

Betrachtungen zum Kalibrieren beim Profilziehen

Wolfgang Steuff

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung / Introduction.....	1
2	Aufgabenstellung und Zielsetzung.....	5
3	Stand der Erkenntnisse.....	7
3.1	Kalibrierungsverfahren nach Hohrjakov.....	7
3.2	Kalibrierungsverfahren nach Preußler.....	9
3.3	Kalibrierungsverfahren nach Zverjev.....	10
3.4	Kalibrierungsverfahren nach der elektro-hydrodynamischen Analogie (EHDA).....	12
3.5	Kalibrierungsverfahren nach Landichow.....	13
3.6	Kombiniertes Kalibrierungsverfahren nach Beyer.....	15
3.7	Kalibrierungsverfahren basierend auf einem Expertensystem.....	17
4	Entwicklung von Algorithmen zur automatisierten Kalibrierung auf Grundlage ausgewählter Kalibrierungsverfahren	19
4.1	Erweitertes Kalibrierungsverfahren nach Hohrjakov.....	19
4.1.1	Entwicklung eines Algorithmus auf Basis des erweiterten Verfahrens nach Hohrjakov	21
4.1.2	Anwendungsbereich des erweiterten Verfahrens nach Hohrjakov.....	24
4.2	Weiterentwickeltes Kalibrierungsverfahren nach Preußler.....	24
4.2.1	Entwicklung eines Algorithmus auf Basis des Verfahrens nach Preußler.....	25
4.2.1.1	Ermittlung der Fließscheiden.....	27
4.2.1.2	Bestimmung der idealen Vorform.....	28
4.2.1.3	Bestimmung der realen Vorform.....	29
4.2.2	Anwendungsbereich des Verfahrens nach Preußler.....	29
4.3	Kalibrierungsverfahren nach Zverjev in Kombination mit dem nach der elektro- hydrodynamischen Analogie (EHDA).....	30
4.3.1	Entwicklung eines Algorithmus auf Basis des kombinierten Verfahrens nach Zverjev/EHDA	31
4.3.1.1	Ausrichtung der Fertigkontur.....	33
4.3.1.2	Ermittlung der Zwischenformen anhand von Äquipotentiallinien.....	33
4.3.2	Anwendungsbereich des kombinierten Verfahrens nach Zverjev/EHDA.....	35
4.4	Werkzeuggestaltung.....	36

5 Kriterien zur Beurteilung von Kalibrierungen	39
5.1 Verwendbare Beurteilungskriterien.....	39
5.1.1 Maß- und Formhaltigkeit.....	39
5.1.1.1 Maßabweichungen.....	39
5.1.1.2 Geradheitsabweichungen.....	40
5.1.1.3 Verwindung.....	40
5.1.1.4 Kaliberfüllung.....	41
5.1.2 Oberflächengüte.....	42
5.1.3 Ziehkraft.....	42
5.1.3.1 Betrag der Umformkraft.....	43
5.1.3.2 Lage des Kraftangriffspunktes.....	43
5.1.4 Stoffflußuntersuchungen.....	45
5.1.4.1 Relative Nacheilung.....	46
5.1.4.2 Stecker.....	47
5.1.4.3 Stabendenausbildung.....	48
5.1.4.4 Gefügebetrachtungen.....	48
5.1.4.5 Härtemessungen.....	49
5.2 Diskussion.....	49
6 Experimenteller Vergleich ausgewählter Kalibrierungsverfahren am Beispiel eines unregelmäßigen Achtkants	51
6.1 Versuchswerkstoff.....	52
6.2 Versuchswerkzeuge.....	54
6.3 Versuchsdurchführung.....	55
6.4 Versuchsergebnisse.....	56
6.4.1 Maß- und Formhaltigkeit.....	56
6.4.1.1 Maßabweichungen.....	56
6.4.1.2 Geradheitsabweichungen.....	57
6.4.1.3 Kaliberfüllung.....	58
6.4.2 Ziehkraft.....	60
6.4.2.1 Betrag der Ziehkraft.....	61
6.4.2.2 Lage des Kraftangriffspunktes.....	62
6.4.3 Stoffflußuntersuchungen.....	63
6.4.3.1 Relative Nacheilung.....	64
6.4.3.2 Stabendenausbildung.....	65
6.4.3.3 Härtemessungen.....	66
6.5 Diskussion.....	67

7 Vergleich ausgewählter Kalibrierungsverfahren am Beispiel eines unregelmäßigen Achtkants mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode.....	69
7.1 Modellbildung	69
7.1.1 Diskretisierung des Werkstücks	71
7.1.2 Physikalische Randbedingungen.....	73
7.2 Simulationsergebnisse.....	74
7.2.1 Berechnete Umformkraft	75
7.2.2 Netzverwölbung	80
7.2.3 Maß- und Formhaltigkeit.....	82
7.2.4 Nachweis der Stationarität.....	83
7.2.5 Formänderungsverteilung	85
7.2.6 Lokales Verhältnis von Vergleichsspannung zu Fließspannung im belasteten Fertigquerschnitt.....	90
7.2.7 Eigenspannungsverteilung	94
7.3 Diskussion	96
8 Auswirkungen variabler Ziehholneigungswinkel im Vergleich zu einem konstanten Ziehholneigungswinkel am Beispiel eines unregelmäßigen Achtkants.....	99
8.1 Meßergebnisse	99
8.2 Simulationsergebnisse.....	100
8.2.1 Maß- und Formhaltigkeit	102
8.2.2 Netzverwölbung	106
8.2.3 Formänderungsverteilung	111
8.2.4 Eigenspannungsverteilung	114
8.3 Diskussion	118
9 Ausblick - Vorschläge zur Weiterentwicklung von Kalibrierungsverfahren.....	120
9.1 Verfahren nach Preußler mit winkelabhängigem Aufmaßfaktor an den Profilkanten ...	120
9.2 Auswirkungen des winkelabhängigen Aufmaßfaktors an den Profilkanten	121
9.3 Verfahren nach Preußler mit Berücksichtigung konkaver Kanten.....	124
9.4 Verfahren nach Zverjev/EHDA mit Berücksichtigung tiefer Einschnitte	128
9.5 Experimentelle Methode zur Ermittlung der Vorform	129
10 Zusammenfassung / Conclusion.....	131
11 Literatur.....	135
12 Verwendete Formelzeichen.....	141