

Schnittgratfreies Scherschneiden mittels Konterschneiden

M. Liewald, J. Kappes, R. Hank

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit dem seit langem bekannten, jedoch wenig eingesetzten, Sonderverfahren des konventionellen Scherschneidens, dem Konterschneiden. Die Schnittgratbildung kann durch das Konterschneiden vermieden werden, wodurch dem Schneidvorgang folgende Nacharbeiten zur Schnittgratentfernung entfallen können.

In den vergangenen 100 Jahren hat sich das Scherschneiden zu einem der meist verbreiteten Massenfertigungsverfahren entwickelt und ist somit ein wichtiger Bestandteil qualitativ hochwertiger industrieller Produktion. [Hör09] Nahezu ein jedes Blechprodukt erfährt innerhalb seines Herstellungsprozesses eine oder mehrere Scherschneidoperationen. Vor der Produktion eines Blechteils wird dabei immer wieder neu entschieden, welche Maschine und welches Schneidverfahren für diese Schneidoperationen am besten geeignet sind. Das Scherschneiden kann in Abhängigkeit von der Stückzahl gegenüber dem Laserschneiden Vorteile in Bezug auf die Prozesszeiten, die Produktivität und die Energieeffizienz aufweisen. Wachsender Zeit- und Kostendruck, wie auch steigende Anforderungen an die Schnittflächenqualität haben jedoch zur Folge, dass manche Blechteile mittels des konventionellen Scherschneidens nicht mehr konkurrenzfähig getrennt werden können. Eine unzureichende Schnittqualität, die Nacharbeiten erforderlich macht, spielt dabei eine entscheidende Rolle. Somit gilt es diese Nacharbeiten zu vermeiden, wobei sogar ein deutlich aufwendigeres Schneidverfahren zum Einsatz kommen kann. Solche Schneidverfahren stellen die Sonderscherschneidverfahren dar, zu denen unter anderen das Feinschneiden und das Konterschneiden zählen. Das Feinschneiden findet im Gegensatz zum Konterschneiden bereits breite Anwendung in der Industrie.

1 Das Sonderscherschneidverfahren - Konterschneiden

Scherschneiden gehört nach DIN 8588 zur Gruppe „Zerteilen“. Zerteilen ist definiert als „mechanisches Trennen von Werkstücken ohne Entstehen von formlosem Stoff, also auch ohne Späne“. [DIN03, Seite 3] Trotz dieser Definition wird das „Zerteilen“ von Blechen im Allgemeinen der Umformtechnik zugeordnet: „Eine gewisse Verwandtschaft zu den Umformverfahren ist dadurch gegeben, dass die Schneidvorgänge mit einer plastischen Verformung verbunden sind“ [Sie01, Seite S64] und das Schneiden durch Vor-, Zwischen- und Nachbearbeitungsvorgänge direkt mit Umformprozessen gekoppelt ist. Die Untergruppe „Scherschneiden“ lässt sich in verschiedene Verfahren wie das einhubige Scherschneiden, das Nibbeln, usw. unterteilen, welche wiederum selbst verschiedene Verfahrensvarianten bilden:

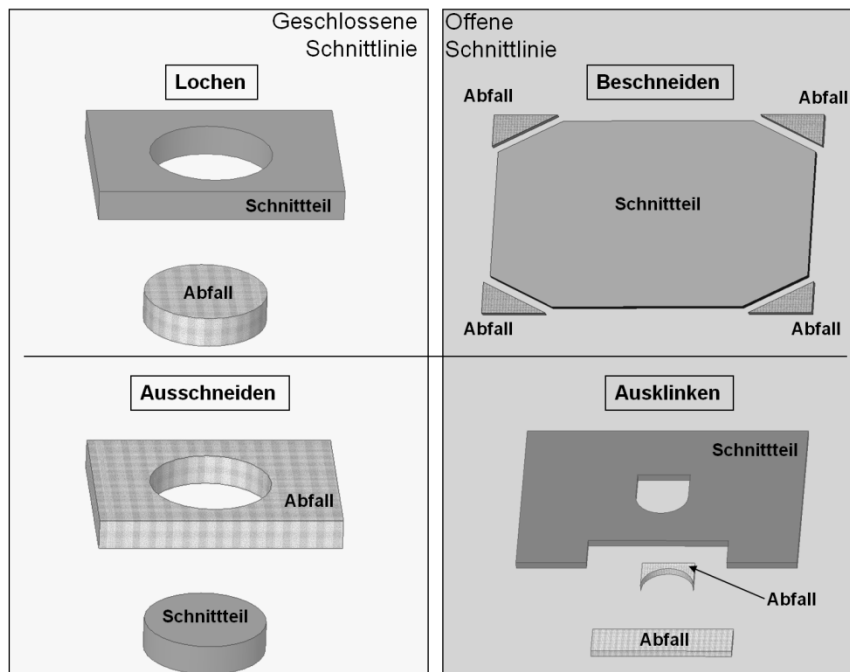


Bild 1: Verfahrensvarianten des Scherschneidens in Anlehnung an [VDI94]

Das „Zerteilen von Werkstücken zwischen zwei Schneiden, die sich unter Einhalten eines definierten Schneidspaltes (u) aneinander vorbeibewegen“ [VDI94, Blatt 2, Seite 2] beschreibt das Verfahren des Scherschneidens.

Die nachfolgenden Untersuchungen zum Konterschneiden konzentrieren sich allein auf die Scherschneidverfahrensvariante des Lochens. Um die Unterschiede zwischen dem konventionellen Scherschneiden und dem Konterschneiden hervorzuheben, wird auf beide Verfahren kurz eingegangen.

Das Scherschneiden wird im Normalfall als einhubiges Scherschneiden eingesetzt. [VDI94] Bild 2 zeigt eine Scherschneidanordnung mit Stempel, Niederhalter, Blech und Matrize. Die Schneidspalte liegen dabei meistens in einem Bereich von 5 bis 15 Prozent der Blechdicke. Für ein solches Verfahren wird der Begriff „Konventionelles Scherschneiden“ (bzw. Normalschneiden) verwendet.

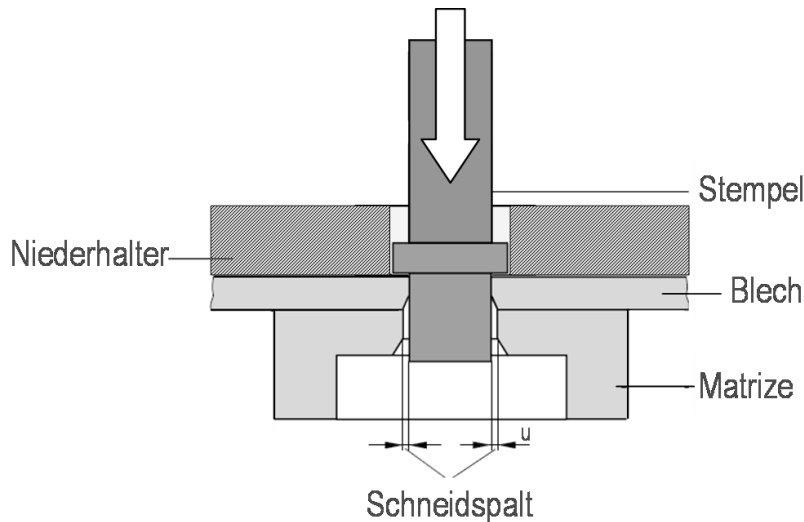


Bild 2: Prinzipskizze: Scherschneiden

Die Schnittfläche beim konventionellen Scherschneiden weist unterschiedliche Schnittzonen bzw. relativ zur Blechdicke, unterschiedliche Schnittanteile auf. Diese und weitere geometrische Größen der Schnittfläche sind im nächsten Bild idealisiert dargestellt:

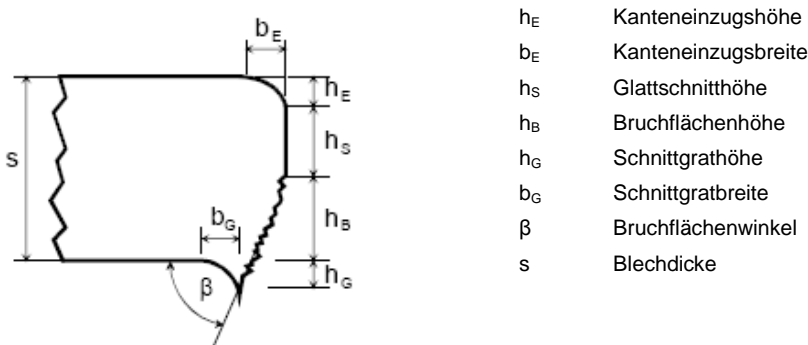


Bild 3: Schnittflächenkenngrößen beim Scherschneiden [VDI94]

Beim konventionellen Scherschneiden und beim Sonderschneidverfahren des Feinschneidens entsteht zwangsläufig immer ein Schnittgrat. Im Gegensatz dazu zielt das Konterschneiden in erster Linie darauf ab, gratfreie Schnittflächen zu erzeugen. [Lan90, VDI94]

Das **Konterschneiden** ist ein Scherschneiden in mehreren Stufen und mit mindestens einer Umkehr der Schneidrichtung. Konterschneiden kann sowohl auf einer mehrfach wirkenden Presse und mit mehreren Werkzeugen, als auch in einer einfach wirkenden Presse im Folgeschneidwerkzeug eingesetzt werden. [VDI94] Somit ist das Konterschneiden nicht zwangsläufig auf ein Folgeverbundwerkzeug festgelegt, auch wenn durch ein optimiertes Folgeverbundwerkzeug z.B. der Verschleiß reduziert werden kann. Wichtig beim Konterschneiden ist jedoch, dass das An-, Gegen- und Durchschneiden konzentrisch erfolgt.

Beim dreistufigen Konterschneiden wird in der ersten Stufe das Blech angeschnitten, d.h. der Stempel dringt in das Blech bis zu einer Tiefe t_{E1} ein, wobei noch keine Anrisse auftreten dürfen. In der zweiten Stufe wird in entgegen gesetzter Richtung (gegen-)geschnitten. Dabei bildet sich erneut ein Kanteneinzug an der gegenüberliegenden Schnittkante aus. Die vollständige Werkstofftrennung erfolgt in der dritten Stufe durch Schneiden in gleicher Richtung wie in Stufe I. Der Vorteil dieses Verfahrens besteht in der Herstellung gratfreier Schnittflächen, sowohl von ausgeschnittenen als auch von gelochten Teilen. Die benötigte Gesamtschneidkraft liegt jedoch höher als beim konventionellen Scherschneiden, da sich diese Gesamtschneidkraft aus der Summe der jeweiligen Schneidkräfte in den einzelnen Stufen zusammensetzt. [Lan90, Sie01, VDI94]

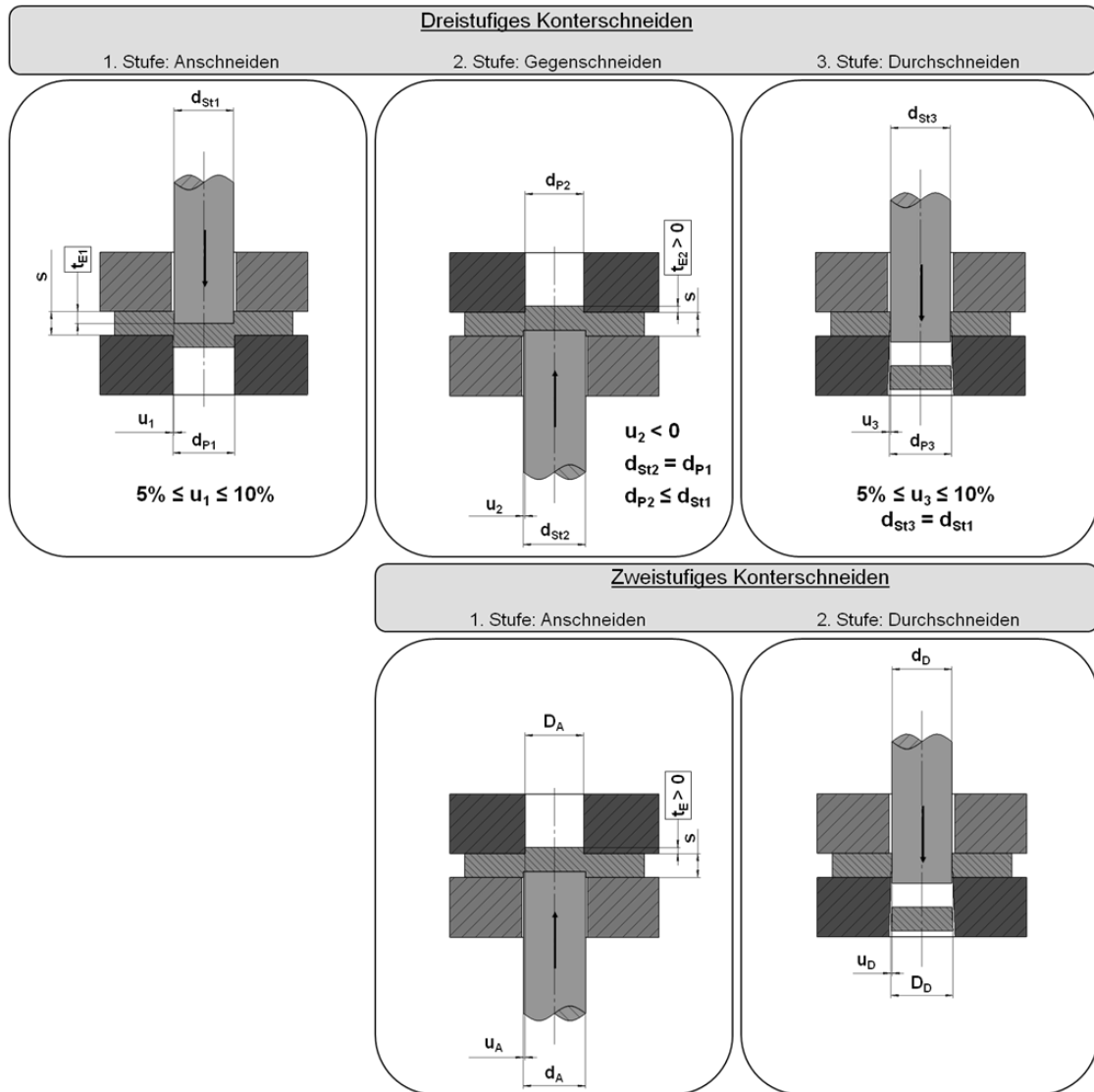


Bild 4: Verfahrensprinzip des 3- und 2-stufigen Konterschneidens

Bild 4 zeigt eine schematische Darstellung des dreistufigen und des zweistufigen Konterschneidens mit Empfehlungen bezüglich der Werkzeugabmessungen hinsichtlich des gratfreien Lochens.

Die Schnittfläche beim dreistufigen Konterschneiden von Innen- und Außenteilen ist insbesondere durch die völlige Gratfreiheit, zwei Glattschnittflächen und die Bruchzone zwischen diesen Glattschnittflächen charakterisiert. [Lang90] Der Glattschnittflächenversatz v_s stellt eine weitere Besonderheit der kontergeschnittenen Schnittfläche dar. Bild 5 zeigt idealisiert ein dreistufig kontergeschnittenes Loch, welches erst von oben angeschnitten, dann von unten gegengeschnitten und letztlich von oben durchgeschnitten wurde. Gleichzeitig trifft diese Schnittfläche auch auf zweistufig kontergeschnittene Löcher zu, welche erst von unten angeschnitten und dann von oben durchgeschnitten werden.

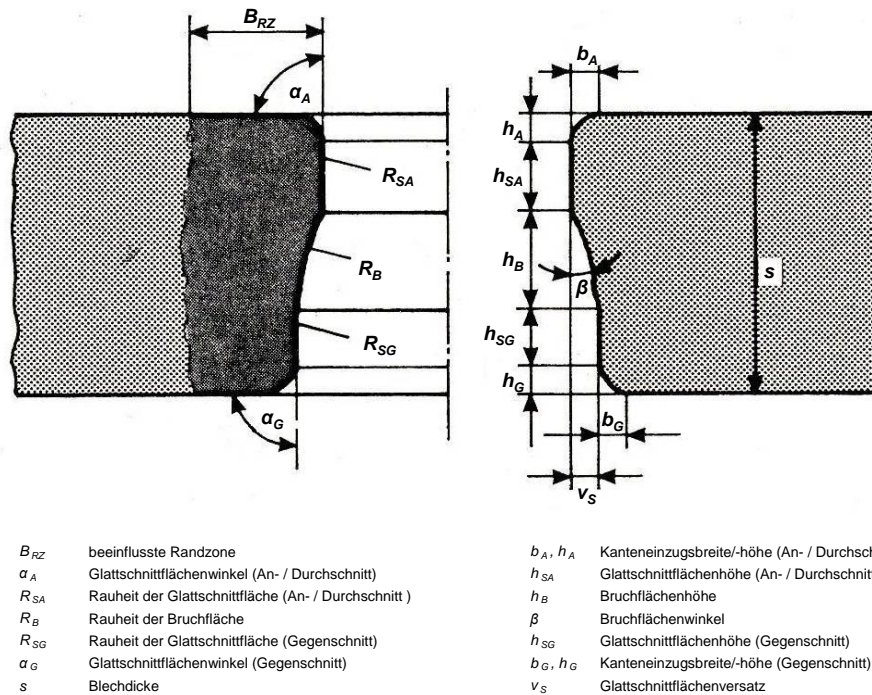


Bild 5: Idealisierte Schnittfläche und Schnittflächenkenngrößen eines mittels (zwei- oder dreistufigen) Konterschneidens gelochten Blechs

Die Gratfreiheit erspart den häufig notwendigen weiteren Arbeitsgang der Schnittgratentfernung. Außerdem zeigt eine kontergeschnittene Schnittfläche gleichzeitig verbesserte Biegeeigenschaften. Der Grund dafür liegt im Schermechanismus. Denn beim Konterschneiden wird die Seite, die der Gratseite beim konventionellen Blech entspricht, nur geringfügig belastet und so besitzt sie ein deutlich größeres Restformänderungsvermögen. [Lan90, Lie79]

2 Ergebnisse der Konterschneidversuche

Das Ziel der Konterschneidversuche bestand in der Herstellung gratfrei gelochter Bleche mittels des dreistufigen und des zweistufigen Konterschneidens. Die Verhältnisse der Schneidspalte und der Eindringtiefen stellen dabei die entscheidenden Versuchsparameter dar. Als Schnittlinienformen wurden ein Kreis mit 10 mm Durchmesser und ein Quadrat mit 10 mm Kantenlänge gewählt. Für die Konterschneidversuche wurden als Blechmaterial ein unlegierter Baustahl und ein austenitischer Stahl der Dicke 4 mm verwendet. Der unlegierte Baustahl S235JR (Werkstoffnummer 1.0037) weist eine Zugfestigkeit R_m von 337 N/mm² auf. Die Zugfestigkeit des Edelstahls X5CrNi18-10 (Werkstoffnummer 1.4301) liegt mit $R_m = 627$ N/mm² im Vergleich zum Baustahl wie zu erwarten deutlich höher.

Aus der Literatur [Lie79] wurden Verfahrensparameter für das Konterschneiden entnommen und auf den vorliegenden Anwendungsfall übertragen. Bild 6 zeigt die so ermittelten Verfahrensparameter bzw. Werkzeugabmessungen.

Dreistufiges Konterschneiden (Blechwerkstoff: S235JR, Blechdicke: 4mm)							
Stufe	Schneidspalt	Stempel- Matrizen-			verwendete Eindringtiefen		
		durchmesser [mm]			A	B	C
1: Anschneiden	$u_1 = 10\%$	10	10,8	t_{E1}	0,8 mm	1,4 mm	2 mm
2: Gegenschneiden	$u_2 = 0\%$	10,8	10,8	t_{E2}	1,2 mm	0 mm	-0,7 mm
3: Durchschneiden	$u_3 = 10\%$	10	10,8				

Bild 6: Werkzeugabmessungen und Eindringtiefen für das dreistufige Konterschneiden

Die mit den in *Bild 6* dargestellten Werkzeugabmessungen und Eindringtiefenverhältnissen ermittelten Versuchsergebnisse lieferten jedoch keine zufriedenstellend gratfrei geschnittenen Löcher (*Bild 7*). Die Matrize der zweiten Stufe beim Gegenschneiden ist im Durchmesser größer als der Durchschneidstempel der dritten Stufe. Aus diesem Grund bleibt infolge des Gegenschneidens ein Werkstoffring auf der Blechoberseite zurück. Offensichtlich ist bei kontergeschnittenen Löchern nicht nur die Blechunterseite hinsichtlich eines Grats zu untersuchen, sondern auch die Oberseite. In diesem Fall handelt es sich jedoch nicht um einen Grat, sondern um einen nach oben hinausragenden „Werkstoffring“. Die Ringdicke entspricht ungefähr der halben Durchmesserdifferenz von Matrize (beim Gegenschneiden) und Stempel (beim Durchschneiden).

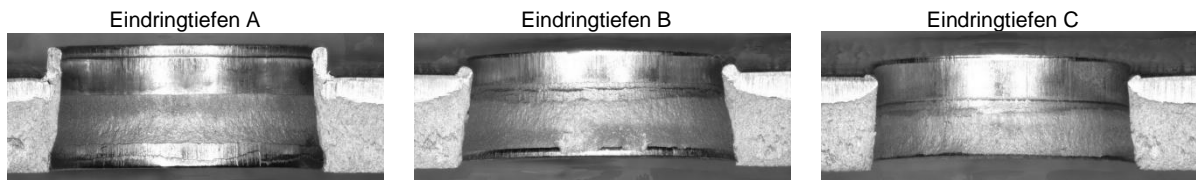


Bild 7: Schnittansichten der mittels dreistufigen Konterschneidens gelochten Bleche

Im Rahmen der durchgeführten Untersuchungen standen das kontergeschnittene Loch und dessen Schnittflächenqualität im Fokus, d.h. der gleichzeitig entstehende Schneidbutzen wurde nicht beachtet. Die wörtliche Bedeutung von „gratfrei“ ist, dass kein Grat vorhanden ist. In der Praxis stellt sich eine Aussage, ob kein Grat vorhanden ist, nicht ganz so einfach dar – Wie ist die Gratfreiheit von Schnittteilen definiert? Nachdem keine allgemein anerkannte Definition zur Gratfreiheit vorliegt [Ben09] und die DIN-Normen 9830 „Schnittgrathöhen an Stanzteilen“ nicht mehr gültig ist, wurde den durchgeführten Untersuchungen folgende Definition zugrunde gelegt: „Ein Teil ist gratfrei, wenn die maximale nur partiell auftretende Schnittgrathöhe kleiner als 0,015 mm ist.“ Eine ähnliche Definition zur Gratfreiheit, ebenfalls mit der Schnittgrathöhe als relevante Größe, findet sich bei [Ben09].

Für die in *Bild 6* dargestellten Stempel- und Matrizenabmessungen sollte mittels systematischer Variation der Eindringtiefen (t_{E1} und t_{E2}) der Arbeitsbereich für gratfreie Löcher bestimmt werden. Dabei zeigte sich, dass mit diesen Werkzeugabmessungen keine gratfreien Löcher mittels des dreistufigen Konterschneidens hergestellt werden können. Festzuhalten bleibt, dass den Arbeitsbereich zum einen eine minimale und maximale Anschneidtiefe, als auch eine minimale und maximale Gegenschneidtiefe (bei der kein Werkstoffring an der Blechoberseite entsteht) begrenzt. Zur Vermeidung der Ausbildung eines Werkstoffrings an der Blechoberseite wurde der Matrizendurchmesser beim Gegenschneiden reduziert. Gleichzeitig erfolgte auch eine Reduzierung des Schneidspaltes beim Anschneiden, d.h. eine Verringerung des Matrizendurchmessers beim Anschneiden, damit auch der Durchmesser des Gegenschneidstempels reduziert werden konnte. Die Veränderungen der Werkzeugabmessungen erfolgten stufenweise. So konnte schließlich ein gratfreies Rundloch mittels dreistufigen Konterschneidens hergestellt werden (*Bild 8*). In diesem Fall entstand nur ein Glattschnittanteil resultierend aus dem Anschneiden der ersten Stufe und dem Durchschneiden der dritten Stufe. Dieser Glattschnittanteil beträgt durchschnittlich 78,5%. Die Winkligkeit dieser Glattschnittfläche liegt ebenfalls gemittelt bei 89,2°.

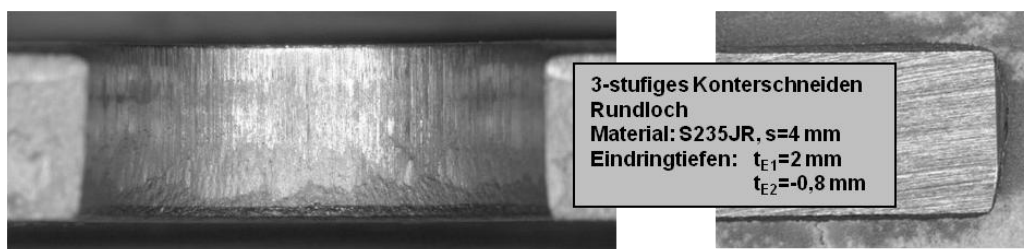


Bild 8: Schnittansichten eines dreistufig kontergeschnittenen Lochs

Weitere Versuche zeigten, dass gratfreie Löcher auch mittels zweistufigen Konterschneidens hergestellt werden können. Das in *Bild 9* dargestellte zweistufig kontergeschnittene Loch weist zwei Glattschnittanteile auf. Der obere, aus dem Durchschneiden resultierende Glattschnittanteil beträgt durchschnittlich 22%. Der untere, aus dem Anschneiden resultierende Glattschnittanteil beträgt durchschnittlich 45%.

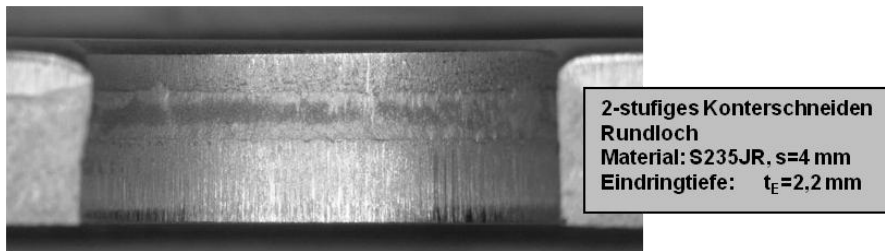


Bild 9: Glattschnittverlauf eines zweistufig kontergeschnittenen Lochs

Eine andere Darstellung des in Bild 9 dargestellten zweistufig kontergeschnittenen Lochs zeigt Bild 10. Dabei geht aus diesem Bild besonders der unterschiedliche Lochdurchmesser über der Blechdicke hervor. Infolge der großen Anschneidtiefe erstreckt sich der größere Durchmesser des Anschneidstempels über einen relativ hohen Anteil der Blechdicke s .

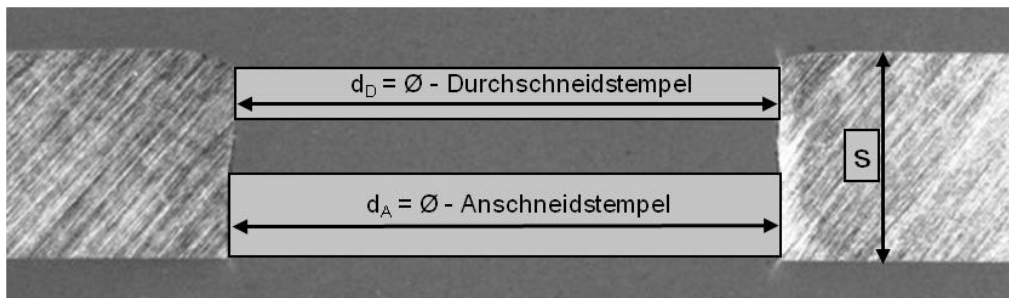


Bild 10: Schnittansicht eines zweistufig kontergeschnittenen Lochs

Ein kontergeschnittenes Loch ist gekennzeichnet durch die Gratfreiheit. Ein optimal kontergeschnittenes Loch sollte zusätzlich noch folgende Punkte berücksichtigen:

- Zweistufiges Konterschneiden anstatt dreistufiges Konterschneiden – Vorteile in Bezug auf Produktivität und Betriebsmittelkosten
- Möglichst großen Anteil der Blechdicke mit dem Durchmesser des Durchschneidstempels

Ideal wäre ein gratfreies Loch mit durchgängig gleichem Lochdurchmesser. Um dies zu erzielen, wurde mit demselben Stempeldurchmesser an- und durchgeschnitten. Dieser Versuch lieferte jedoch kein gratfreies Loch. Denn schon kleinste Konzentritäts- bzw. Maßabweichungen der Stempel bzw. Werkstoffinhomogenitäten hatten einen partiellen Grat an der Lochunterseite zur Folge.

Damit in der Praxis auf eine Nachbearbeitung der Schnittkante verzichtet werden kann, muss diese den Anforderungen genügen, wie z.B. der Minimierung der Verletzungsgefahr an den Schnittkanten. An einem gratfreien Schnittteil ist gewiss eine reduzierte Verletzungsgefahr gegeben. Wenn die Schnittkanten jedoch gratfrei und nicht scharf sind, ist die Verletzungsgefahr minimal. Daraufhin wurde der Anschneidstempel (zweistufiges Konterschneiden) mit einem Radius am Stempelfuß versehen.

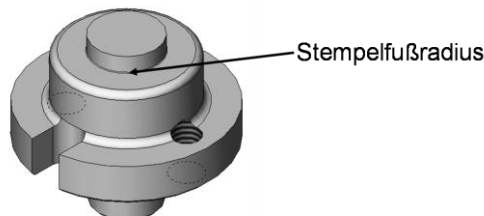


Bild 11: Anschneidstempel mit Radius (beim zweistufigen Konterschneiden)

Mit solchen Anschneidstempeln konnten gute Ergebnisse erzielt werden. Ein solches Loch ist zum einen gratfrei und weist zum anderen an der Lochunterseite umlaufend eine kleine gleichmäßige Fase auf, da sich der Stempelfußradius bei voller Eindringtiefe des Anschneidstempels (Bild 11) in die Schnittkante einprägt.

Die Übertragbarkeit der gewonnenen Erkenntnisse wurde anhand eines anderen Blechwerkstoffs und eines anderen Schnittlinienverlaufs untersucht. Der austenitische Stahl X5CrNi18-10 der Blechdicke 4 mm konnte

ebenfalls mit den gleichen Werkzeugabmessungen wie der unlegierte Baustahl (*Bild 9*) gratfrei zweistufig kontergeschnitten werden (*Bild 12*).

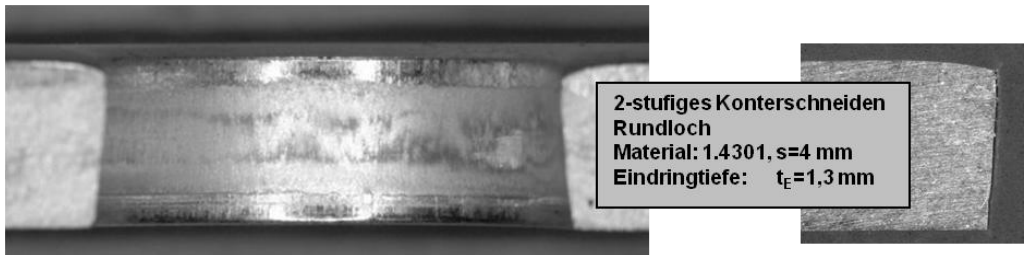


Bild 12: Schnittansichten eines zweistufig kontergeschnittenen Lochs aus 1.4301

Der obere Glattschnittanteil infolge des Durchschneidens beträgt gemittelt 13%. Der untere Glattschnittanteil infolge des Anschneidens beträgt gemittelt 17%. Als weitere Schnittflächenkenngröße konnte ein aus dem Durchschneiden resultierender Glattschnittflächenwinkel von durchschnittlich $86,7^\circ$ ermittelt werden. Werkstoffbedingt war hierbei eine geringere Anschneidtiefe t_E (ohne Einprägen des Stempelfußradius) als beim 4 mm dicken Blech S235JR erforderlich.

Zur Untersuchung der Übertragbarkeit auf eine andere Schnittliniengeometrie wurden quadratische Stempel und Matrizen mit gleichen Schneidspaltverhältnissen gefertigt. Die Schneidspaltverhältnisse beziehen sich dabei auf die parallel verlaufenden und paarweise zusammengehörenden Stempel-Matrizenkanten.

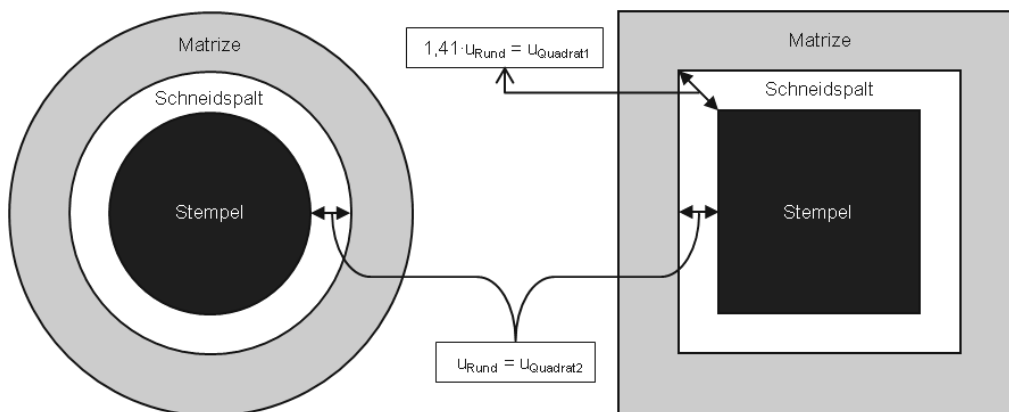


Bild 13: Übertragung der Schneidspaltverhältnisse von einer runden auf eine quadratische Lochgeometrie

Es konnten quadratische Löcher gratfrei kontergeschnitten (zweistufig) werden (*Bild 14*). Um dieses Ergebnis zu erzielen, wurde die Geometrie des Anschneidstempels leicht modifiziert, d.h. die Mantelflächen des Anschneidstempels schließen mit der Vertikalen einen kleinen Winkel ein.

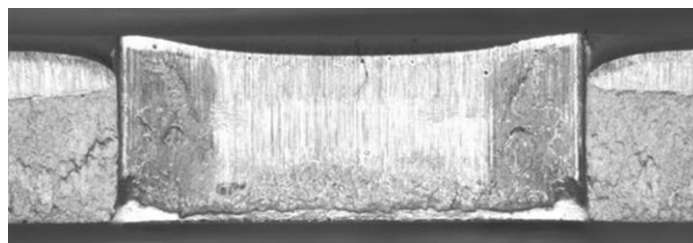


Bild 14: Schnittansicht eines zweistufig kontergeschnittenen Quadratlochs (S235JR, 4mm, konischer Anschneidstempel)

Das in *Bild 14* dargestellte kontergeschnittene Quadratloch weist bedingt durch den Schnittlinienverlauf mittig einen deutlichen Kanteneinzug auf. Dieser starke und über die Schnittlinie nicht gleichmäßig ausgebildete Kanteneinzug soll durch weitere Optimierungen der Werkzeuggeometrien und Prozessparameter des zweistufigen Koterschneidens weiter reduziert werden.

3 Zusammenfassung und Ausblick

Die vorgestellten Untersuchungen belegen die erfolgreiche experimentelle Herstellung von gratfreien Löchern mittels des dreistufigen und des zweistufigen Konterschneidens. Wie gezeigt, stellt das Verfahren des zweistufigen Konterschneidens vor allem in Kombination mit einem leichten Verprägen eines Radius beim Anschneiden ein praxisrelevantes Scherschneidverfahren zur Herstellung gratfreier Löcher bzw. Konturen dar. Weitere Untersuchungen zum Konterschneiden beinhalten die Optimierung der Konterschneidparameter hinsichtlich eines weniger material-, stückzahl- und schneidgeometrieabhängigen Verfahrens.

Literatur

- [Ben09] Bennett, E.
Standards for Burrs
Metalforming OnLine, 23.10.2009, 17:40 Uhr:
<http://archive.metalformingmagazine.com/1996/12/6mfdec5.htm>
- [DIN03] Deutsches Institut für Normung e.V.:
Fertigungstechnisches Zerteilen
Einordnung, Unterteilung, Begriffe
DIN 8588:2003-09, September 2003
- [Hör09] Hörmann, F.
Verfahren zum endkonturnahen Schneiden
Blech Rohre Profile – Heft 10/2009, Seite10-14
Meisenbach GmbH
- [Lan90] Lange, K.:
Umformtechnik – Handbuch für Industrie und Wissenschaft
Band 3: Blechbearbeitung
Zweite, völlig neu bearbeitete und erweiterte Auflage
Springer Verlag, 1990
- [Lie79] Liebing, H.:
Erzeugung gratfreier Schnittflächen durch Aufteilen des Schneidvorgangs
(Konterschneiden)
Berichte aus dem Institut für Umformtechnik, Stuttgart
Girardet, 1979
- [Sie01] Siegert, K.; Ladwig, J.:
Dubbel – Taschenbuch für den Maschinenbau
Scheren und Schneiden
20. Aufl. Springer-Verlag 2001
- [VDI94] Verein Deutscher Ingenieure:
VDI 2906 - Schnittflächenqualität beim Schneiden, Beschneiden und Lochen von
Werkstücken aus Metall
Beuth Verlag GmbH, 1994

Autoren

Prof. Dr.-Ing. Mathias Liewald MBA, Dipl.-Ing. Jens Kappes
Institut für Umformtechnik (IFU) – Universität Stuttgart
Holzgartenstr. 17, D-70174 Stuttgart
Tel. +49 (0)711 / 685-82308, Fax +49 (0)711 / 685-83839
E-Mail: jens.kappes@ifu.uni-stuttgart.de
Internet: www.ifu-stuttgart.de

Dipl.-Ing. (BA) Rainer Hank
TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co. KG
Johann-Maus-Straße 2
71254 Ditzingen
Tel.: +49 (0)7156 / 303-36798, Fax: +49 (0)7156 / 303-36779
E-Mail: rainer.hank@de.trumpf.com
Internet: www.trumpf.com