

Untersuchungen zu den Randzonenbeeinflussungen von Werkzeugen für die Warmmassivumformung infolge verschiedener Fertigungsverfahren

Timur Yilkiran

Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM), Leibniz Universität Hannover

Korrespondenzautor:
Dipl.-Ing. Timur Yilkiran
Abteilung Massivumformung
Tel: 0511-762 2166, Fax: 0511-762 3007
yilkiran@ifum.uni-hannover.de

Geschmiedete Bauteile finden aufgrund ihrer herausragenden technologischen Eigenschaften insbesondere in den Bereichen der Technik Anwendung, in denen es auf Sicherheit, Zuverlässigkeit und Lebensdauer ankommt. Die Kosten für geschmiedete Bauteile resultieren maßgeblich aus den Werkzeugkosten, die signifikant von den erreichbaren Werkzeugstandmengen abhängen. In den dargestellten Forschungsarbeiten werden erste Ergebnisse zur Untersuchung der Beeinflussung der Werkzeugfertigung auf die mikrostrukturellen Veränderungen in den Randzonen diskutiert.

Schlüsselwörter: Werkzeugherstellverfahren, Massivumformung, Randschichten, Erodieren, HSC

Einleitung

Werkzeuge der Warmmassivumformung werden im Allgemeinen durch Hartbearbeitung, Erodieren oder durch Weichbearbeitung und anschließendes Vergüten hergestellt. Dabei entstehen an der Werkzeuggrandschicht mikroskopische Schädigungen, wie z.B. Risse oder Gefügeveränderungen sowie Eigenspannungen, die das Einsatzverhalten der Werkzeuge im Umformprozess beeinflussen können. Bisher existieren keine systematischen Untersuchungen der grundlegenden Auswirkungen der durch das Fertigungsverfahren hervorgerufenen Schädigungen in der Werkzeuggrandschicht auf das Werkzeugverhalten im Umformprozess.

Durch das Aufzeigen der Zusammenhänge zwischen den Herstellungsverfahren und den mikrostrukturellen Vorgängen in der Werkzeugrandzone beim Schmieden sollen künftig Fertigungsrichtlinien speziell für die Fertigung von Warmumformwerkzeugen im Hinblick auf ein verbessertes Einsatzverhalten geschaffen werden.

Aufgrund des breiten Spektrums der Bauteile, die durch Verfahren der Warmmassivumformung hergestellt werden, existiert eine Vielzahl von möglichen Fertigungsverfahren der Werkzeuge. In Abbildung 1 ist der Fertigungsablauf der Werkzeugherstellung durch unterschiedliche Prozessketten dargestellt.

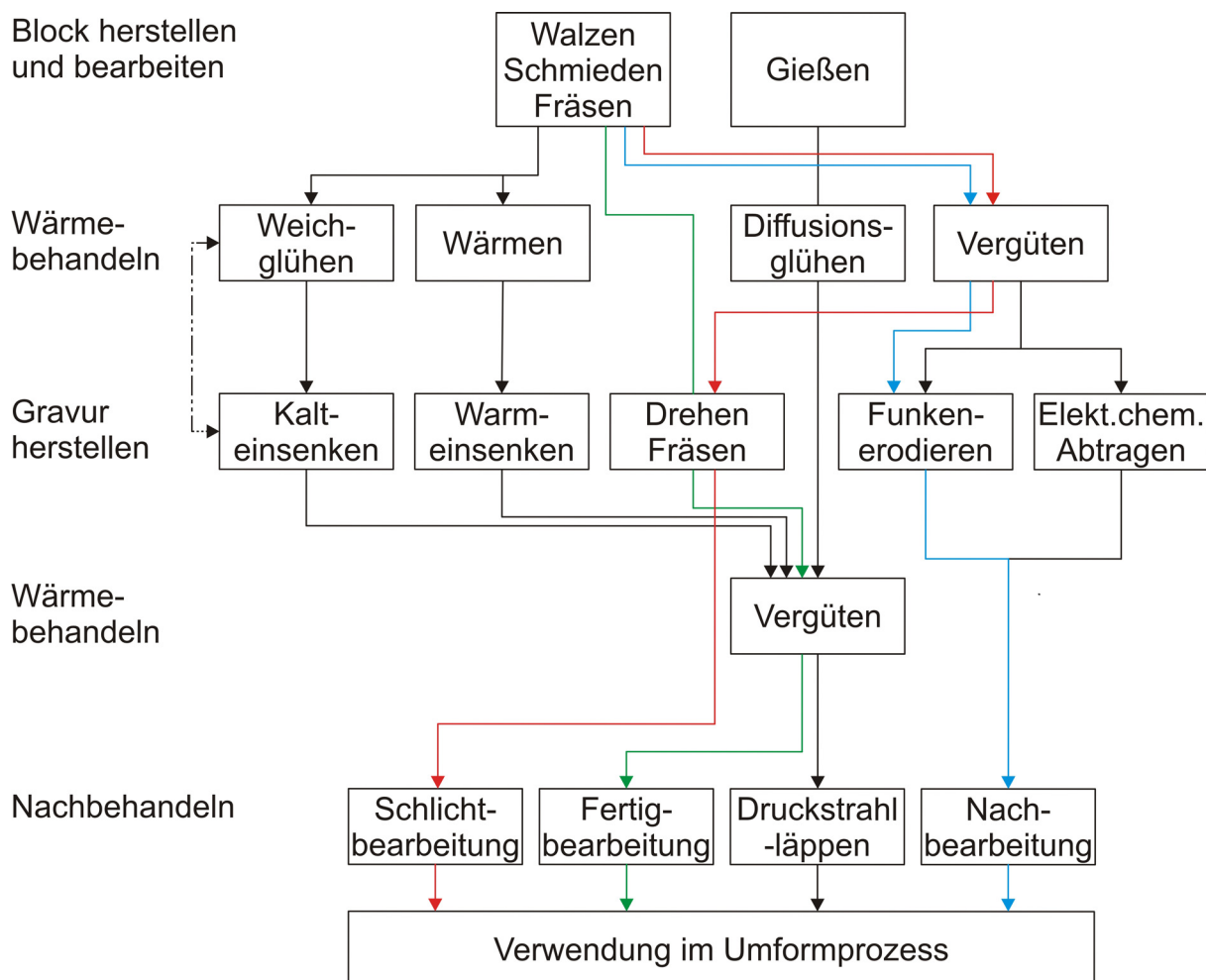


Abbildung 1: Grundsätzliches Fertigungswege bei der Herstellung von Warmumformwerkzeugen [1]

Für Warmmassivumformwerkzeuge werden Warmarbeitsstähle verwendet, die als Werkzeugwerkstoffe zur spanlosen Umformung bei erhöhten Temperaturen von über 200 °C eingesetzt werden (DIN EN ISO 4957) [3].

Im Rahmen der vorgestellten Arbeitsergebnisse werden Werkzeuge durch die in Abbildung 1 mit farbigen Pfeilen gekennzeichneten Prozessketten gefertigt und hinsichtlich mikrostruktureller Schädigungen und Veränderungen in den Randschichten untersucht. Bei der Werkzeugherstellung nach der grün gekennzeichneten Prozesskette erfolgt die Fertigung aus weichen, unvergüteten Blöcken. Die Wärmebehandlung (Vergüten) findet im Anschluß der Fertigung statt, um die Einsatzhärte der Werkzeuge einzustellen. Da das Wärmebehandeln in den meisten Fällen zu einem Wärmeverzug führt, werden die Passungen nach der Vergütung auf Maß bearbeitet und die Oberfläche feingeschliffen. Durch das Feinschliffen der Werkzeugoberfläche werden eventuell vorhandene mikrostrukturelle Schädigungen abgearbeitet, so dass sich das Mikrogefüge in den Randschichten gegenüber dem Kern nicht verändert.

Moderne Werkzeugtechniken und -maschinen sowie die Entwicklung hochfester Schneidstoffe haben dazu geführt, bereits vergütete Blöcke zu bearbeiten, um Zeit und Kosten in der Produktion einzusparen [3]. In Abbildung 1 wird die Prozesskette der Hartbearbeitung mit einem roten Pfeil dargestellt. Aufgrund technologischer und wirtschaftlicher Vorteile finden Verfahren der Hochgeschwindigkeitszerspannung (HSC - High Speed Cutting) seit einigen Jahren immer mehr Verwendung in der Praxis [4]. Das Verfahren stellt hohe Ansprüche an Werkzeug und Werkstück, so dass je nach Werkzeug-/ Werkstückpaarung individuelle Bearbeitungsstrategien entwickelt werden müssen. In [5] wurde das Einsatzverhalten verschiedener Schneidstoffe bei der Bearbeitung von Warmarbeitsstählen bewertet. Untersuchungen zu den Beeinflussungen der HSC-Fertigung von Warmarbeitswerkzeugen auf deren Randschichten und den daraus resultierenden möglichen Beeinträchtigungen im Prozess existieren bisher nicht.

Neben dem HSC ist das Erodieren eine gängige Methode zur Bearbeitung vergüteter Werkstoffe. Beim Erodieren handelt es sich um ein elektrothermisches Abtragsverfahren, bei dem ein elektrischer Funke zwischen einer Gravurelektrode und dem Werkstück überschlägt. Dabei entstehen lokale Temperaturen von 4.000-20.000 °C, wobei kleinste Teilchen verdampfen und aus dem Werkstoffverbund gelöst werden. Durch die hohen Temperaturen kann es beim Erodieren zur Bildung von geschädigten Randbereichen kommen (weiße Schichten), welche das Einsatzverhalten erodierter Bauteile beeinflussen können [6].

Um einen möglichen Einfluss der Fertigungsverfahren Erodieren, Hartbearbeiten (HSC) und Weichbearbeiten mit anschließendem Vergüten auf die Eigenschaften von Werkzeugen der Warmumformung zu untersuchen, werden Probenkörper und Werkzeuge mit diesen Verfahren gefertigt. Anschließend erfolgen analytische Beschreibungen der Randschichtzustände und die Durchführung von Serienschmiedeprozessen.

Ermittlung des Verschleißverhaltens unterschiedlich gefertigter Werkzeuge

Um erste Hinweise auf das Einsatzverhalten von Warmarbeitswerkzeugen infolge verschiedener Fertigungsverfahren zu erhalten, wurden konturierte Modellgesenke gefertigt und in einem Serienschmiedeprozess eingesetzt. Es wurde der Warmarbeitsstahl X38CrMoV5.3 (1.2367) mit einem Vergütungszustand von 50 HRC verwendet. Die Modellgeometrie sowie die für den Prozess verwendete Pressenanlage sind in Abbildung 2 dargestellt.

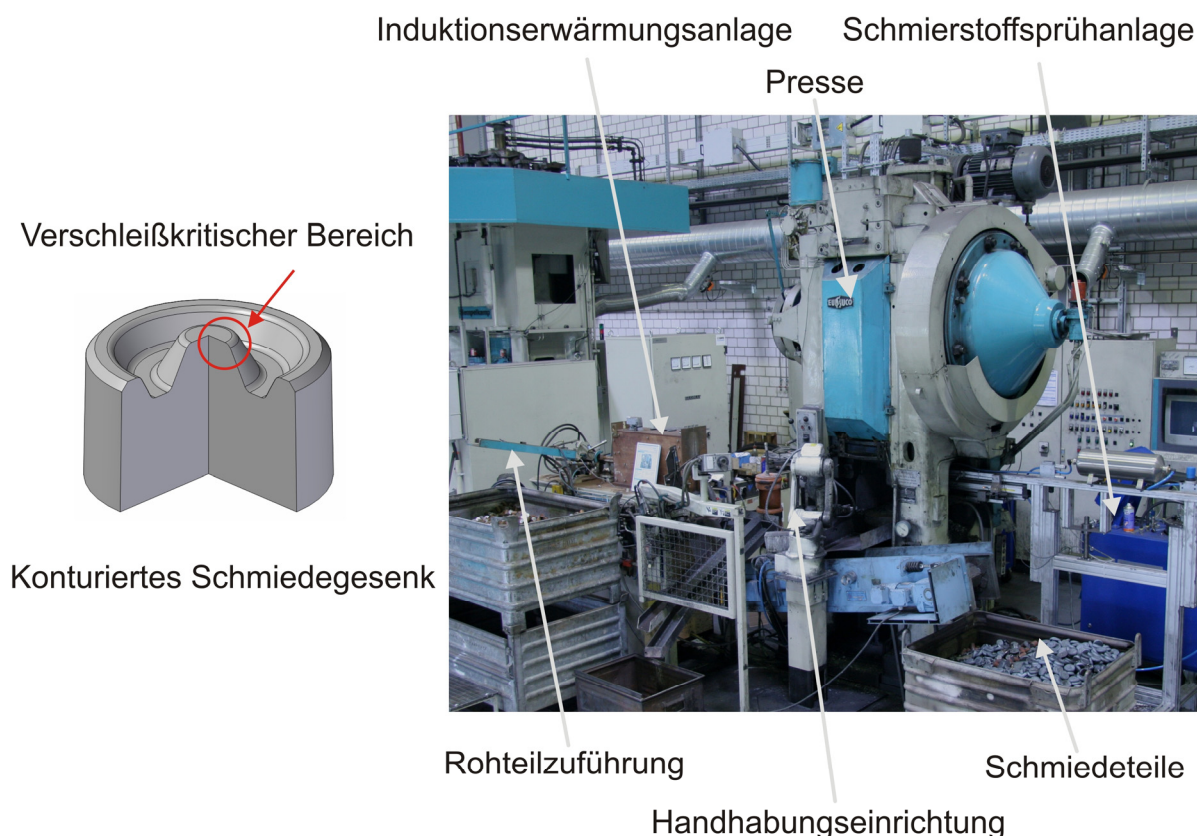


Abbildung 2: Modellgesenk und automatisierte Exzenterpresse der Fa. Eumuco

Bei der Versuchsanlage handelt es sich um eine automatisierte Exzenterpresse der Fa. Eumuco mit einer Nennkraft von 3150 kN. Bei dem Prozess werden die gescherten Rohteile in einem induktiven Durchstoßofen mit einer temperaturgesteuerten Ausschussweiche auf bis zu 1200 °C erwärmt. Anschließend erfolgt der Transport in den Pressenraum durch eine automatische Handhabungseinrichtung. Nach Abschluss des Umformvorgangs wird das umgeformte Teil ausgestoßen und der an den Werkzeugen zurückbleibende Zunder mittels Druckluft entfernt. Die Schmierung erfolgt durch eine automatisierte Schmiereinrichtung. Die Taktzeit des Prozesses beträgt 8 Sekunden.

Jedes Werkzeug wird mit 500 Schmiedezyklen belastet und anschließend mit einer 3D-Koordinatenmessmaschine vermessen. Dabei werden die Werkzeuge jeweils über mehrere Profildaten abgetastet und mit den entsprechenden Profilen vor dem Schmiedeprozess verglichen (siehe Abbildung 3).



Abbildung 3: Werkzeugkontur und Verschleißmessung nach 500 Umformzyklen

Der Verschleiß wird als Auf- und Abtrag in Normalenrichtung von der Kontur des Werkzeugs dargestellt. Da sich aufgrund der Geometrie der größte Verschleiß am Werkzeugdorn einstellt, wird ausschließlich dieser Bereich bei der Auswertung betrachtet.

Mit Hilfe der Profilschriebe kann auf ein annähernd gleiches Verschleißverhalten bei den hart- und weichbearbeiteten Werkzeugen geschlossen werden. Ein vergleichsweise leicht verbessertes Verschleißverhalten wird bei dem erodierten Werkzeug

festgestellt. Vor allem an der Dornflanke kommt es zu geringeren Materialverschiebungen. Diese Verschleißform entsteht vorwiegend durch plastisches Fließen des Grundmaterials. Ursache hierfür ist zumeist eine herabgesetzte Randschichthärte durch temperaturbedingte Anlassvorgänge. Im Gegensatz zu den in [6] beschriebenen Beeinträchtigungen des Einsatzverhaltens erodierter Bauteile deuten diese Ergebnisse auf ein möglicherweise verbessertes Einsatzverhalten erodierter Bauteile im Warmumformprozess hin. Um die Ursache für die erhöhte Verschleißbeständigkeit der erodierten Werkzeuge zu ermitteln, sind Untersuchungen der mikrostrukturellen Zustände vor allem in den Randschichten notwendig. Weiterhin wird durch Modell- und Serienschmiedeversuche überprüft, ob sich ein verbessertes Verschleißverhalten bei erodierten Werkzeugen auch nach einer höheren Anzahl von Schmiedezyklen einstellt.

Probenfertigung und Randschichtcharakterisierung

Um die Ursachen für das unterschiedliche Verschleißverhalten zu ermitteln, werden Proben aus dem Werkstoff X38CrMoV 5.3 (1.2367) gefertigt und metallographische Schliffe erstellt. Die Probenfertigung erfolgt dabei analog zur Fertigung der untersuchten Werkzeuge (Abbildung 3). Mit Hilfe eines Lichtmikroskops werden Gefügebildungen erstellt und anschließend an einem Vickers-Mikrohärteprüfgerät Härteprofile der Randschichten erstellt (Abbildung 4 bis 6).

Die in den Abbildungen 4 bis 6 dargestellten Ergebnisse wurden exemplarisch aus einer Vielzahl von Versuchen mit unterschiedlichen Fertigungsparametern ausgewählt. Zur Bestimmung der Mikrohärteprofile wurden je Probe zwei Profile mit jeweils 13 Messeindrücken erstellt und für jede Tiefe der Mittelwert aus den zwei Eindrücken berechnet. Die Schrittweite wurde so angepasst, dass bei den in Abbildung 6 dargestellten weißen Randschichten möglichst viele Eindrücke platziert werden können, ohne den minimal notwendigen Abstand zwischen zwei Eindrücken zu unterschreiten. Damit besonders tief reichende Effekte ausgeschlossen werden können wurde nach 500 µm zusätzlich eine Messung bei 10.000 µm durchgeführt.

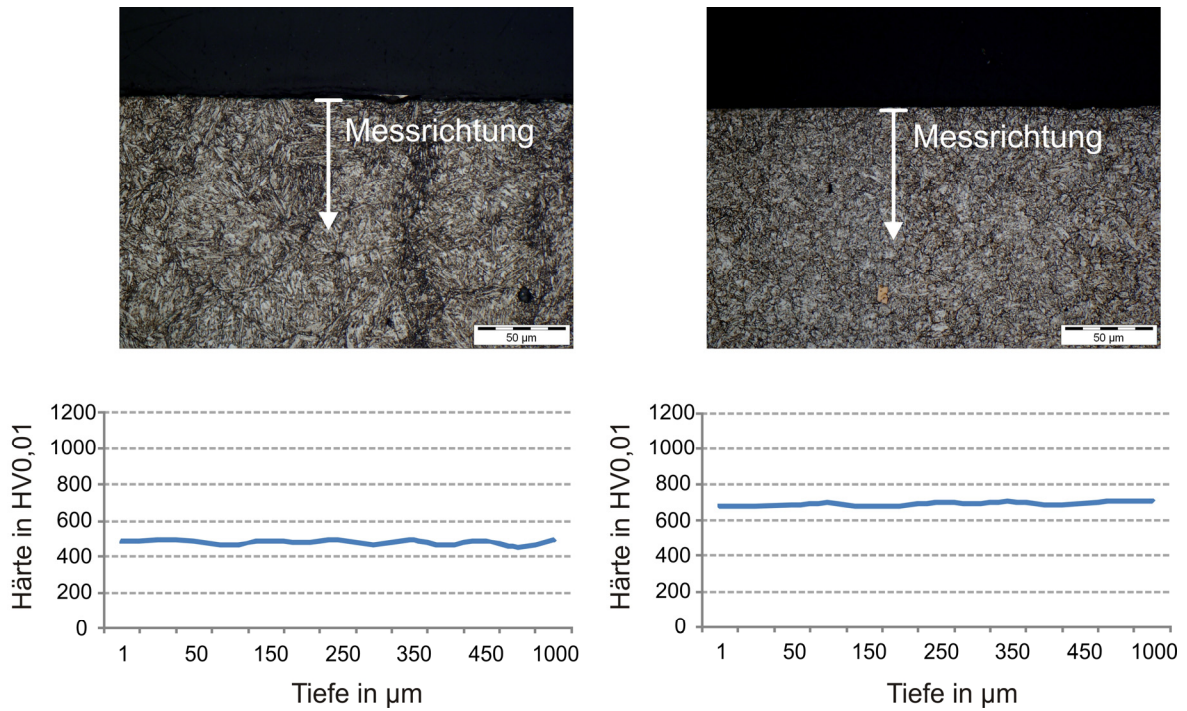


Abbildung 4: Schliffbilder und Mikrohärteprofile nach Drehbearbeitung, 1.2367 mit 45 HRC (links) und 55 HRC (rechts)

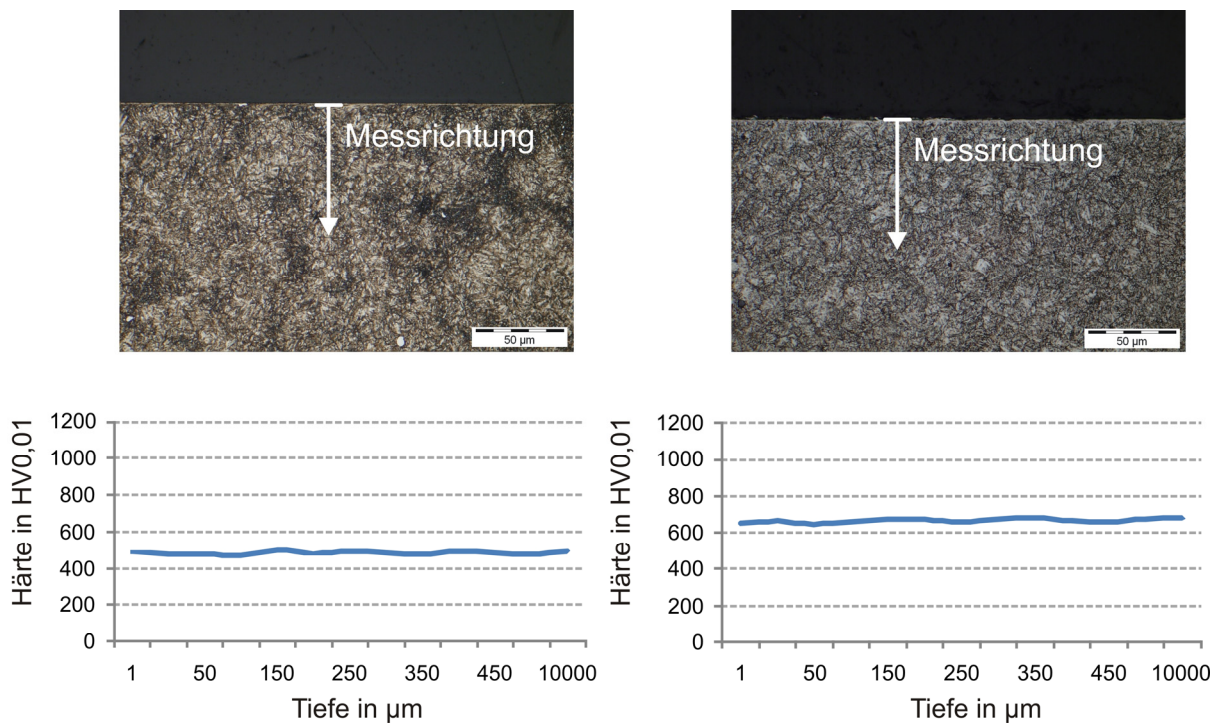


Abbildung 5: Schliffbilder und Mikrohärteprofile nach Hartfräsbearbeitung, 1.2367 mit 45 HRC (links) und 55 HRC (rechts)

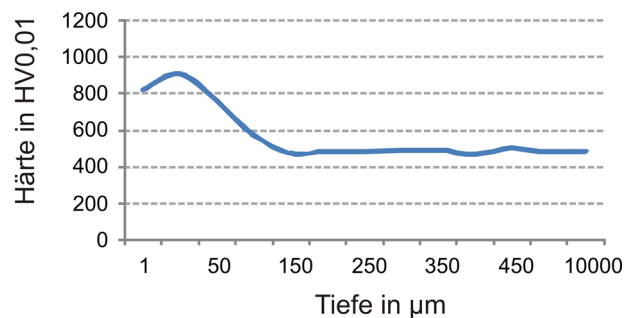
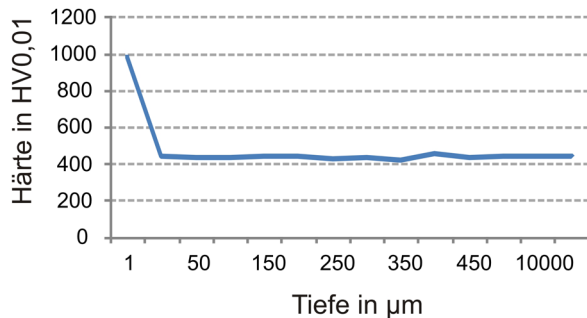
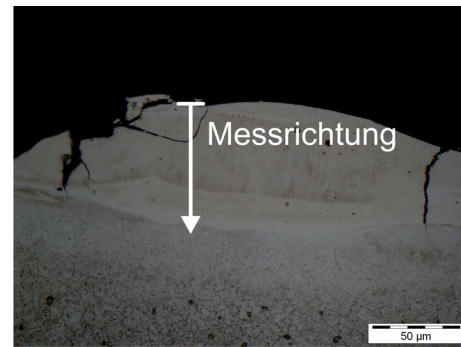
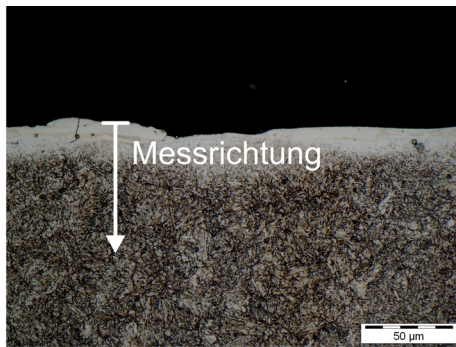


Abbildung 6: Schliffbilder und Mikrohärtprofile nach Erodierbearbeitung, 1.2367 mit 45 HRC fein erodiert (links) und 45 HRC grob erodiert (rechts)

Eine deutliche Veränderung des Randschichtgefüges ist bei den erodierten Proben zu erkennen. Im Rahmen der Probenfertigung wurde vor allem die Stromstufe als Fertigungsparameter identifiziert, welcher sich signifikant auf die Ausbildung von Gefügeveränderungen (hier: weiße Schichten) auswirkt. Aus diesem Grund wurde neben dem Vergütungszustand zusätzlich die Stromstufe für eine weiterführende Untersuchung variiert. In Abbildung 6 ist ein Querschliff und das zugehörige Mikrohärtprofil nach dem Erodieren mit einer Schlichtstufe (links) und mit einer Schruppstufe (rechts) dargestellt.

Bei den HSC-Proben konnten auch nach vielfältiger Variation der Fräsparameter keine veränderten Randzoneneigenschaften ermittelt werden.

Die Ergebnisse der Mikrohärtmessungen weisen im Randzonenbereich eine deutliche Aufhärtung bei den erodierten Proben auf. Die Härte ist etwa doppelt so hoch wie im Werkzeugkern. Bei den weichbearbeiteten sowie den hochgeschwindigkeitsgefrästen Proben sind keine Veränderungen der Härte in den Randschichten zu erkennen.

Eine mögliche Erklärung für die im Rahmen der Vorversuche ermittelten Abweichungen im Verschleißverhalten der unterschiedlich gefertigten Werkzeuge (siehe Abbildung 3) stellt der aufgehärtete Randbereich der erodierten Werkzeuge

dar. Diese im Lichtmikroskop weiß erscheinende Schicht kann als Verschleißschutz dienen und somit das plastische Fließen des Werkzeugmaterials verzögern. Wird die Stromstufe zu stark erhöht, entstehen Risse in der Oberfläche, die sich schnell bis in das Grundmaterial ausbreiten können (siehe Abbildung 6, rechts). Bis in das Grundmaterial reichende Risse führen dazu, dass Material ausbricht und es kommt zu einem frühzeitigen Werkzeugausfall. Da bei den grob erodierten Proben tiefe Risse zu erkennen sind, werden für die geplanten Schmiedeversuche geschichtete erodierte Werkzeuge entsprechend Abbildung 6 (links) verwendet. Für eine grundlegende Charakterisierung des Gefügestandes in den Randschichten werden weitere Proben mit hohen Stromstufen gefertigt.

Neben einer hohen Randschichthärte muss ein Warmarbeitsstahl eine ausreichende Duktilität aufweisen, so dass es aufgrund der hohen Belastungen nicht zu einem frühzeitigen Werkzeugbruch kommt. Untersuchungen zu den Auswirkungen des Erodierens auf die Zähigkeiten von Werkstoffen wurden in [7] durchgeführt. In Abhängigkeit von den Bearbeitungsparametern beim Erodieren wurden Kerbschlagbiegeversuche nach Charpy (DIN EN 10045) durchgeführt. Die Ergebnisse der Versuche sind am Beispiel des Warmarbeitsstahls X38CrMoV 5.1 (1.2343) in der folgenden Abbildung dargestellt.

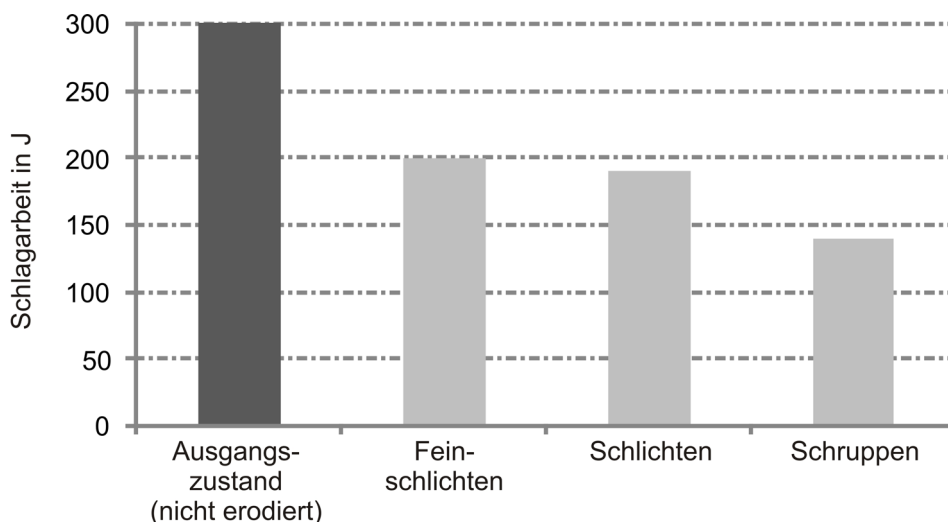


Abbildung 7: Einfluss der Erodierparameter (Entladestrom) auf die Zähigkeit [7]

Mit steigendem Entladestrom ist eine deutliche Abnahme der Zähigkeit zu erkennen. Bei dem verwendeten Werkstoff handelt es sich um einen hochzähen Werkstoff mit einer Schlagarbeit von 300 J. Um zu überprüfen, in wie weit sich das Erodieren im

Vergleich zur Weich- und Hartbearbeitung bei dem vergleichsweise weniger duktilen, vergüteten Warmarbeitsstahl 1.2367 auswirkt, wurden Kerbschlagbiegeversuche bei Raumtemperatur nach Charpy durchgeführt. Die beim Erodieren eingestellten Entladeströme entsprechen denen, welche dem in Abbildung 6 links dargestellten Schliffbild zu Grunde liegen. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt. Es wird jeweils das Mittel aus drei geprüften Proben dargestellt.

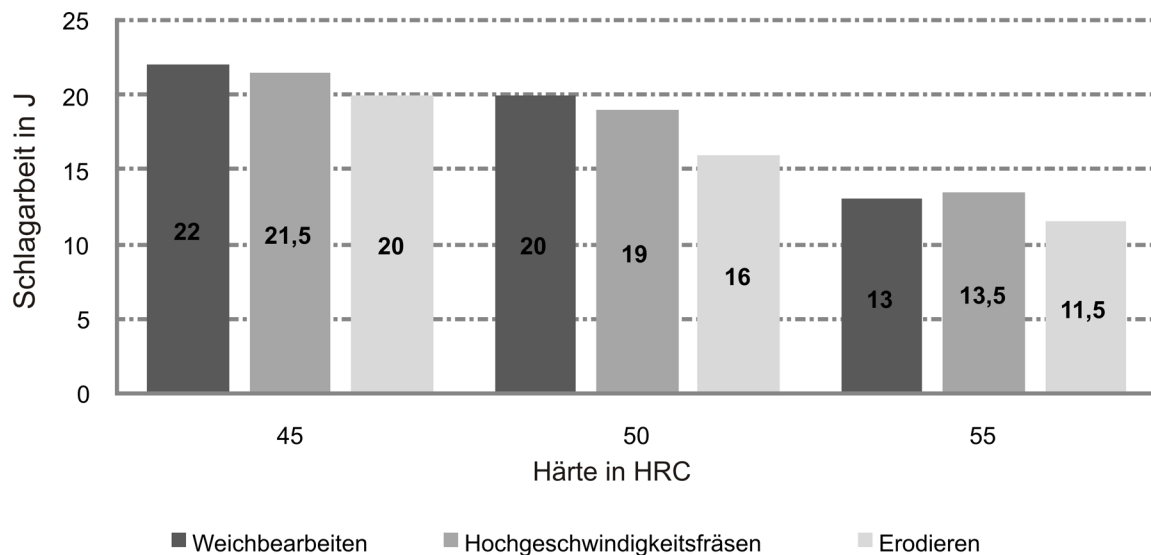


Abbildung 8: Einfluss der Fertigungsverfahren auf die Zähigkeit in Abhängigkeit vom Vergütungszustand

Anhand der in Abbildung 8 dargestellten Ergebnisse ist eine im Vergleich zum 1.2343 (Abbildung 7) geringere Abnahme der Duktilität bei den erodierten Proben zu erkennen. Ein frühzeitiges Werkzeugversagen infolge des Erodierens ohne Feinschichten aufgrund zu niedriger Zähigkeit kann bei diesem Werkstoff somit ausgeschlossen werden.

Zusammenfassung

Mit den erzielten Ergebnissen wurde herausgestellt, dass im Vergleich der Fertigungsverfahren besonders das Erodieren zu einer Beeinflussung der mikrostrukturellen Zustände in den Werkzeugrandschichten führen kann. Die Ergebnisse weisen darauf hin, dass aus diesen Beeinflussungen nicht ausschließlich negative Beeinträchtigungen auf das Einsatzverhalten erodierter Werkzeuge resultieren. Der aufgehärtete Randbereich kann in Abhängigkeit von der Prozessführung beim Erodieren und vom verwendeten Werkstoff als Verschleißschicht

dienen. Um Kenntnisse für ein optimiertes Fertigungsverfahren mit möglicherweise integrierter Verschleißschutzgenerierung zu gewinnen, werden weitere Untersuchungen durchgeführt. Hierzu erfolgen am IFUM eine Probenfertigung und eine Gefügeuntersuchung unter anderem mit rasterelektronenmikroskopischen Elementanalysen (EDX-Analysen). Mit Hilfe dieses Verfahrens wird überprüft, aus welchen Gründen eine Aufhärtung des Randbereichs auftritt. Bei gesicherter Kenntnis dieser Effekte wird anschließend überprüft ob eine gezielte Steuerung möglich ist und somit beim Erodieren prozessintegriert eine Verschleißschicht generiert werden kann.

Da sich beim Erodieren neben dem Gefüge in der Randschicht eine charakteristische Topographie einstellt, werden zusätzlich dreidimensionale Topographieaufnahmen erstellt und der Einfluss auf den Schmiedeprozess untersucht. Durch die tiefen Erodierkrater bilden sich Schmiertascheneffekte aus, welche positive Eigenschaften auf das Verschleißverhalten haben können.

Auf Basis dieser Ergebnisse werden Modellgesenke für einen einfachen Umformprozess gefertigt. Anhand dieser Gesenke kann das Einsatzverhalten der Werkzeuge in Abhängigkeit vom Fertigungsverfahren und den jeweiligen Prozessparametern nach wenigen Schmiedezyklen beurteilt werden. Anschließend werden mit ausgewählten Parametern Werkzeuge für einen Serienschmiedeprozess gefertigt und die Eignung der beim Erodieren entstehenden weißen Schichten und Topographien als Verschleißschutzmaßnahmen im Bereich der Warmmassivumformung überprüft.

Danksagung

Der Autor dankt der Deutschen Forschungsgemeinschaft (DFG) für die finanzielle Förderung des Grundlagenprojektes Be1691 23-1 „Untersuchung der Zusammenhänge zwischen Gesenkherstellverfahren und den mikrostrukturellen Vorgängen in der Werkzeuggrandschicht von Schmiedegesenken beim Schmieden“.

Literatur:

- [1] Lange, K.; Meyer-Nolkemper, H.: Gesenkschmieden 2, Springer-Verlag, 1988
- [2] Doege, E.; Behrens, B.-A.: Handbuch Umformtechnik: Grundlagen, Technologien, Maschinen, Springer Verlag, 2010
- [3] Tönshoff, H.K.: Werkzeugbau: Umbruch – Aufbruch – Abbruch?, wt Werkstattstechnik, 87-4, S. 141, 1997
- [4] Klocke, F., Altmüller, S.: High Speed Milling in Tool and Die Making - Revolution or Evolution? 1st French and German Conference on High Speed Machining, S.263-273, 18./19.06.1997
- [5] Fallböhmer, P.: Advanced cutting tools for the finishing of dies and molds, Fortschritt-Berichte VDI: Reihe 2 , Fertigungstechnik 489, 1998
- [6] Klocke, F., König, W.: Fertigungsverfahren 3 - Abtragen, Generieren und Lasermaterialbearbeitung, S.58, 2007
- [7] Fuchs, K.D.; Rasche, K.; Wendl, F.: Einfluss der Erodierbedingungen auf Gefügeausbildung und Zähigkeit von Werkzeugstählen und daraus folgende Fehlerscheinungen bei Druckgießformen, Giesserei Band 76, Heft 24, Seite 843-847, 1989

Autor:

Dipl.-Ing. Timur Yilkiran studierte Maschinenbau an der Leibniz Universität Hannover. Seit Ende 2009 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung Massivumformung am IFUM.