

Entwicklung des Axial-Vorschub-Querwalzens an der TU Dresden - ein historischer Überblick von Anfang der 1970-er Jahre bis heute

Thomas Ficker, André Hardtmann
Technische Universität Dresden

Abstrakt

Mitte der 1980-er Jahre wurde an der TU Dresden im Ergebnis der Suche nach Möglichkeiten die komplexe Werkzeuggeometrie beim Keilquerwalzen abzulösen und zu flexibilisieren das „Axialvorschubquerwalzen“ (Axial-Vorschub-Querwalzen / AVQ) als neues Erfolg versprechendes Umformverfahren erfunden. AVQ stellt eine Modifikation des „Konvex-Konvex-Keilquerwalzens“ dar, wobei der zur Realisierung des axialen Werkstoffflusses erforderliche Keilwinkel β nicht Bestandteil der Werkzeuggeometrie ist, sondern kinematisch durch das frei wählbare Geschwindigkeitsverhältnis β erzeugt wird.

Das Verfahren war zunächst als Alternative zur konventionellen rein spanenden Fertigung mehrfach abgesetzter wellenförmiger Teile aus Vollmaterial gedacht und wurde später zur Herstellung von derartigen Hohlteilen ausgehend von Rohrmaterial weiterentwickelt. Als Anwender werden Komponentenhersteller für Wellen, Achsen und dgl. gesehen, wobei sowohl Vorformen als auch Fertigformen herstellbar sind.

Der Einsatz ist auf Grund der relativ einfachen und universell verwendbaren Werkzeuge insbesondere bei kleinen und mittleren Stückzahlen wirtschaftlich. Für eine industrielle Anwendung des AVQ gibt es derzeit noch keine geeignete Produktionsmaschine. Geplant sind Entwicklung und Bau einer Maschine für das AVQ von Hohlwellen, womit zwangsläufig auch das Walzen von Teilen aus Vollmaterial möglich sein wird.

1. Ausgangssituation

Die Anfänge der Zusammenarbeit zwischen dem Lehrstuhl für Umform- und Urformtechnik der Technischen Universität Dresden und den ehemaligen Kombinat für Umformtechnik sowie Wälzlager und Normteile reichen bis in die frühen 1970-er Jahre zurück. Zunächst war die Zusammenarbeit von dem Ziel geprägt, auf systematischem Wege neue Umformverfahren zu erfinden. Mit der heuristischen Methode der „Eingeschränkten Kombination“ wurden 28 Verfahrensideen gefunden [1]. Unter diesen Ideen befanden sich auch jene, die 1974 den Anfang von Untersuchungen zum Ringwalzen begründeten [2, 3].

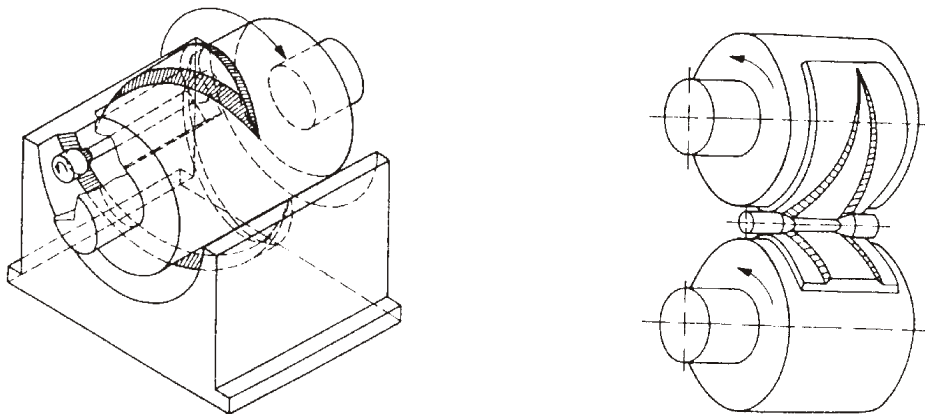


Bild 1: Prinzip Konkav-Konvex-Querwalzen und Konvex-Konvex-Querwalzen [4]

In parallel dazu laufenden Arbeiten wurde die Idee zu einer Verfahrensvariante des Keilquerwalzens geboren, die mit „Konkav-Konvex-Querwalzen“ (Bild 1) bezeichnet und unter Laborbedingungen erprobt wurde. Die Suche nach einer Maschinenkonzeption, mit der das „Konkav-Konvex-Querwalzen“ realisiert werden konnte, führte zum „Konvex-Konvex-Querwalzen“ auf Profilwalzmaschinen der Baureihe UPW [2].

Bei den Untersuchungen des Keilquerwalzens auf UPW-Maschinen erwies es sich als Mangel, dass für das Walzen mit Rundwerkzeugen keine anwendungsbereiten Arbeitswerte verfügbar sind. Der hierfür erforderliche hohe Aufwand an Werkzeugen mit unterschiedlichem Keilwinkel war Anlass zu Überlegungen, wie dieser Aufwand reduziert werden kann. Ergebnis war der Vorschlag, den beim Keilquerwalzen durch den Umformkeil bewirkten axialen Werkstofffluss durch axiale Verschiebung der Werkzeuge oder des Werkstückes kinematisch abzubilden. Das war - im Jahre 1983 - die „Geburtsstunde“ des „Axialvorschubquerwalzens“ (Axial-Vorschubquerwalzen / AVQ) (Bild 2) [2, 4, 5].

Verfahrensprinzip Axial-Vorschub-Querwalzen

Das in Bild 2 dargestellte Verfahrensprinzip ermöglicht mit relativ geringem Aufwand an Werkzeugen mit unterschiedlichem Schulterwinkel umfangreiche Untersuchungen zum Einfluss der Werkzeugparameter Keilwinkel β und Schulterwinkel α auf das Walzergebnis. Darüber hinaus gestattet es erstmalig auch eine Messung der Axialkräfte. Die vorgeschlagene Verfahrensvariante beruht darauf, dass der auf den Querwalzwerkzeugen aufgebrauchte Umformkeil, dessen beide Keilflanken den Winkel β einschließen, durch axiale Bewegung der Umformschulter derart kinematisch erzeugt wird, dass das Verhältnis von axialer und tangentialer Werkstückgeschwindigkeit $\tan \beta/2$ entspricht [2].

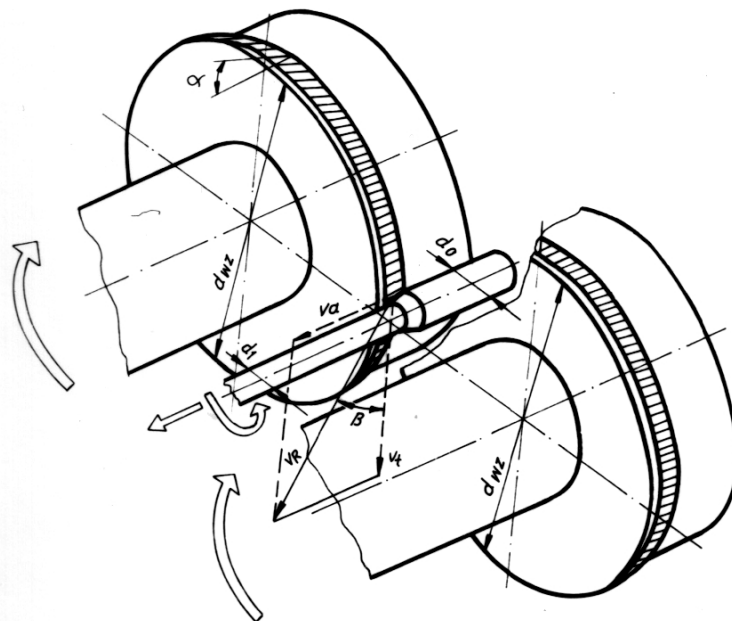


Bild 2: Prinzip Axial-Vorschub-Querwalzen [6]

Apparative Ausstattung

Zur Realisierung dieser Verfahrensvariante wurde eine Vorrichtung aufgebaut, die aus einer Walzprobenspanneinrichtung, einem Führungsschlitten und zwei hydraulischen Arbeitszylindern, die über ein Joch den Führungsschlitten und damit die Walzprobe aus dem Walzspalt herausziehen, besteht. [4].

Zur rationellen Versuchsdurchführung wurde diese Versuchseinrichtung mit Sensoren zur Messung aller relevanten Verfahrenskenngrößen ausgestattet und mit einem Messrechner zur Speicherung und Verarbeitung der aufgenommenen Werte gekoppelt [6].

Entwicklungsstand Ende der 1980-er Jahre

Ende der 1980-er Jahre wurde eingeschätzt [2, 7], dass der Stand der Erprobung des Prinzips des „Querwalzens mittels axialen Vorschub“ kurz „Axialvorschubquerwalzen“ genannt, zeigt, dass mittels dieses Verfahrensprinzips, ähnlich wie beim Keilquerwalzen, rotationssymmetrische Langformen hergestellt werden können, die partiell im Durchmesser reduzierte Abschnitte aufweisen. Werden die Mechanismen zur Walzschlittenzustellung und zur axialen Werkstückverschiebung mit entsprechenden Steuerelementen versehen, so lässt sich eine flexible Walzeinrichtung entwickeln (Bild 3) [5].

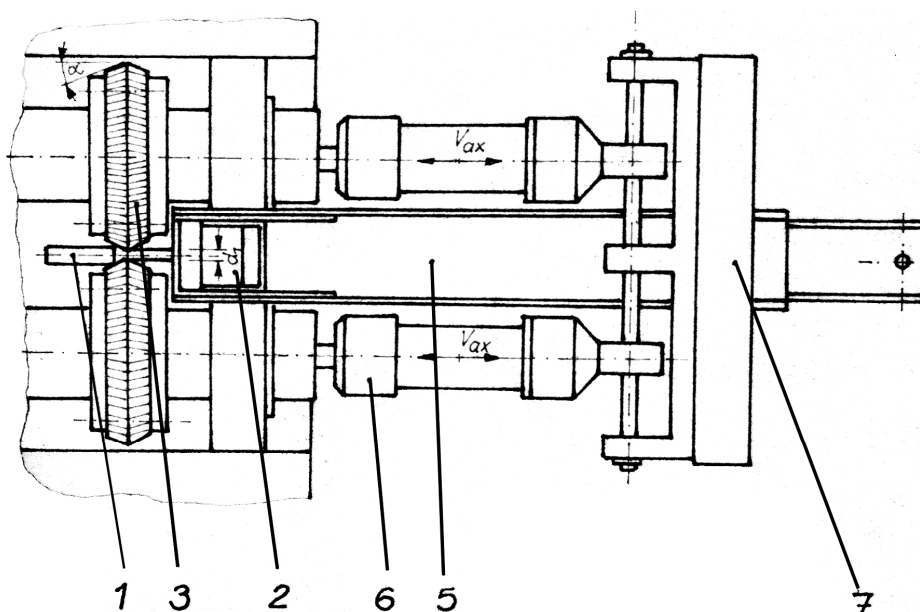


Bild 3: Schema einer Einrichtung zum Axial-Vorschub-Querwalzen [5]

Damit können auf umformendem Wege, flexibel automatisiert, rotationssymmetrische, abgesetzte oder profilierte Werkstücke gefertigt werden, womit sich die Möglichkeit zur wirtschaftlichen Herstellung kleinerer Stückzahlen derartiger Werkstücke ergibt [2].

Weitere Vorteile sind in einer großen herstellbaren Konturenvielfalt der Werkstücke, verbesserter - insbesondere dynamischer - Festigkeit der gewalzten Teile, erheblicher Materialeinsparung im Vergleich zur Komplettdrehbearbeitung und Reduzierung der Fertigungszeit trotz - sofern notwendig - spanender Fertigbearbeitung zu sehen.

Dieser Entwicklungsstand war Ergebnis - neben bereits genannten Literaturquellen - zahlreicher Diplom- und Ingenieurarbeiten [u. a. 8, 9, 10].

2. Axial-Vorschub-Querwalzen von mehrfach abgesetzten Vollwellen

Anfang der 1990-er Jahre ergaben sich mit der Verfügbarkeit moderner Rechen-, Mess- und Steuerungstechnik verbesserte Möglichkeiten zur verfahrens- und maschinenseitigen Realisierung der in [2, 5] beschriebenen flexiblen Fertigung rotationssymmetrischer, abgesetzter Werkstücke und damit einhergehend für eine vertiefte Verfahrensdurchdringung des Axial-Vorschub-Querwalzens.

So wurden im Rahmen des DFG-Projektes „Prozesskennfelder für das Axial-Vorschub-Querwalzen“ [11] in einem umfangreichen Versuchsprogramm an der TU Dresden und durch begleitende detaillierte FEM-Analyse des Prozesses am Institut für Umformtechnik und Umformmaschinen (IFUM) der Universität Hannover die Haupteinflussgrößen dieses neuen flexiblen Querwalzverfahrens und ihre Auswirkungen auf Walzprozess und -ergebnis am Beispiel einer mehrfach abgesetzten Vollwelle für einen Getriebehersteller untersucht.

Die Erzeugung der Kontur der Welle erfolgt durch AVQ, das eine Modifikation des „Konvex-Konvex-Keilquerwalzens“ darstellt, gekennzeichnet dadurch, dass - wie bereits erwähnt - der zur Realisierung des axialen Werkstoffflusses erforderliche Keilwinkel nicht Bestandteil der Werkzeuggeometrie ist, sondern kinematisch durch das frei wählbare Geschwindigkeitsverhältnis β erzeugt wird (Bild 4).

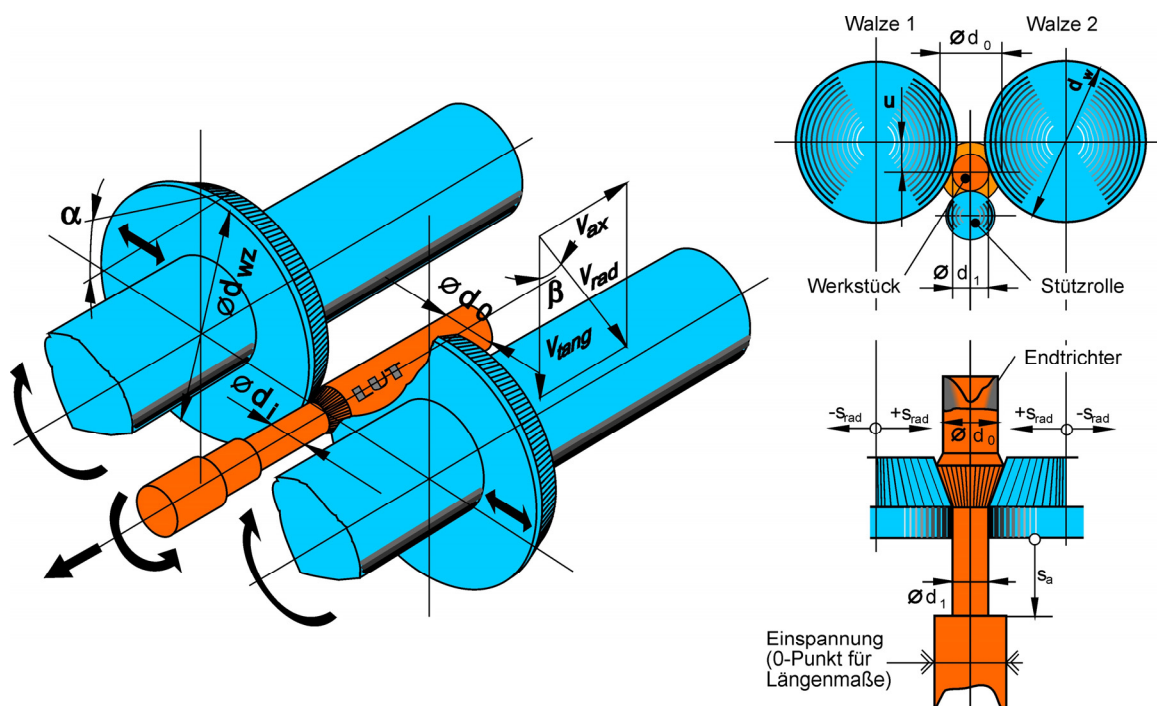


Bild 4: Prinzip Axial-Vorschub-Querwalzen von mehrfach abgesetzte Vollwellen [12]

Die angetriebenen Walzen werden in radialer Richtung aufeinander zu bewegt, wodurch das im Walzspalt angeordnete Werkstück des Durchmessers d_0 durch Reibschluss in Rotation versetzt wird. Bei weiterer radialer Walzenzustellung wird in das Werkstück eine Rille der Gestalt des Walzenprofils eingewalzt. Der entstehende Werkstückdurchmesser im Rillengrund d_1 wird durch den innerhalb verfahrensbedingter Grenzen frei einstellbaren radialen Zustellweg s_{rad} bestimmt. Wird nun das rotierende Werkstück über die drehbare Spanneinrichtung um den Axialvorschubweg s_a in Richtung der Werkstückachse aus dem Walzspalt gezogen, so wird die vorher eingewalzte Rille um den Betrag s_a verbreitert. Je nach Richtung einer weiteren radialen Walzenzustellung, also $+s_{rad}$ oder $-s_{rad}$ kann der nächste Wellenabsatz kleineren oder größeren Durchmessers gewalzt werden, so dass mehrfach abgesetzte Wellen herstellbar sind.

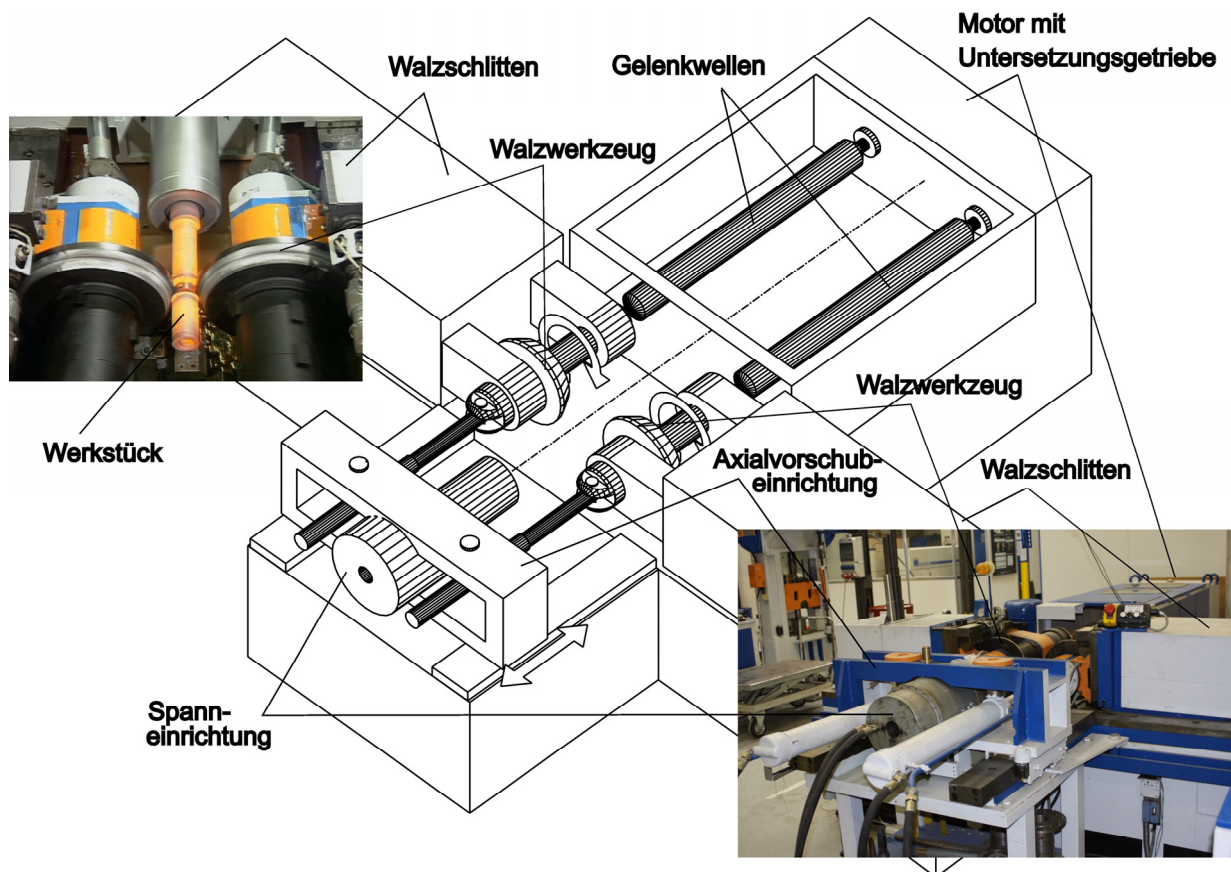


Bild 5: Schema der Pilotanlage zum Axial-Vorschub-Querwalzen nach [14]

Für die Umsetzung dieses Verfahrensprinzips wurde eine Pilotanlage für das AVQ auf Basis einer Zweischlitten-Profilwalzmaschine UPWSZ 63 entwickelt und gebaut (Bild 5), auf welcher die in Bild 6 dargestellte mehrfach abgesetzte (volle) Getriebewelle gewalzt wurde.

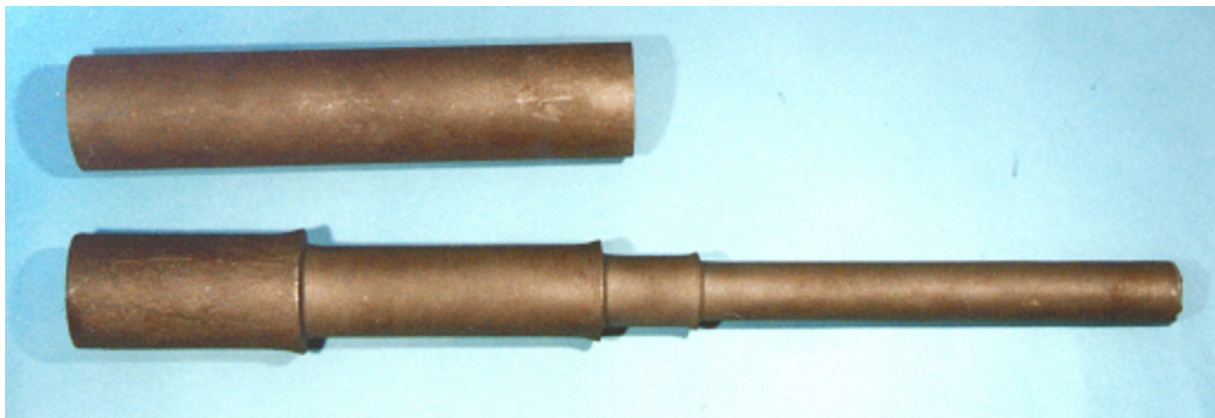


Bild 6: Durch Axial-Vorschub-Querwalzen mehrfach abgesetzte (volle) Getriebewelle

Durch eine grundlegende Analyse der komplexen kinematischen, tribologischen und werkstoffkundlichen Verhältnisse während des Walzprozesses konnten optimale Walzparameter im Hinblick auf die Qualitätsmerkmale der Walzteile, die energetischen Kenngrößen und die Prozessstabilität ermittelt werden [u. a. 12, 13, 14] (Bild 7).



Bild 7: Einflussgrößen beim Axial-Vorschub-Querwalzen [17]

Parallel dazu wurden erhebliche Fortschritte bei der FEM-Simulation inkrementaler Umformverfahren erreicht. Zu nennen sind insbesondere neue Erkenntnisse im Bereich der thermisch-mechanisch gekoppelten Simulation und bei der Beschreibung anisotroper Reibbedingungen. Dadurch konnte der Stofffluss während der Umformung analysiert werden (Bild 8).

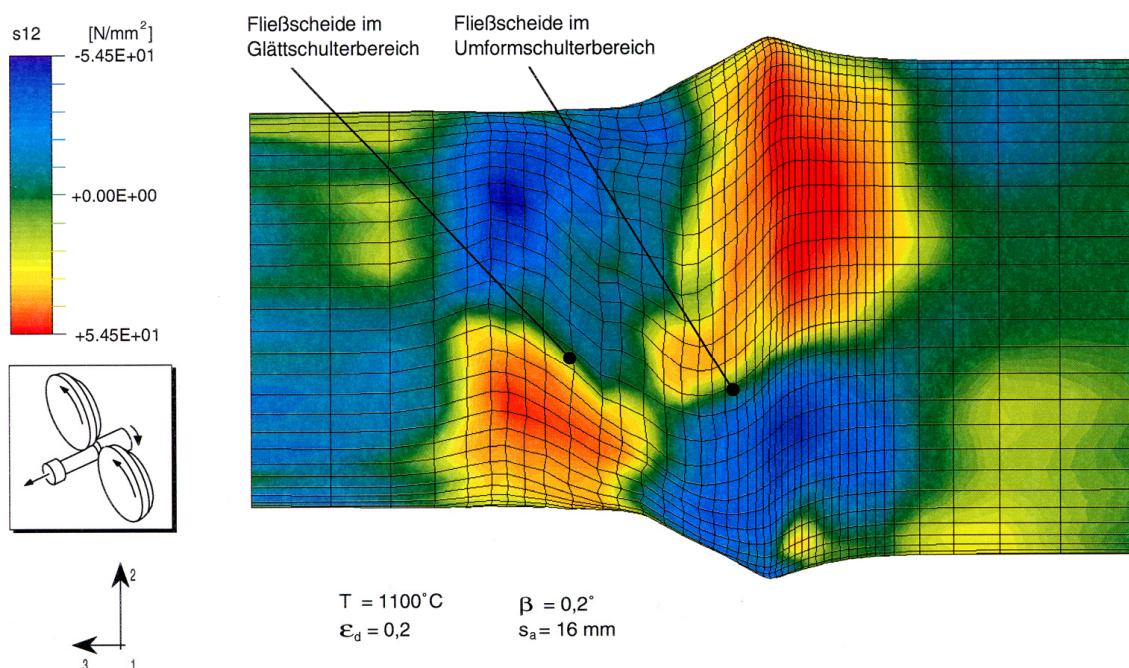


Bild 8: FEM-Simulation des Axial-Vorschub-Querwalzens [11]

Im Zusammenhang mit Untersuchungen zur Wirtschaftlichkeit des Verfahrens wurde ein Technologiemo­dell entwickelt und in ein AVQ-Programmsystem integriert, welches u. a. die rechnergestützte Ermittlung aller wesentlichen technologischen Parameter und der Fertigungskosten für die Herstellung abgesetzter, rotationssymmetrischer Werkstücke über AVQ gestattet.

Die Ergebnisse und die Vorgehensweise bei der FEM-Simulation sind auf Grund der vorhandenen Verfahrenscharakteristik auch auf andere Querwalzverfahren übertragbar [11, 15, 16].

Auf der Hannover-Messe '96 wurde dieses innovative Walzverfahren inkl. der zugehörigen Pilotanlage entsprechend dem damaligen Erkenntnisstand einem breiten Publikum präsentiert [17].

In den Folgejahren wurden vorrangig auf Anfrage von Forschungseinrichtungen und Industriebetrieben Prinzipversuche zum AVQ für spezielle Anwendungsfälle und unterschiedliche Werkstoffe (u. a. Eisen- und Nichteisenmetalle, verschiedenartige Legierungen, schwer umformbare und hochwarmfeste Materialien) durchgeführt. Als Beispiel seien hier Magnesium-Knetlegierungen für geschmiedete Fahrzeugräder genannt [18].

3. Axial-Vorschub-Querwalzen von Hohlwellen

Die in den letzten Jahren stark gestiegenen Materialkosten und der Trend zur Leichtbauweise führten im Jahre 2002 auf Anfrage eines Komponentenherstellers für zylindrische Hohlteile zu Untersuchungen, das Axial-Vorschub-Querwalzen auch für die Herstellung von Hohlwellen mit definierter Außen- und Innenkontur anzuwenden.

Derartige Überlegungen gab es bereits vorher, wobei immer davon ausgegangen wurde, dass Hohlteile durch AVQ nur mit definierter Außenkontur wirtschaftlich walzbar sind, insbesondere wenn es sich um sehr lange Teile handelt. Der Einsatz von Profildornen zum Walzen einer definierten Innenkontur wurde verworfen, da dadurch die Flexibilität - wesentlichster Vorteil - des AVQ eingeschränkt wird [19, 20].

Beim AVQ ohne Dorn wiederum kommt es im Innendurchmesser des als Ausgangsmaterial verwendeten Rohres zum „ungehinderten“ Werkstofffluss, der in jedem Fall eine spanende Nachbearbeitung zur Fertigung einer definierten Innenkontur bedingt.

Walzversuche, das AVQ auch mit Dorn flexibel zu gestalten, führten zu einer Verfahrensvariante - inkl. einer zugehörigen Vorrichtung - des AVQ, die mit wenigen einfachen Werkzeugen das Walzen abgestufter Hohlwellen verschiedenster Abmessungen und auch größerer Längen aus einem Rohr ermöglicht.

Gelöst wird das dadurch, dass bei Beibehaltung der Verfahrensgestaltung und Walzwerkzeuganordnung für das AVQ von Vollwellen die Kontur des Übergangs von einem mittleren Durchmesser in einem Abschnitt des Werkstückes auf den mittleren Durchmesser im benachbarten Abschnitt mittels aufeinander abgestimmter Steuerung von radialer Zustellung der Walzwerkzeuge und axialem Vorschub des Werkstückes - bei Einsatz eines unter den Walzwerkzeugen angeordneten Dornkopfes mit einem auf den kleinsten Innendurchmesser der beiden Abschnitte abgestimmten Außendurchmesser - gewalzt wird (Bild 9) [21].

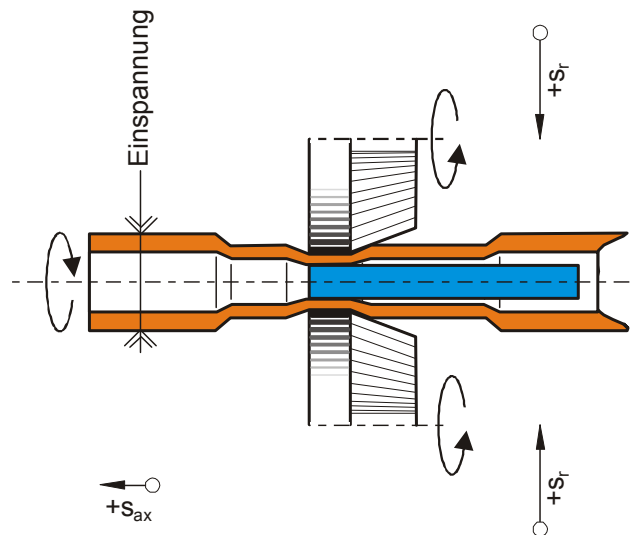


Bild 9: Prinzip Axial-Vorschub-Querwalzen von Hohlwellen mit Dorn [21]

Im Versuch wurde nachgewiesen, dass es somit möglich ist, rohrförmige Stabilisatoren für Kraftfahrzeuge mit zwei stirnseitig abgesetzten Bereichen und einem langen, im Durchmesser und in der Wandstärke reduzierten Mittelteil aus einem Rohr in einer Aufspannung herzustellen (Bild 10) [21].

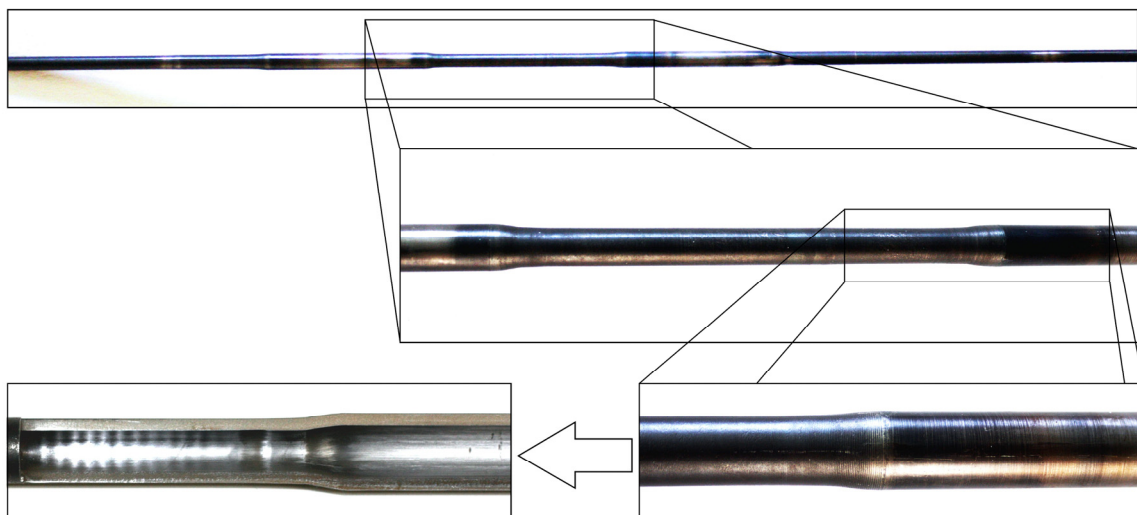


Bild 10: Durch Axial-Vorschub-Querwalzen abgesetztes (hohles) Stabilisatorrohr

4. Ausblick

Für eine industrielle Anwendung des AVQ gibt es derzeit noch keine geeignete Produktionsmaschine. In einem nächsten Schritt sollen sich Entwicklung und Bau einer Maschine für das AVQ von Hohlwellen bzw. Hohlteilen anschließen, womit zwangsläufig auch das Walzen von Teilen aus Vollmaterial - sowohl für Vorformen als auch ggf. Fertigformen - möglich sein wird. Die an der TU Dresden seit vielen Jahren durchgeführte detaillierte Verfahrensforschung und -durchdringung sowie die umfangreichen Untersuchungen zur maschinenseitigen Umsetzung - sowohl für das AVQ von Vollwellen als auch Hohlwellen - stellt hierfür eine gute Basis dar, auf die Anwender bzw. Maschinenbauer jederzeit zurückgreifen können.

Literaturverzeichnis

- [1] Heinrich, P.; Wagner, Th.: Merkmale und Ordnung der Verfahren der Umformtechnik und ihre heuristische Anwendung zum Auffinden neuer Umformverfahren. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1972
- [2] Eberlein, L.; Müller, H.: Ergebnisse und Ziele der Wissenschaftskooperation beim Walzen. Umformtechnik 22(1988)3, S. 106 - 111
- [3] Ficker, Th.; Houska, M.; Hardtmann, A.: Ring Rolling research at the Dresden University of Technology - its History from the Beginning in the 70s to the Present. steel research international 76 (2005), No. 2/3, pages 121 - 124, Verlag Stahleisen GmbH, Düsseldorf
- [4] Dietrich, J.; Müller, H.: Ein Beitrag zur Erkundung und Bewertung von Umformverfahren am Beispiel des Konkav-Konvex-Querwalzens. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1978
- [5] Müller, H.: Vorrichtung zum Querwalzen rotationssymmetrischer Werkstücke. DD-Patentschrift 214310, Technische Universität Dresden, 1984
- [6] Greifzu, G.: Mikrorechnergestützte Untersuchung energetischer Kenngrößen des Keilquerwalzens. Dissertation A, Technische Universität Dresden, 1986
- [7] Eberlein, L.; Müller, H.: Kalt oder warm - Entwicklungsstand und Tendenzen beim Querwalzen rotationssymmetrischer Werkstücke. Maschinenmarkt, 95(1989)43, S. 32 - 37
- [8] Darm, M.: Einflussgrößen beim Axialvorschubquerwalzen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 1987
- [9] Süße, D.: Analytische und experimentelle Untersuchungen des Einstech- und Walzvorgangs beim Axialvorschubquerwalzen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 1988
- [10] Müller, H.; Bohn, J.: Axialvorschubquerwalzen - Ein Verfahren zur flexiblen umformtechnischen Vorfertigung wellenförmiger, abgesetzter Werkstücke. Fertigungstechnik und Betrieb, 40(1990)2, S.97 - 98
- [11] Doege, E.; Eberlein, L.; Voelkner, W.: Prozesskennfelder für das Axial-Vorschub-Querwalzen (AVQ). DFG-Abschlussbericht, Universität Hannover / Technische Universität Dresden, 1998
- [12] Voelkner, W.; Ficker, Th.; Houska, M.: Entwicklung neuer Verfahren zum Walzen von stab- und ringförmigen Teilen, Sächsische Fachtagung Umformtechnik, Freiberg, 1995
- [13] Heinz, B.: Kraft- und Arbeitsbedarf beim AVQ. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 1991
- [14] Hardtmann, A.: Ermittlung optimaler Walzparameter beim Axial-Vorschub-Querwalzen. Diplomarbeit, Technische Universität Dresden, 1994
- [15] Houska, M.; Rotarescu, M.I.: Reibverhältnisse beim Axial-Vorschub-Querwalzen. Umformtechnik 33(1999)2, S. 42 - 46
- [16] Houska, M.; Rotarescu, M.I.: Experimental and Finite-Element Analysis of Axial Feed Bar Rolling (AVQ). 6th ICTP, Nürnberg, 1999
- [17] Houska, M.; Berger, D.; Thonig, U.; Zimmermann, I.: Das Axialvorschubquerwalzen. Video-Produktion (für Hannovermesse '96), Technische Universität Dresden, 1995
- [18] Löffler, A.: Charakterisierung des Umformverhaltens von Magnesium-Knetlegierungen für geschmiedete Fahrzeugräder. Dissertation, Technische Universität Hamburg-Harburg, 2008
- [19] Voelkner, W.: Wirtschaftlich und flexibel: Axial-Vorschub-Querwalzen. Technika, 21/97, S. 36 - 40
- [20] Voelkner, W.; Ficker, Th.: Verfahren zur Herstellung ring- und rohrförmiger Produkte. Innovationsforum „InnoRING - vom Rohr zum Ring“, Riesa, 2006
- [21] Dziemballa, H.; Manke, L.; Houska, M.; Ficker, Th.; Hardtmann, A.: Verfahren und Vorrichtung zum Querwalzen abgestufter Hohlwellen oder zylindrischer Hohlteile aus einem Rohr. DE-Patentschrift 102007041149B3, ThyssenKrupp Bilstein Suspension GmbH Ennepetal, Technische Universität Dresden, 2009

Autoren

Dr.-Ing. Thomas Ficker,
Technische Universität Dresden, Institut für Formgebende Fertigungstechnik

Dr.-Ing. Thomas Ficker studierte von 1977 bis 1982 an der TU Dresden Fertigungsprozessgestaltung/Abtrenntechnik, war anschließend am dortigen Lehrstuhl für Umformtechnik wissenschaftlicher Assistent und promovierte 1989. Von 1986 bis 1992 arbeitete er als Entwicklungsingenieur im ehemaligen Kombinat Wälzlager und Normteile Chemnitz. Seit 1992 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Produktionstechnik bzw. Formgebende Fertigungstechnik, Professur für Umform- und Urformtechnik, der TU Dresden.

Dr.-Ing. André Hardtmann,
Technische Universität Dresden, Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik

Dr.-Ing. André Hardtmann studierte von 1989 bis 1994 Umformtechnik am Institut für Produktionstechnik der TU Dresden und war anschließend an diesem Institut bis 2005 als wissenschaftlicher Mitarbeiter tätig. Seit 2005 ist er wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkzeugmaschinen und Steuerungstechnik der TU Dresden und promovierte dort 2010.

Kontakt:

Institut für Formgebende Fertigungstechnik
Technische Universität Dresden
Fakultät Maschinenwesen
George-Bähr-Straße 3c
D-01069 Dresden
Tel.: +49 351 463-34030
Fax: +49 351 463-32715
E-Mail: thomas.ficker@tu-dresden.de
Internet: <http://tu-dresden.de>