

## Werkstofffluss beim Gewindewalzen

Kirichek, A. V.; Afonin, A. N.; Hirsch, A.; Kräusel, V.; Guk, A.

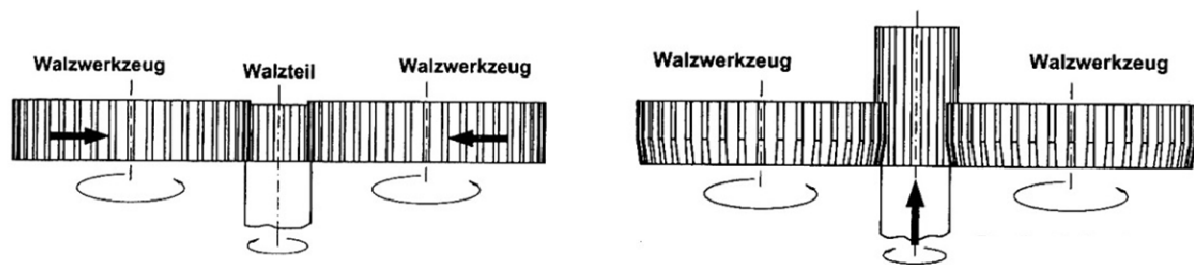
Die Steuerung des Werkstoffflusses ist für das Gewindewalzen von besonderer Bedeutung. Deshalb ist eine getrennte Betrachtung des Werkstoffflusses in axialer und in radialer Richtung notwendig. Es werden Empfehlungen zur Auswahl einer effektiven Variante zur Gestaltung des Werkstoffflusses für einige Bearbeitungsfälle gegeben.

Das Gewindewalzen ist eines der progressivsten Verfahren zur Gewindeherstellung, das eine hohe Produktivität mit gleichzeitiger hoher Qualität des hergestellten Gewindes gewährleistet. Jedoch wird das Anwendungsgebiet dieses Verfahrens durch die mechanischen Eigenschaften sowie durch die Abmessungen der zu walzenden Gewinde begrenzt. Eine der grundlegenden Zielstellungen zur Erhöhung der Anwendungsbreite des Gewindewalzens besteht in der Verbesserung des Werkstoffflusses, d. h. seines Verlaufes vom Profilgrund zur Profilspitze beim Ausformen der Gewindewindungen.

In der Regel wird das Halbzeug zwischen zwei oder mehreren Werkzeugen positioniert, die das abwälzkinematische Profil der zu fertigenden Werkstückgeometrie besitzen. Die Windungsspitzen dringen durch die Hauptbewegung der Werkzeuge in die Halbzeugoberfläche ein, währenddessen das dabei verdrängte Material in radialer Richtung fließt (in die Zone zwischen den Werkzeugwindungen bzw. Werkzeuglücken) und so sukzessive die Höhe des Gewindeprofils am Werkstück zunimmt. Gleichzeitig stellt sich ein komplexer, räumlicher Formänderungszustand im Halbzeug ein. Beim Querwalzen von Gewinde wird prinzipiell zwischen dem Einstechwalzen und dem Durchschubwalzen unterschieden (Abbildung 1).

Die Gestaltung des Werkstoffflusses kann sowohl durch konstruktive als auch durch technologische Methoden erfolgen [5, 6]. Innerhalb der Werkzeugkonstruktion

kann das Eindringen des Werkzeuges in das Werkstück durch die konstruktive Gestaltung (Anwalz- und Kalibrierzone) beeinflusst werden. Technologisch wird der Eindringprozess des Werkzeuges in das Werkstück durch die Vorschubbewegung der Werkzeuge gesteuert. Es ist auch möglich, beide Methoden für die Realisierung der Eindringbewegung des Werkzeuges in das Halbzeug zu kombinieren.



a) Einstechwalzen

b) Durchschubwalzverfahren

Abbildung 1: Gewindewalzverfahren (Bildquelle: Tschätsch)

Zur Bestimmung eines optimalen Werkstoffflusses beim Gewindewalzen ist eine Analyse der möglichen Umformszenarien notwendig. Trotz der großen Anzahl von Veröffentlichungen über die Klassifizierung der Verfahren des Gewindewalzens [2, 5, 6], wurde der Steuerung des Werkstoffflusses nicht genügend Beachtung geschenkt. Der Fokus in der Fachliteratur ist prinzipiell auf nicht mehr als zwei verschiedene Arten des Fließens gerichtet. Die mangelnde Berücksichtigung des Werkstoffflusses in den analysierten Forschungsarbeiten hat schließlich dazu geführt, dass die Theorie hinter der Praxis zurückgeblieben ist. Die in der Industrie verwendeten Methoden und Werkzeugkonstruktionen für das Gewindewalzen beinhalten verschiedene Varianten des Werkstoffflusses [1]. Beispielhaft ist in der Schnittdarstellung in Abbildung 2 der Materialfluss im Halbzeug beim Gewindewalzen eines trapezförmigen Profils dargestellt.

Industriell wird am häufigsten das Vollprofil Szenario (Abbildung 2a) angewendet, sowohl beim Einstech- als auch beim Durchschubverfahren. Dabei wird das schrittweise Eindringen des Werkzeuges, welches die abwälzkinematische Negativformform des herzustellenden Gewindes besitzt, in den Stangenabschnitt in radialer Richtung dargestellt. Diesem Schema entsprechend erfolgt die Gewindeausbildung

beim Gewindeformen unter Anwendung von zylindrischen Walzwerkzeugen mit radialer Werkzeugzustellung.

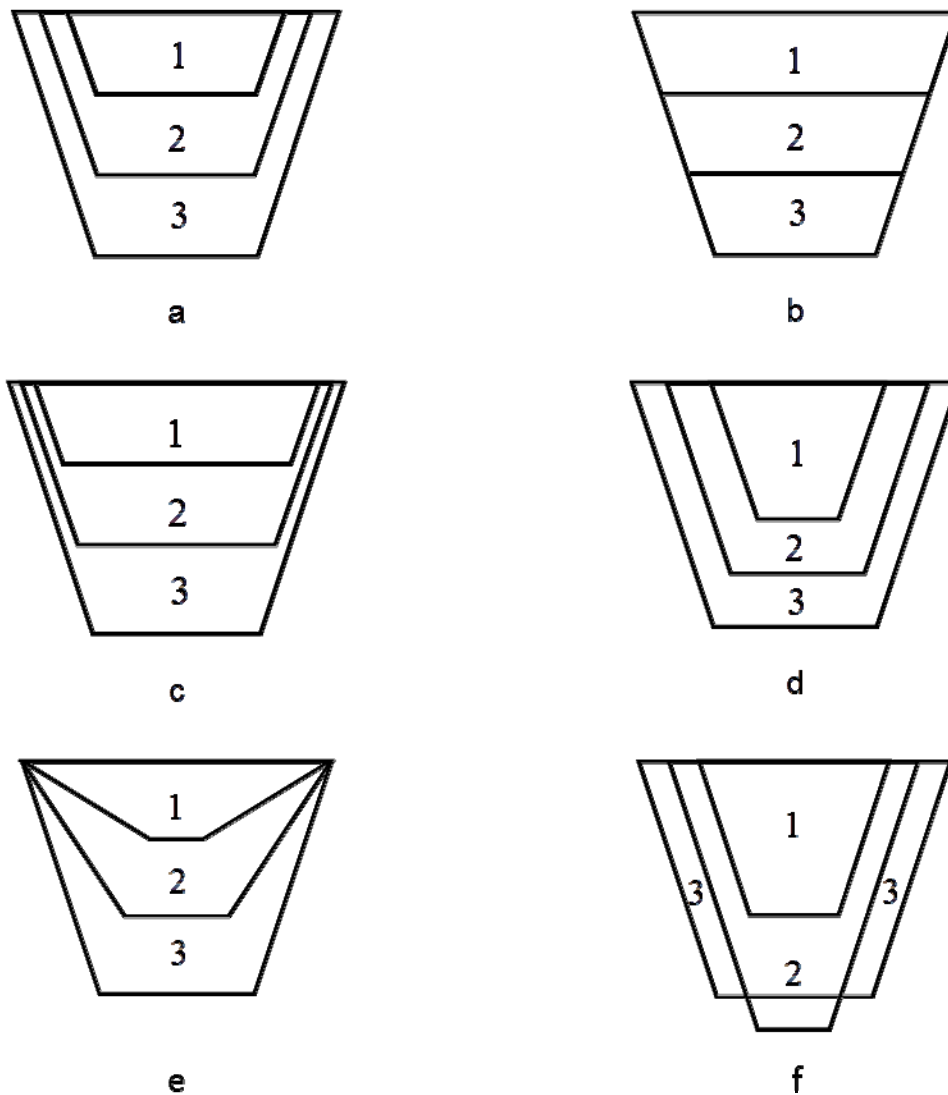


Abbildung 2: Werkstofffluss beim Gewindewalzen in axialer Richtung

Es gilt aber ebenso für das Gewindewalzen mit ebenen Gewindewalzbacken (Flachbackenwerkzeuge) und für Gewindeformer, jeweils mit einem mittleren Durchmesser zwischen Kopf und Grund des Gewindes in der Anwalzzone. Der wesentliche Vorteil dieses Szenarios liegt in der Einfachheit der Vorschubrealisierung beim Einstechwalzen. Es ist darüber hinaus wirtschaftlich, bietet beste Bedingungen für den Werkstofffluss im Stangenabschnitt, verbunden mit einer Reduzierung der Umform-

kraft und einer Erhöhung der Standmenge beim Walzen metrischer Gewinde (dreiecksförmige Geometrie in der Schnittdarstellung).

Im Gegensatz dazu lässt sich dieses Schema beim Walzen von trapez- und kugelförmigen Gewinde nicht zweckmäßig anwenden, weil sich im Bereich unter den abgestumpften Gewindespitzen des Werkzeuges sogenannte „tote“ Materialzonen bilden. Dort findet keine Plastifizierung statt und gleichzeitig wird eine geometrisch optimale Ausformung in den angrenzenden Bereichen behindert.

Das Ebenen basierte Schema (Abbildung 2b) findet beim Durchschubwalzverfahren und bei Gewindeformern Anwendung. Es beschreibt das Eindringen von abgestumpften Windungen des Werkzeuges (Trapez- und Kugelprofile), die das Halbzeugmaterial aus dem Grund her Schicht für Schicht verdrängen. Gemäß diesem Schema erfolgt die Gewindeausformung durch zylindrische Walzwerkzeuge mit Keilprofil. Das Ebenen basierte Schema des Werkstoffflusses wird auch bei der Gewindeherstellung mit axialem Walzenvorschub, Flachbackenwerkzeugen und Gewindeformern verwendet, die im Anwalzbereich dem Außendurchmesser des Gewindes entsprechen. Das fördert erheblich die Bildung der „toten“ Zonen. Der Vorteil des schichtenweisen Gewindeformens liegt in der höheren Kaltverfestigung der Gewinderillen und weiterführend in der Verbesserung der Einsetzeigenschaften [1, 4]. Der auf Basis des Ebenen basierten Schemas ausgeführte Anwalzbereich von Gewindewalzwerkzeugen entspricht vom Effekt her dem Einstechwalzen (technologische Methode).

Vollprofil- und Ebenen basierte Gestaltungslösungen für den Werkstofffluss sind besonders für das Walzen mit Werkzeugen gedacht, deren Geometrie den zu walzenden Gewinden gleichen (Lückenform = Gewinde-/Profilform), sich jedoch in den Abmessungen unterscheiden. Andere Sonderfälle von Fließschemen beziehen sich auf stumpfe (Abbildung 2c) und spitze (Abbildung 2d) Ausformungen beim Durchschubwalzen. Dementsprechend erfolgt das Gewindewalzen durch zylindrische Werkzeuge mit axialem Vorschub, mittels Flachbackenwerkzeuge und Gewindeformern, deren konischer Anwalzbereich entsprechend dem Außen- und dem mittleren Durchmesser des Gewindes ausgelegt ist. Dabei stellt das Schema der schichten-

weisen Ausformung des Gewindes einen Spezialfall dar. Das Vollprofilschema liegt zwischen den Profilschemen stumpf und spitz.

Das Szenario in Abbildung 2e (Winkelschema) unterscheidet sich von den anderen Varianten darin, dass die V-Geometrie des Gewindes mit einer stufenweisen Änderung ihres Winkels (Radius bei Kugelgewinden) in das Halbzeug geformt wird. Aufgrund der Komplexität der Fertigung hat dieses Winkelschema keine breite Anwendung in der Industrie gefunden, aber mit der Einführung der CNC-Steuerung ist die Werkzeug-Herstellung und damit auch die Nutzung dieses Schemas wesentlich leichter möglich.

Für grobe Trapez- und Rundgewinde ist die Anwendung der bereits angeführten Szenarien schwierig. Der Hauptgrund liegt in der bereits erwähnten Bildung von „toten“ Zonen. Bei Nutzung des Schemas nach Abbildung 2f lassen sich diese reduzieren. Zur Umsetzung dieses Schemas wird empfohlen, dass das Gewindeprofil in der Eindringzone (2) etwas tiefer eingeformt wird als in der Kalibrierzone (3), jedoch mit geringerer Breite. Die endgültige Umformung zum V-förmigen Profil erfolgt dann in der Kalibrierphase durch eine Profilverbreiterung bei gleichzeitiger Reduzierung der Profiltiefe. In diesem Zusammenhang bezeichnet man das Fließschema auch als „Breiten“. Es findet Anwendung in der Gewindeherstellung beim Durchschubwalzen mittels axialer Gewinderollköpfe.

Die bestehenden Szenarien zur Beschreibung des Werkstoffflusses in radialer Richtung werden in Abbildung 3 dargestellt. Zurzeit ist die kontinuierliche Variante (Abbildung 3a) dominierend. In diesem Umformzyklus wird das Material im Halbzeug Rille für Rille durch das Werkzeug aus dem Gewindegrund verdrängt. Das „selektive“ Schema ist vielversprechend, aber es wird in der Industrie kaum angewendet (Abbildung 3b). Die Umsetzung dieses Schemas am Werkstück erfolgt durch ein bereichsweises Formen der V-Kontur.

Zusammenfassend lassen sich die beschriebenen Gestaltungsmöglichkeiten für den Werkstofffluss wie folgt klassifizieren (Abbildung 4):

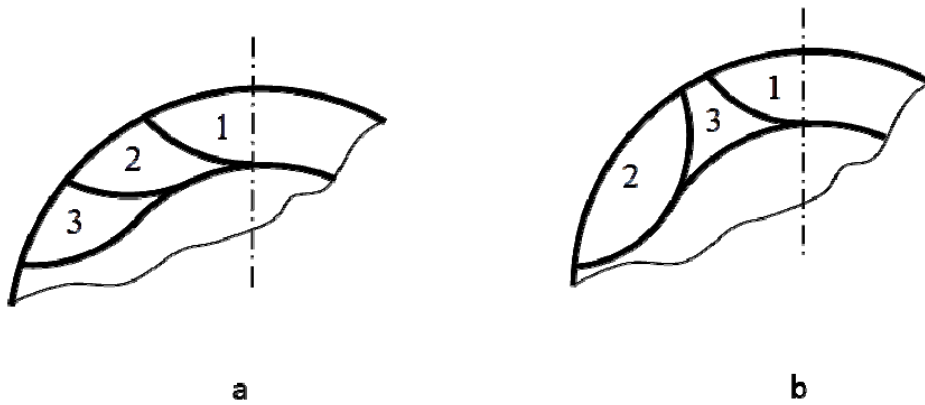


Abbildung 3: Werkstofffluss beim Gewindewalzen in radialer Richtung

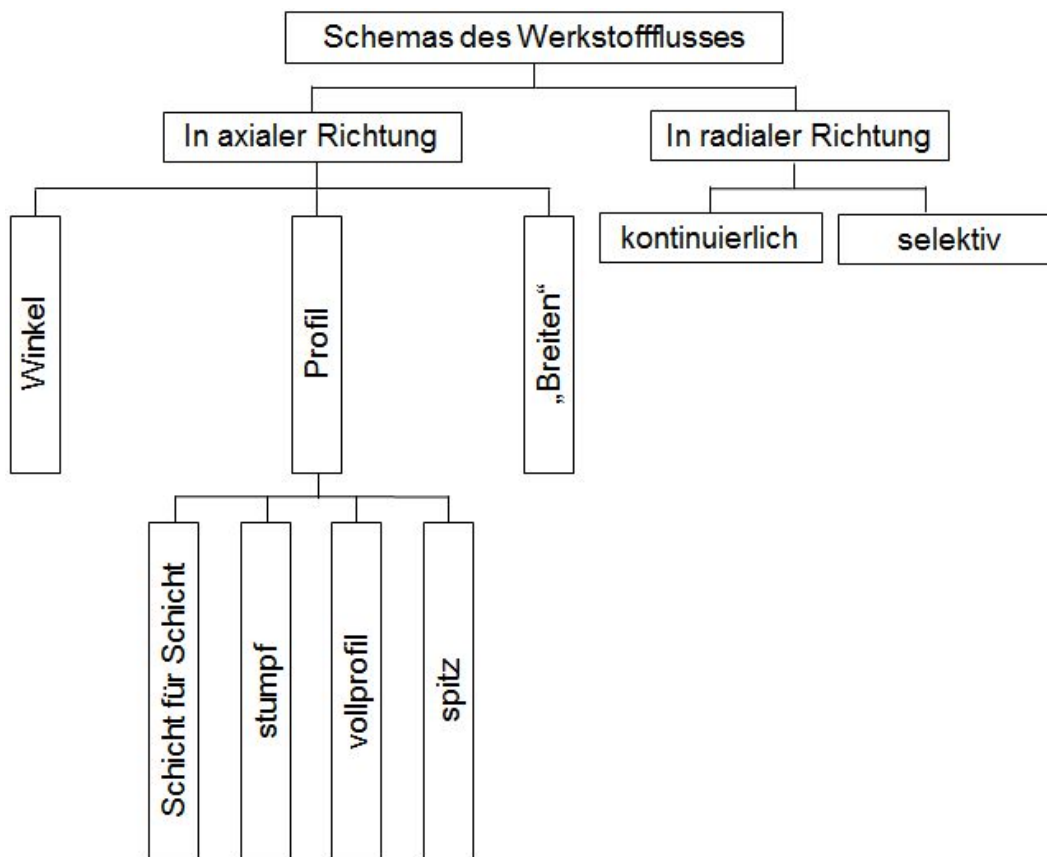


Abbildung 4: Klassifizierung von Szenarien zum Werkstofffluss beim Gewindewalzen

Abbildung 5 zeigt beispielhaft die Dehnungen im Gewinde Tr40x6 (Werkstoff C45, SAE 1045), die bei Anwendung der numerischen Simulation mittels DEFORM 3D [4] für verschiedene Szenarien des Werkstoffflusses identifiziert wurden.

Die Unterschiede in den Dehnungswerten bestätigen die getroffenen Aussagen zur Notwendigkeit der Gestaltung des Werkstoffflusses.

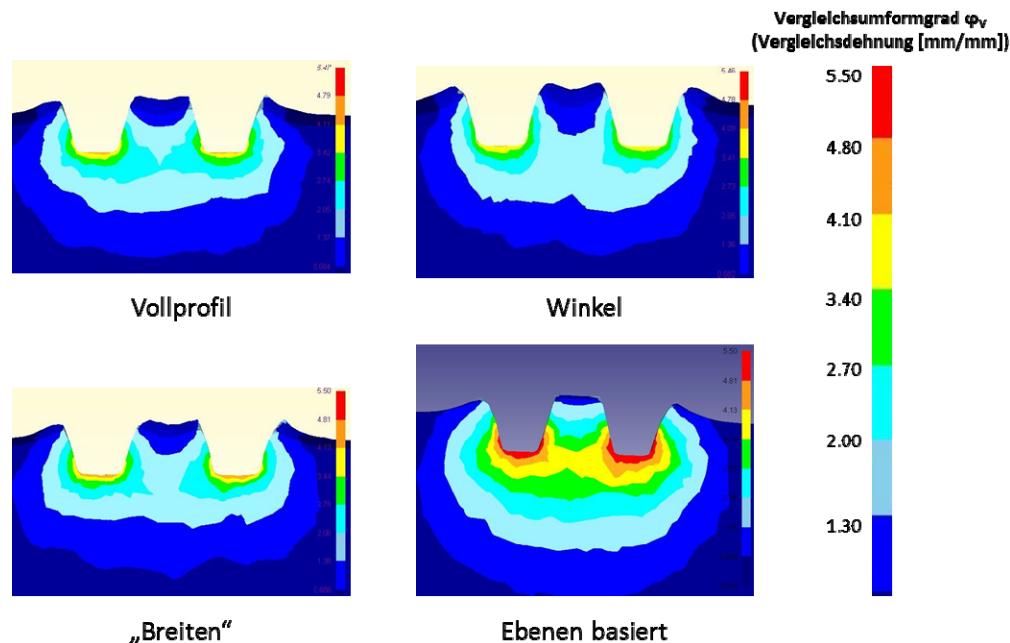


Abbildung 5: Ergebnis der FE-Simulation des Walzens mit verschiedenen Gestaltungsvarianten für den Werkstofffluss – Dehnungen im Gewinde Tr40x6 (Werkstoff: C45 – SAE 1045)

Mithilfe der konstruktiven Methode lässt sich relativ einfach das effektive Szenario für den Werkstofffluss umsetzen. Die unterschiedlichen Profilformen für Gewinde im Anwalzbereich der Walzwerkzeuge können durch moderne Werkzeugmaschinen mit CNC-Steuerung erzeugt werden. Bei Anwendung der technologischen Methode ist nur das Vollprofil-Schema relativ einfach umsetzbar. Die Realisierung der anderen Gestaltungsvarianten für den Werkstofffluss erfordert in Bezug auf das Werkzeug oder Werkstück außer der Vorschubbewegung (radial oder tangential) noch weitere ergänzende Bewegungen.

Die Festlegung eines zweckmäßigen Werkstoffflusses beim Gewindewalzen ist eine herausfordernde Aufgabe. Die Empfehlungen zur Auswahl eines Schemas können nur allgemeinen Charakter haben: Zur Herstellung von Feingewinde ist die Anwendung des Ebenen basierten Schemas sinnvoll, mit zunehmender Gewindehöhe sind jedoch die Szenarien stumpf, spitz und Vollprofil zu bevorzugen. Beim Walzen von trapezförmigem Gewinde wird das Schema „Breiten“ empfohlen. Infolge der

unzureichenden Forschung auf diesem Gebiet sind die Anwendungsbereiche für das Winkel- und das selektive Schema noch nicht definiert.

Die Auswahl eines bestimmten Schemas für den Werkstofffluss in radialer Richtung und die Definition des Eindringmaßes der Walzwerkzeuge für jeden Umformschritt beim Gewindewalzen kann entweder auf Basis der Ergebnisse aus experimentellen Untersuchungen oder auf der Grundlage der FE-Simulation des Gewindewalzens getroffen werden [3, 4].

### Literaturverzeichnis

- [1] Afonin A.N., Kirichek, A.V.: Shemy deformirovanija pri nakativanii rez'b. Izvestija Orel GTU, Serija „Fundamental'nye i prikladnye problemy tehniki i tehnologii“, 2009, № 6/278(577), S. 39-42.
- [2] Bethlehem, F.W.: Criteria for Classification of thread rolling methods. Wire World International, 1983, vol. 25, Pp 215-218.
- [3] Boicea, G.; Iordache, M.; Ungureanu, I.; Nitu, E.; Iacomi, D.: Finite Element Modeling of cold Rolling by form tapping of Grooves. Academic Journal of Manufacturing Engineering, Dec 2011, Vol. 9, Issue 4, Pp 18-23.
- [4] Kirichek A.V., Afonin A.N.: Issledovanie naprjazhenno deformirovannogo sostojanija rez'bonakatnogo instrumenta i zagotovki metodom konechnyh elementov. STIN, 2007, №7, S. 21-25.
- [5] Kirichek A.V., Afonin A.N.: Rez'bonakatyvanie. Biblioteka tehnologa. – Moskau, Verlag Mashinostroenie, 2009, S. 312.
- [6] Lapin, W.W. Nakativanie rez'b, chervjakov, shlicev i zub'ev / W.W. Lapin, M.I. Pisarevskij, V.V. Samsonov, Yu. I. Sizov. – Leningrad, Verlag Mashinostroenie, 1986. – S. 228.