs- und Querwölbung des Spaltbandes wird mittels einer Richtanlage korrigiert, wobei die Oberfläche erneut leicht eingeglättet werden kann. Zuletzt wird das Band in der Feinschneidpresse geschnitten [10].

Beim Feinschneiden wird die Bandoberfläche im Kanteneinzugbereich gedehnt [7]. Somit beeinflusst jeder Prozessschritt und jede Prozessabfolge der Bandherstellung und Bandvorverarbeitung die finale Oberfläche des Bands. Das Bandmaterial wird meist durch mechanische Kennwerte sowie Ra-Werte spezifiziert. Durch eine gezielte Oberflächenintegrität sollen Chargenschwankungen reduziert und die Schnittflächenqualität erhöht werden.

Es ist bislang unbekannt, wie sich die Blechoberfläche auf die Ausbildung der Schnittfläche auswirkt und wie weit diese in die Schnittfläche eingezogen wird. In diesem Zusammenhang besteht auch Unklarheit darüber, wie sich die Struktur der Blechoberfläche hinsichtlich der Stempelschmierung beispielsweise durch Schmierstoffreservoire in den Rauheitstälern auswirkt.

Eine Erkenntnis über den Mechanismus der Schnittflächenentstehung könnte somit auch für Weiterentwicklungen in tribologischen Fragestellungen genutzt werden. In einer Schnittflächenanalyse mittels Mikroskopie von beschichtetem Blech wurde untersucht, wie weit sich die Bandoberfläche in die Schnittfläche einzieht. Es wurde beobachtet, dass ein Teil der Schnittfläche durch eine Dehnung der Bandoberfläche entsteht, während ein anderer Teil neu gebildet wird. Diese Hypothese eröffnet neue

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

Tabelle. Übersicht über den Versuchsablauf.

#	Oberfläche	Prozessführung	Zweck	Analysen
1	Acryllack	Gegenhalterkraft: 0 kN Niederhalterkraft: 30 kN Schneidgeschwindigkeit: 50 mm/s	Einfluss von geringen Prozess-Aktivkräften auf die Ausbildung der Schnittfläche	Lichtmikroskopie
2	Acryllack	Gegenhalterkraft: 115 kN Niederhalterkraft: 390 kN Schneidgeschwindigkeit: 50 mm/s	Nachweis von Acryllack auf der Schnittfläche bei erhöhten Prozess-Aktivkräften	Lichtmikroskopie
3	Nickelbeschichtung	Gegenhalterkraft: 115 kN Niederhalterkraft: 390 kN Schneidgeschwindigkeit: 50 mm/s	Quantitativer Nachweis der Oberflächenvergrößerung	Rasterelektronenmikroskopie, BSD, EDX
4	Metallisch unbeschichtet	Gegenhalterkraft: 115 kN Niederhalterkraft: 390 kN Schneidgeschwindigkeit: 50 mm/s	Nachweis von Oberflächen-strukturen von der Blech-oberfläche auf der Schnittfläche	Rasterelektronenmikroskopie, SE

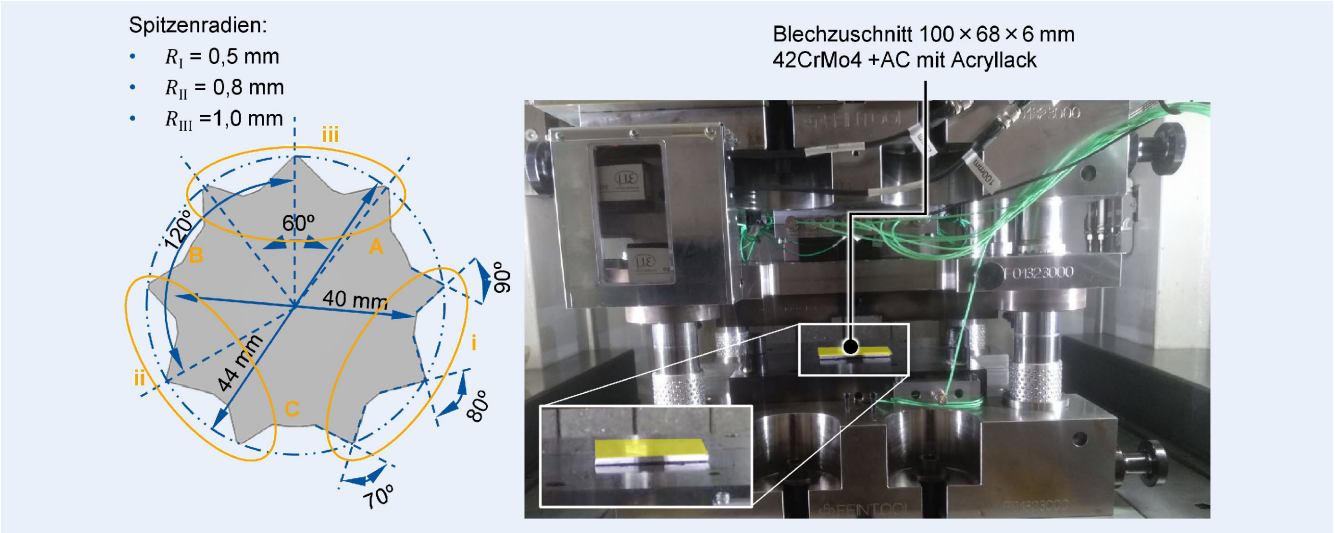

Bild 3. Verwendete Geometrie und Versuchsaufbau im Feinschneidwerkzeug. *Grafik: MTI*

Ansätze zur Verbesserung der Schnittflächenqualität beim Feinschneiden.

2 Methoden

In dieser Studie wurde untersucht, wie die Qualität der Blechoberfläche die Schnittflächenqualität beeinflusst. Es wurde angenommen, dass sich die Bandoberfläche tribologisch nur dann bei der Schnittflächenentstehung auswirken kann, wenn die Schnittfläche durch Oberflächenvergrößerung teilweise aus der Bandoberfläche gebildet wird. Daher wurde überprüft, ob Merkmale der Bandoberfläche auf der Schnittfläche nachweisbar sind, um Rückschlüsse auf den Mechanismus der Schnittflächenbildung zu ziehen. Die **Tabelle** zeigt eine Übersicht der durchgeführten Versuche.

Im ersten Versuch wurden Blechzuschnitte mit Acryllack beschichtet und feingeschnitten. Es wurde davon ausgegangen, dass sich Acryllack aufgrund seiner geringen Härte scherweich und somit schmierstoffähnlich verhält und auf der vergrößerten Oberfläche transportiert wird. Unter jeweils niedrigen und hohen aktiven Prozesskräften wurde untersucht, wie sich der Acryllack auf der Schnittfläche verteilt. Auf der Schnittfläche wurden Reste des Acryllacks mittels Lichtmikroskopie betrachtet. Die aktiven Prozesskräfte (Niederhalter- und Gegenhalterkraft, siehe Bild 1) wurden variiert, um den Werkstoffffluss in der Scherzone zu beeinflussen und die Auswirkungen auf die Entstehung der Schnittfläche zu untersuchen.

In einem weiteren Versuch wurde ein galvanisch vernickelter Blechzuschnitt feingeschnitten. Es wurde angenommen, dass die Nickelschicht aufgrund ihrer mechanischen Eigenschaften ähnlich denen von Stahl zum quantitativen Nachweis der Oberflächenvergrößerung mittels EDX (energiedispersive Röntgenspektroskopie)-Analyse geeignet ist. Der qualitative Vergleich zwischen den Feinschnittproben mit Acryllack und Nickelschicht ermöglicht Rückschlüsse darauf, wie die Tribologie durch die aktiven Prozesskräfte und Oberflächenvergrößerung beeinflusst wird.

In einem zusätzlichen Versuch wurde eine unbeschichtete Probe feingeschnitten und anhand der Oberflächenstruktur auf der Schnittfläche sowie im Kanteneinzugbereich untersucht, ob die Schnittfläche aus der Blechoberfläche gebildet wurde.

2.1 Werkstoff und Schnittgeometrie

Mit Feinschneidversuchen einer Analogiegeometrie wurden Schnittflächen erzeugt. Die Schnittgeometrie und der Versuchsaufbau sind in **Bild 3** dargestellt.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

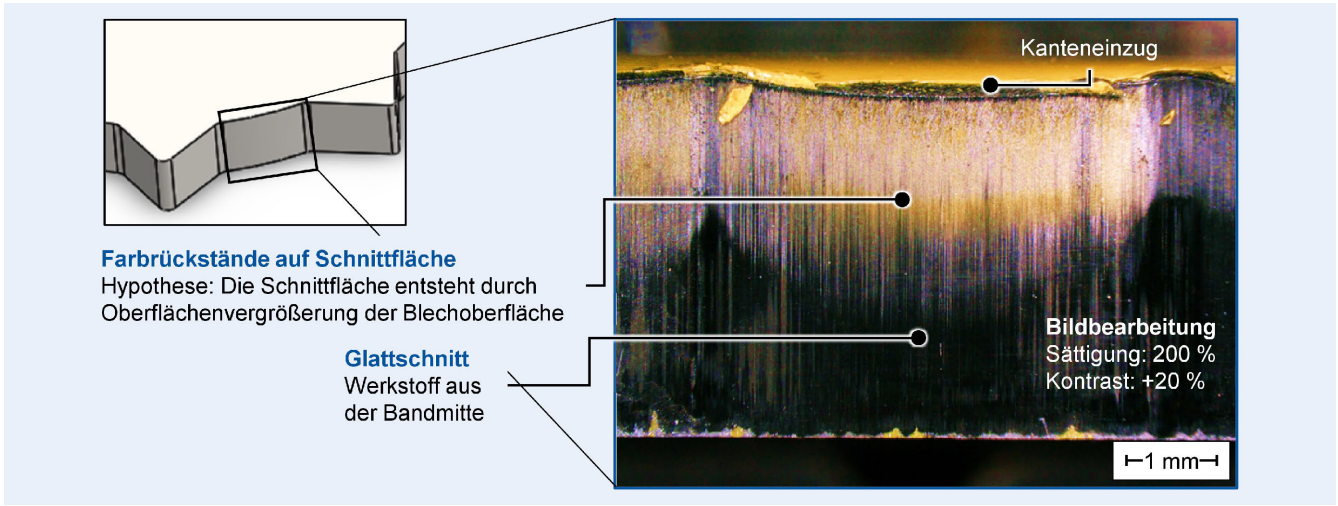

Bild 4. Nachweis der Oberflächenvergrößerung durch Analyse von Merkmalen, die ehemals auf der Bandoberfläche vorlagen. *Grafik: MTI*

Als Werkstoff wurde weichgeglühtes Kaltband aus dem Vergütungsstahl 42CrMo4 +AC mit einer Blechdicke von s = 6 mm und einer arithmetischen Mittenrauheit Ra von 0,5 µm von der Mendritzki Holding GmbH & Co. KG verwendet. Aus dem Blechstreifen wurden Proben mit den Abmessungen 100 mm × 68 mm angefertigt.

2.2 Werkzeug

Das Feinschneidwerkzeug ist ein modulares Viersäulengestell mit wechselbaren Schneideinsätzen. Die Blechproben wurden manuell in das Werkzeug eingelegt. Die Schnittgeometrie ist sternförmig mit einer Variation an Spitzenradien und Eckenwinkeln, um eine Bandbreite von Schwierigkeitsgraden gemäß [2] abzubilden, bei denen Einrisse auftreten können. Die Spitzenradien R wurden zu 0,5, 0,8 und 1,0 mm gewählt, während die Eckenwinkel α zu 70°, 80° und 90° festgelegt wurden. Der Schneidspalt u betrug 20 µm umlaufend.

2.3 Prozessführung

Die Versuche wurden auf einer servomechanischen Feinschneidanlage vom Typ „Feintool XFT 2500 speed“ durchgeführt. Die Schneidgeschwindigkeit betrug etwa 50 mm/s, Die Prozesskräfte vom Stempel und Gegenhalter wurden einmal auf einen Minimalwert gesetzt und einmal auf eine Flächenpressung von etwa 150 MPa eingestellt, um den Druckspannungszustand in der Scherzone und damit den Werkstoffffluss im Kanteneinzugbereich zu variieren. Die Flächenpressung von 150 MPa orientiert sich an der Prozessauslegung beispielsweise nach [2]. Damit ergab sich anhand der Aktivflächen für die Gegenhalterkraft F_{GH} ein Wert von 0 und 115 kN. Die Niederhalterkraft F_{NH} wurde auf 30 kN (Minimalwert) und 390 kN eingestellt.

2.4 Analyse der mit Acryllack beschichteten Proben

Nach dem Feinschneiden wurde die Schnittfläche, wie in **Bild 4** exemplarisch dargestellt, nach Rückständen des Acryllacks mittels Auflichtmikroskopie untersucht. Nachteilig wird beim Acryllack angesehen, dass der Lack wesentlich weicher ist als der Blechwerkstoff und sich beim Schneidvorgang anders verhält als der Blechwerkstoff. Die Aufnahmen wurden bearbeitet mit einer erhöhten Farbsättigung und einem erhöhten Kontrast, um Rückstände des Acryllacks besser sichtbar zu machen.

2.5 Analyse der galvanisch vernickelten Probe

Eine weitere Blechprobe wurde galvanisch vernickelt, da Nickel ähnliche mechanische Eigenschaften aufweist wie der verwendete Vergütungsstahl und eine gute Schichthaftung hat. Die Schichtdicke wurde anhand eines Querschliffs gemessen und betrug etwa 1 µm. Die vernickelte Blechprobe wurde bei hoher Prozesskrafteinstellung feingeschnitten und im Rasterelektronenmikroskop (REM) vom Typ „Zeiss Sigma“ betrachtet. Im Rückstreuelektronenmodus (BSD) wurde Nickel als Materialkontrast zum eisenhaltigen Stahl dargestellt. Mittels EDX wurde der Nickelanteil auf der Schnittfläche nachgewiesen.

2.6 Analyse der unbeschichteten Probe

In einem weiteren Versuch wurde eine unbeschichtete Blechprobe bei hoher Prozesskraftstufe feingeschnitten und die Oberfläche im REM im Sekundärelektronenmodus (SE) dargestellt, um die Oberflächentopografie sichtbar zu machen. Anhand der Aufnahmen wurden Ähnlichkeiten zwischen der Oberflächenstruktur auf der Oberfläche, dem Kanteneinzugbereich und der Schnittfläche untersucht.

3 Ergebnisse

Die mit Acryllack beschichteten Proben wurden senkrecht zur Schnittfläche an jedem Geometriefeature fotografiert und gegenübergestellt. Die Gegenüberstellung ist in **Bild 5** dargestellt.

Auf der linken Seite sind die Aufnahmen des ohne aktive Prozesskräfte geschnittenen Schnittteils, während auf der rechten Seite die Aufnahmen des mit aktiven Prozesskräften geschnittenen Schnittteils abgebildet sind. Die Kraft wurde variiert, um das Verhältnis von Zugspannungen an der Oberfläche im Kanteneinzugbereich zu den Druckspannungen in der Scherzone zu beeinflussen und damit einen möglichen Einfluss auf die eingezogene Blechoberfläche zu nehmen.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

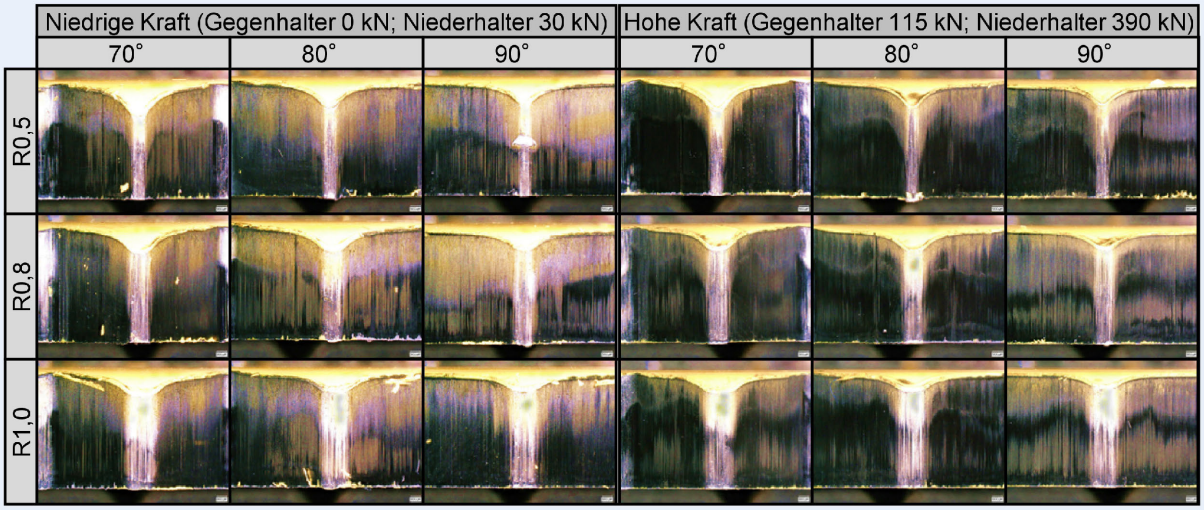

Bild 5. Gegenüberstellung der Auswirkung von Geometriefeatures (Spitzenradius R und Eckenwinkel) und Prozesskraft auf die Oberflächenvergrößerung der Bandoberfläche auf die Schnittfläche. *Grafik: MTI*

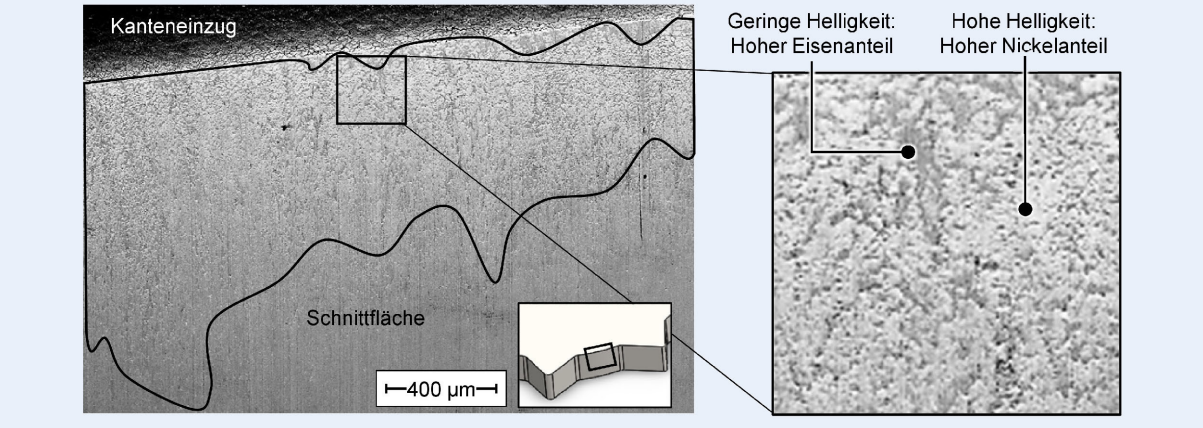

Bild 6. Nachweis von Nickel von der Bandoberfläche kommend auf der Schnittfläche mittels Rückstreuelektronen. *Grafik: MTI*

Auf den Aufnahmen ist zu erkennen, dass sich Lack von der Blechoberfläche auf der Schnittfläche wiederfindet. Bei der niedrigen Kraftstufe ist die Farbsättigung stärker als bei der hohen Kraftstufe. Auch ist zu erkennen, dass der Farbschleier bei der niedrigen Kraftstufe einen größeren Anteil auf der Schnittfläche annimmt. Der Schleier bedeckt etwa ein Drittel bis zur Hälfte der Schnittfläche. Bei einem größeren Winkel wirkt der Schleier größer, wobei die Auswertung anhand der Aufnahmen dazu keine quantifizierbaren Beobachtungen zulässt. Bei der Probe mit niedriger Kraftstufe, Radius R = 0,5 und α = 90° ist ein Einriss auf der Schnittfläche aufgetreten. Auffällig ist, dass der Einriss an der unteren Kante des Schleiers vom Acryllack aufgetreten ist.

Bei der Analyse der mit Acryllack beschichteten Blechoberfläche ist jedoch nicht zu klären, ob der Lack von der Schneidkante am Stempel verschmiert wurde oder ob sich der Lack mit dem Blechwerkstoff mitbewegt. Daher wurde zur Validierung und weiteren Untersuchung eine galvanisch vernickelte Blechprobe feingeschnitten. In **Bild 6** ist das REM-Bild einer Schnittfläche der vernickelten Blechprobe auf der Kanteneinzugseite abgebildet. Die mit dem Rückstreuelektronen-Detektor fotografierte Oberfläche stellt den Materialkontrast zwischen Stahl und Nickel durch Helligkeitsunterschiede dar. Aufgrund der etwas höheren Masse von Nickel gegenüber Eisen erscheint der Nickelanteil heller.

Ähnlich wie der Schleier bei der Acryllackbeschichtung erscheint ein Schleier mit Nickelanteilen auf der Schnittfläche. Die Nickelschicht überzieht die Schnittfläche im Bereich unterhalb der Kanteneinzugseite. In einer Detailaufnahme ist zu erkennen, dass die Nickelschicht stellenweise aufreißt und der darunterliegende Stahl freigelegt wird. In **Bild 7** wurde der Nickelgehalt mittels EDX in Abhängigkeit vom Abstand von der Kanteneinzugseite gemessen. Es ist zu beachten, dass aufgrund der dünnen Schichtdicke durch die Anregungsbirne auch unter der Schicht liegender Stahlwerkstoff mit analysiert wurde und so die Nickelanteile beeinflusst wurden.

Der gemessene Nickelanteil wurde als repräsentativer Wert für die Schichtdicke gemessen. Dazu wurden fünf Spots bis zu 1 mm von der Kanteneinzugseite entfernt ausgewählt. Der Nickelanteil nahm kontinuierlich ab, bis ab circa 1 mm Abstand kein Nickel mehr nachweisbar war. Der Gradient des Nickelanteils wird damit erklärt, dass der Umformgrad mit zunehmendem Abstand von der Kanteneinzugseite in der Scherzone zur Gratseite hin zunimmt (vergleiche zum Beispiel [4]) und die Oberfläche stärker vergrößert wird.

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

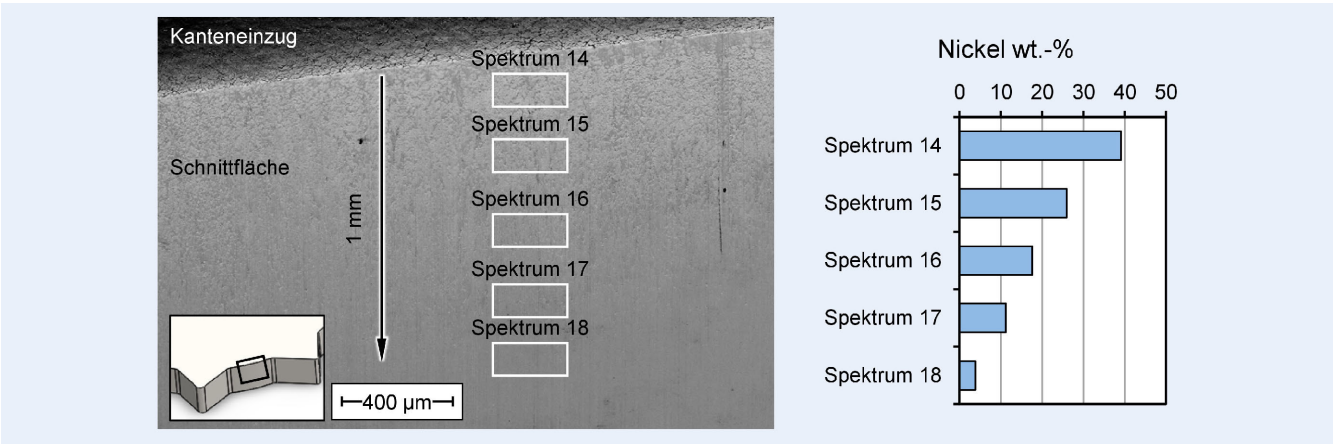

Bild 7. Nachweis von Nickel auf der Schnittfläche mittels EDX (energy dispersive X-ray spectroscopy)-Messung. *Grafik: MTI*

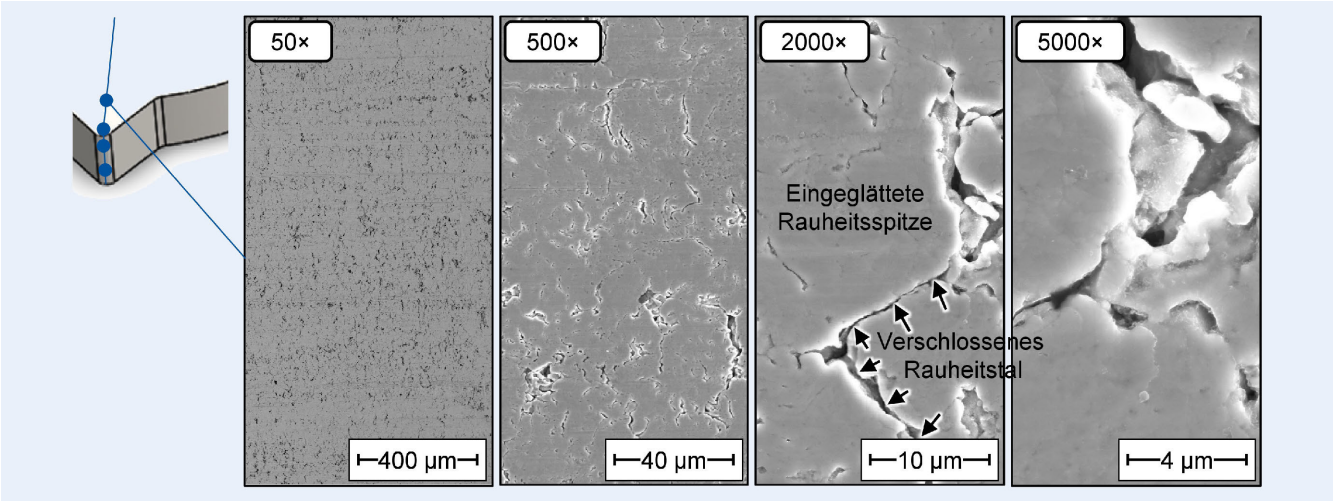

Bild 8. Ansicht der kaltgewalzten Bandoberfläche mittels Sekundärelektronenmodus. *Grafik: MTI*

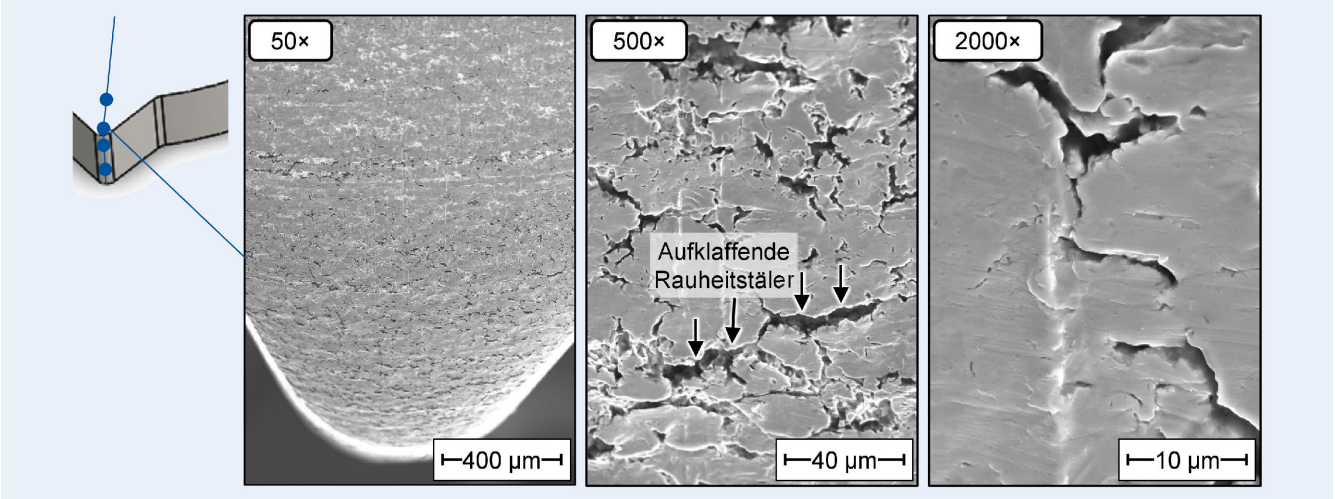

Bild 9. Bereich des Kanteneinzugs an einem Schnittteil auf der Oberseite mittels Sekundärelektronenmodus. *Grafik: MTI*

Im nächsten Versuch mit unbeschichteter Blechoberfläche wurde die Struktur der Oberfläche analysiert. **Bild 8**, **Bild 9** und **Bild 10** stellen REM-Bilder der Blechoberfläche auf der Blechoberfläche, im Kanteneinzugbereich und auf der Schnittfläche dar.

Die kaltgewalzte Blechoberfläche weist messtechnisch eine niedrige Mittenrauheit auf. Auf dem REM-Bild ist jedoch zu erkennen, dass ein ursprünglich raueres Oberflächenprofil beim Kaltwalzen eingeglättet wurde. Rauheitsspitzen wurden geglättet, dabei wurden Rauheitstäler verschlossen. Die verschlossenen

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY

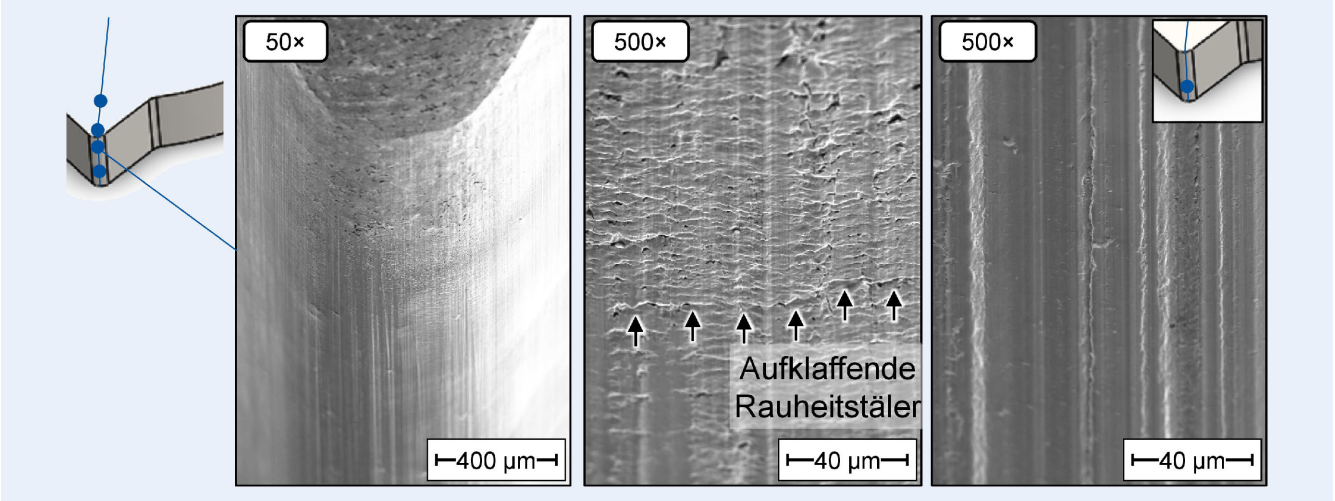

Bild 10. Ansicht der Glattschnittfläche unterhalb des Kanteneinzugsbereichs und auf der Gratseite mittels Sekundärelektronenmodus. *Grafik: MTI*

Rauheitstäler geben während einer plastischen Dehnung der Oberfläche nach, wie im Kanteneinzugbereich in Bild 9 zu erkennen ist. Die Oberfläche im Kanteneinzugbereich wird unter Zugspannungen vergrößert und somit gedehnt. Entsprechend klaffen die Rauheitstäler der eingeglätteten Oberfläche wieder auf.

Ein ähnliches Muster wie im Kanteneinzugbereich ist auch im oberen Glattschnittbereich nahe des Kanteneinzugs in Bild 10 zu erkennen. Die Oberfläche weist eine Vielzahl an Mikrorissen quer zur Schneidrichtung auf. Dies deutet darauf hin, dass eine Oberflächenvergrößerung der Bandoberfläche stattgefunden hat. Auf der Gratseite ist hingegen eine glatte Schnittfläche mit ausgeprägten Furchen in Schneidrichtung zu sehen. Es wird davon ausgegangen, dass in diesem Bereich eine neugebildete Oberfläche entsteht. Die Entstehung der Furchen in Schnittrichtung wird damit erklärt, dass die Schnittfläche an Ablagerungen oder Beschädigungen der Kavität des Schneideinsatzes vorbeigeführt wird. Diese Furchen werden bekanntermaßen bei steigendem Matrizenverschleiß stärker ausgeprägt [11]

4 Diskussion und Zusammenfassung

Bei Schnittteilen, die aus acryllackbeschichteten Blechproben feingeschnitten wurden, war ein Schleier auf der Schnittfläche sichtbar. Dies wird damit erklärt, dass der mit dem Schleier behaftete Schnittflächenanteil auf der Kanteneinzugseite durch eine Oberflächenvergrößerung der Blechoberfläche entstand. Unterhalb des Schleiers steigt der Glanz der Schnittfläche an. Der erhöhte Glanz auf der Gratseite wird damit erklärt, dass der Anteil der Schnittfläche durch Scherung entsteht. Der sichtbare Werkstoff in diesem Bereich entsteht also durch Neubildung aus dem Inneren des Blechwerkstoffs. Eine geringe Prozesskraft wirkt sich so aus, dass der Schleier auf der Schnittfläche eine größere Fläche einnimmt. Da bei einer erhöhten Prozesskraft die Querkontraktion der Schnittfläche und somit die Reibung zwischen Stempelmantelfläche und Schnittfläche steigt, führen Prozesskräfte zu einem behinderten Nachfließen von Werkstoff aus der Blechoberfläche. Die geringere Farbsättigung bei erhöhter Prozesskraft wird darauf zurückgeführt, dass eine stärkere Dehnung in dem Bereich des Schleiers vorgelegen hat und somit der Acryllack stärker ausgedünnt wurde. Es ist jedoch nicht auszuschließen, dass der Acryllack in der Relativbewegung zwischen Stempelmantelfläche und Schnittfläche abgestreift wurde. Ein möglicher Transportmechanismus von scherweichem Acryllack oder Schmierstoffen allgemein auf der Schnittfläche ist, dass der Acryllack sich in geöffneten Rauheitstälern der gedehnten Blechoberfläche anlagert und im Bereich der Oberflächenvergrößerung in Schneidrichtung mitgeführt wird.

Ähnlich wie bei den lackierten Blechproben war auf der Schnittfläche auch beim vernickelten Blech ein Schleier unterhalb des Kanteneinzugs zu erkennen. Während sich der Acryllack schmierstoffähnlich verhält, wird bei der Nickelbeschichtung davon ausgegangen, dass eine gute Schichthaftung zum Stahlblech vorliegt und die nachweisbaren Nickelanteile auf der Schnittfläche tatsächlich durch Oberflächenvergrößerung zurückzuführen sind. Der nahezu linear abnehmende Nickelanteil von der Kanteneinzugseite zur Gratseite hin wird damit erklärt, dass die Oberflächenvergrößerung der Blechoberfläche zunimmt, bis sich unterhalb des Übergangs die Oberfläche neu bildet, siehe Bild 10. Die Ergebnisse der Acryllackbeschichtung und der Nickelbeschichtung sind insofern vergleichbar, weil der Acryllack nur von der vergrößerten Oberfläche in den geöffneten Rauheitstälern transportiert wird.

Bei der unbeschichteten Blechprobe wurden Merkmale der Struktur der Blechoberfläche aus dem Herstellprozess auf einem Teil der Schnittfläche wiedergefunden. Die durch das Kaltwalzen verschlossenen Rauheitstäler treten in Form von Mikrorissen auf der Schnittfläche auf. Im Kanteneinzugbereich werden verschlossene Rauheitstäler geöffnet und bauen Zugspannungen durch die Oberflächenvergrößerung ab. Die Rauheit wird durch das Öffnen der Oberfläche in gedehnten Bereichen erhöht.

Unterhalb des Schnittflächenanteils, der durch Oberflächenvergrößerung aus der Blechoberfläche entsteht, ist ein Schnittflächenanteil mit einer optisch glatten Oberfläche zu erkennen. Es gibt somit zwei Bereiche auf der Schnittfläche. Das Erscheinungsbild des Glattschnittbereichs auf der Gratseite wird damit erklärt, dass die Oberfläche während des Fließschervorgangs aus dem Werkstoffinneren neu gebildet wurde. In diesem Glattschnittbereich ist somit keine Beeinflussung durch die Struktur der Blechoberfläche zu erwarten.

An einer Probe wurde an einem Geometriefeature ein Einriss beobachtet, der am Übergang zwischen vergrößerter und neu gebildeter Oberfläche entstand. Der Riss trat also an einer Stelle auf,

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

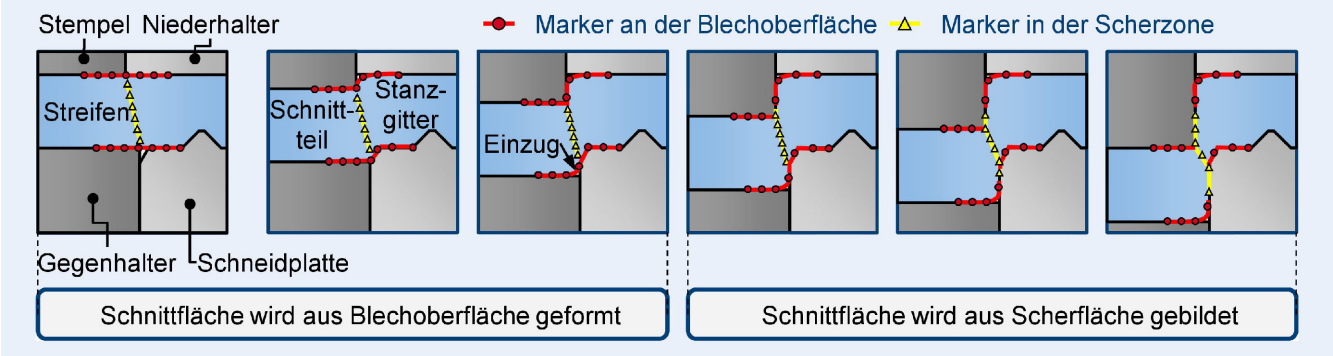

Bild 11. Modellvorstellung des Trennmechanismus beim Feinschneiden mit virtuellen Markern auf der Bandoberfläche (Kreis) und in der Scherzone (Dreieck). *Grafik: MTI*

an der die Dehnung durch Oberflächenvergrößerung maximal war. Möglicherweise hat Kerbwirkung durch Mikrorisse oder die hohe Dehnung unter Zugbeanspruchung dazu beigetragen, dass der Einriss an dieser Stelle aufgetreten ist. Die Entstehung des Einrisses wird in weitergehenden Untersuchungen adressiert. Es ist auch zu klären, ob die Blechoberfläche durch den Kaltwalzprozess veränderte mechanische Eigenschaften durch den tribologischen Kontakt mit den Walzen aufweist. Beispielsweise kann die Oberfläche durch einen geringen Walzenschlupf kaltverfestigt sein und somit ein geringeres Restumformvermögen bereithalten.

5 Fazit und Ausblick

Zusammenfassend ist in **Bild 11** eine Modellvorstellung des Trennmechanismus und der Schnittflächenbildung beim Feinschneiden dargestellt.

Ein tiefgreifendes Verständnis des Mechanismus kann in Zukunft genutzt werden, um die Schnittflächenqualität zu erhöhen und die Tribologie durch einen aktiven Schmierstoffeintrag hinsichtlich höherer Standmengen zu verbessern.

In weitergehenden Arbeiten soll der Trennmechanismus beim Feinschneiden weiter untersucht werden. Aus dem Erklärungsansatz eröffnen sich mehrere Ansätze:

- Durch eine maßgeschneiderte Oberflächenintegrität der Blechoberfläche im Herstellungsprozess kann die Einrissempfindlichkeit der Schnittfläche gesteuert werden.
- Eine durch Dehnung geöffnete Oberflächenstruktur kann genutzt werden, um Zugspannungen in der Oberfläche abzubauen und somit der Ausbildung von Kanteneinzug entgegenzuwirken.
- Weiterhin kann eine durch Dehnung geöffnete Oberflächenstruktur genutzt werden, um ein Schmierstoffreservoir bereitzustellen und damit Schmierstoff in die tribologische Wirkfuge zwischen Stempelmantelfläche und Schnittfläche zu befördern. Jedoch kann durch eine derartige Maßnahme nur der Anteil der Schnittfläche geschmiert werden, der durch Oberflächenvergrößerung entsteht. Die neu gebildete Oberfläche kann nur durch eine Schmierstoffmitnahme an der Schneidkante des Werkzeugs tribologisch unterstützt werden, beispielsweise durch oberflächenaktive Additive, wie sie bereits Stand der Technik sind. Eine Reibungsreduzierung zwischen Stempelmantelfläche und Schnittfläche kann sich unter zyklischer Belastung positiv auf den Verschleißschutz gegen die Verschleißform Oberflächenzerrüttung [3] auswirken.
- Die Auswirkung des Richtwalzens in der Prozesskette der Bandvorverarbeitung auf die Oberflächenstruktur des Bandwerkstoffs ist bislang nicht untersucht worden. Diese Fragestellung soll in weitergehenden Arbeiten ebenfalls adressiert werden.

DANKSAGUNG

Die Autoren bedanken sich herzlich bei der Mendritzki Holding GmbH & Co. KG Holding für die Unterstützung bei den Arbeiten durch vertiefte Fachdiskussionen und die Bereitstellung von Werkstoff für die Versuchsdurchführung.

Literatur

[1] Statistics Canada: Archived – Standard Industrial Classification – Establishments (SIC-E) 1980: 3253 – Motor Vehicle Stampings Industry. Stand: 2016. Internet: www23.statcan.gc.ca/imdb/p3VD.pl?Function=getVD&TVD=53446&CVD=53450&CPV=3253&CST=01011980&CLV=4&MLV=4. Zugriff am 17.10.2024
[2] Schmidt, R.-A.: Umformen und Feinschneiden. Handbuch für Verfahren, Stahlwerkstoffe, Teilgestaltung. München: Hanser Verlag 2007
[3] Voigts, H.: Feinschneiden mit Hartmetallstempeln. Aachen, Apprimus Verlag 2021
[4] Hatanaka, N.; Yamaguchi, K.; Takakura, N.: Finite element simulation of the shearing mechanism in the blanking of sheet metal. Journal of Materials Processing Technology 139 (2003) 1–3, pp. 64–70
[5] Husson, C.; Correia, J.P.M.; Daridon, L. et al.: Finite elements simulations of thin copper sheets blanking. Study of blanking parameters on sheared edge quality. Journal of Materials Processing Technology. 199 (2008) 1–3, pp. 74–83
[6] Liu, Y. X.; Hua, L.; Mao, H.; Feng, W.: Finite element simulation of effect of part shape on forming quality in fine-blanking process. Procedia Engineering. 81 (2014), pp. 1108–1113
[7] Luo, C.; Chen, Z.; Zhou, K. et al.: A novel method to significantly decrease the die roll during fine-blanking process with verification by simulation and experiments. Journal of Materials Processing Technology 250 (2017), pp. 254–260
[8] Xiang, H.; Zhuang, X.; Zhao, Z.: Knowledge-based system for strip lay-out design in fineblanking. 2009 IEEE International Conference on Intelligent Computing and Intelligent Systems, Shanghai, 2009, pp. 443–447, doi.org/10.1109/ICICISYS.2009.5358146
[9] Klocke, F.: Fertigungsverfahren 4. Heidelberg: Springer 2017
[10] Lange, K., Oberländer, T., Kurz, N.: Walzen. In: Lange, K. (Hrsg.): Umformtechnik Handbuch für Industrie und Wissenschaft. Heidelberg: Springer 1988, S. 178–253
[11] Unterberg, M.; Becker, P.; Niemietz, P. et al.: Data-driven indirect punch wear monitoring in sheet-metal stamping processes. Journal of Intelligent Manufacturing 35 (2024), pp. 1721–1735

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - CC BY

Dr.-Ing. Herman Voigts
h.voigts@mti.rwth-aachen.de
Tel. +49 241 / 80-24979
Foto: MTI

Dr.-Ing. Tim Herrig

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bergs, MBA

Manufacturing Technology Institute MTI
der RWTH Aachen
Campus-Boulevard 30, 52074 Aachen
www.mti.rwth-aachen.de

LIZENZ

Dieser Fachaufsatz steht unter der Lizenz Creative Commons Namensnennung 4.0 International (CC BY 4.0)

https://doi.org/10.37544/1436-4980-2024-10-84 https://www.inlibra.com/de/page/agb - Open Access - (cc) BY