

Blechschneiden unter Anwendung von Materialwärmung

Ján Moravec, doc. Ing., PhD.*

Abteilung für Technologisch Ingenieurwesen, Fakultät für Maschinenbau,
Žilinaer Universität,
Univerzitná 1, 010 26 Žilina, Slowakische Republik.
E-mail: jan.moravec@fstroj.uniza.sk, Tel.: +421 41 513 2764

Sheet metal cutting with application of material heating

Abstract: In the paper, the theoretical part presents the issue of metal cutting. The experimental part deals with the investigation of the influence of temperature during the application of heating. The text of the paper is supplemented by a discussion and at the end of the paper there is an evaluation of the obtained results. The contribution appropriately and well complements a wide range of sheet metal cutting problems.

Keywords: sheet metal, samples, cutting.

EINLEITUNG

Das Schneiden ist eine spanlose Materialteilung, vor allem Blechteilung in benötigtem Maß, Form, Schnittqualität und natürlich in Anzahl der benötigten Teile. Beim Schneiden werden an Stelle der Deformation die Materialfäden unterbrochen und es kommt zur Abtrennung seiner Teile und zur Flächenvergrößerung um 100 %.

Der beschriebene Ablauf der Materialtrennung kommt am meisten vor im Bereich der spanlosen Formung und besitzt hier eine dominante Stellung.

1 THEORETISCHES TEIL

Kraft, die zur Materialtrennung im Prozess des Schneidens benötigt wird, ist direkt proportional der Schneidefläche, entlang der das Material getrennt wird und genauso der Materialfestigkeit im Schnitt τ_{ps} . Zum Ausrechnen der Schneidkraft F_S wird folgende Formel verwendet:

$$F_S = l \cdot s \cdot \tau_{ps} \cdot k = S \cdot \tau_{ps} \cdot k, \quad (1)$$

wobei l - Materiallänge in der Schnittplatte, bzw. Schnittumfang (mm),

s - Materialstärke [mm],

k - Koeffizient [1,2 bis 1,5],

τ_{ps} - Festigkeit im Schnitt [MPa],

S - Schneidefläche [mm²].

Die theoretische Größe F_S ausgerechnet erhöht sich auf Grund Reibung, Stumpfwerden der Schneide, Abweichungen der Materialstärke und anderen Ungleichmäßigkeiten, deswegen wurde in oben genannter Formel der Koeffizient k ergänzt, der die aufgeführten Fakten einbezieht. Allgemein bekannt

ist die deutliche Erhöhung der Scheidkraft beim dicken Schneiden, die auch durch eine verrostete oder anderes verschmutzte Oberfläche des Schneidmaterials beeinflusst wird.

Die Schneidetechnologie wird vor allem im kalten Zustand verwendet, also es wird keine Erwärmung verwendet. Das gilt für den Bereich der flächigen spanlosen Formung, also für die Blechverarbeitung. Im Falle des Schneidens und des Lochens bei Fertigstellung der Gesenkschmiedestücke handelt es sich um spanlose Formung mit Erwärmung. Im Hinblick auf die Schneidetechnologie ist es ein besonderer Fall aus dem Aspekt der Wärmeapplikation.

Die eigentliche Materialerwärmung muss genügend hoch sein, da der Stahl sollte nicht bei Temperaturen zwischen 100°C und 400°C bearbeitet werden, wenn der Stahl sich im Bereich der so genannten Blauglückblitze befindet.

Tab. 1. Die Stahlfestigkeit in der Schnittstelle in Abhängigkeit von der Temperatur

T [°C]	20	200	500	600	700	800	900
τ_{ps}	280-450	360	320	200	110	60	30
	350-550	450	450	240	130	90	60
	450-650	530	550	330	160	90	70
	520-750	600	580	380	190	90	70

Der Temperatureinfluss auf die Stahlfestigkeit ist in der Tabelle 1 ersichtlich. Die Daten in der Tabelle gelten für nicht gebrauchte (scharfe) tätige Teile des Schneidewerkzeugs.

Für Schneiden bei Wärme sind am besten Temperaturen im Bereich von 700°C ÷ 900°C.

2 EXPERIMENTALES TEIL

Für das experimentale Teil wurde das Blech mit Stärke 2 mm, STN 41 1375 verwendet. Die Zusammensetzung des Materials ist: C - max. 0,20 %, P - max. 0,050 %, S - max. 0,050 %.

Zum Schneiden wurden geschliffene Hebelschere verwendet. Die Anzahl der Muster beim Schneiden im kalten Zustand war 5 Stück, bei der Wärmeapplikation auch 5 Stück. Die Maße des Schnittmusters sind 50x50 mm.

2.1 Schneiden unter Wärmeanwendung

Die Muster wurden geschnitten bei der Temperatur um 700°C. Die Temperatur der Erwärmung betrug 710°C. Die Muster wurden im Ofen bei dieser Temperatur erwärmt, um sicher zu stellen, dass nach dem Rausholen aus dem Ofen ihre Temperatur 700°C beträgt. Die Temperatursenkung wurde in die Berechnung einbezogen.

Wenn im Anfangsmoment der Abkühlung des homogenes Körpers sich die Temperatur nach folgendem Gesetz verteilt: $\Theta_a = \Theta_a(x, y, z)$, kann man die Lösung in der Formreihe $\Theta(x, y, z, \tau) = \sum A_i \cdot \Theta_i(x, y, z) e^{-m_i \tau}$ darstellen. A_1, A_2, \dots, A_i sind Konstanten, die vom Anfangswärmezustand des Körpers abhängig und durch die Randbedingungen nach [2 s.184] bestimmt sind. Die Geschwindigkeit des regulären Kühlregimes für dünne Bretter nach der aufgeführten Quelle ist: $m_1 = a/(s/2)^2 B_i$ Das gilt für kleine Biot Nummer $B_i \ll 1$. Für große Biot Nummer $B_i \gg 1$ gilt: $m_1 = \pi^2/4 \cdot a/(s/2)^2$.

Im Hinblick auf den Charakter der Proben ist dieses als ausreichend zu bewerten. Auf dem Bild Nr. 2 sieht man der Zustand der Oberfläche nach dem Schneiden unter Wärmeanwendung.

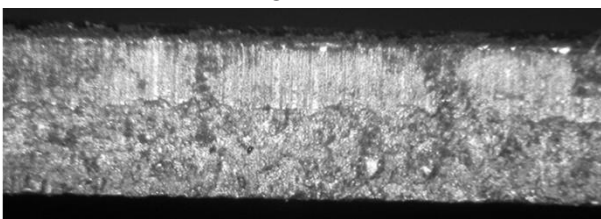


Bild 1. Oberfläche nach Schneiden unter Wärmeanwendung

3 DISKUSSION

Das Erhitzen des Metalls ist ein wichtiger Teil der Produktion, von dem der Erfolg anderer Vorgänge abhängt. Die allgemeinen Anforderungen an die Erwärmung bestehen darin, dass das Halbzeug möglichst gleichmäßig auf eine für die Umformung geeignete Temperatur erwärmt wird. Kornvergrößerung, innere Spannungen, Veränderungen der Metalloberfläche und Opalverlust

sollten auf ein Minimum beschränkt werden. Mit abnehmender Temperatur erhöht sich der Widerstand des Materials, was einen höheren Energiebedarf und weniger Abtrag bedeutet. Das Bestreben besteht darin, bei hoher Temperatur zu arbeiten, sofern nicht andere Gründe die Temperatur begrenzen. Für Stähle mit geringerem Kohlenstoffgehalt können Temperaturen bis 1250°C eingesetzt werden.

Die Induktionserwärmung erfüllt die wichtigen Anforderungen, die an die Erwärmung des Materials gestellt werden, d. h. J. perfekte Überhitzung des Materials, exakte Temperaturkontrolle, gleiche Aufheizzeit und bei teilweiser Erwärmung der Stabenden exakte Kontrolle der Heizlänge. Induktionserwärmung reduziert die Entkohlung und Oxidation des Materials.

Der Vorteil der Induktionserwärmung liegt in der Schnelligkeit, Betriebssicherheit, einfachen Bedienung und Wartung, verkürzten Aufheizzeit und Temperaturstabilität. Bei der Induktionserwärmung entsteht Wärme durch die Wirkung induzierter Wirbelströme direkt im erhitzten Objekt aufgrund seines ohmschen Widerstands.

Induzierte Wirbelströme durchdringen das erhitzte Material nicht gleichmäßig, die Intensität des Stroms nimmt zur Mitte des Materials hin gemäß einer Exponentialfunktion annähernd gemäß der Beziehung ab:

$$s = s_0 \cdot e^{-\alpha \cdot x}, \quad (2)$$

$$\alpha = 0,2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{f}{1000} \cdot \frac{\mu}{\delta}} = 0,2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{f \cdot \lambda \cdot \mu}{1000}}, \quad (3)$$

wobei s - Produktdichte [$A \cdot cm^{-2}$],

s_0 - Dichte des Produkts auf der Oberfläche des Objekts [$A \cdot cm^{-2}$],

f - Frequenz [Hz],

δ - spezifischer Widerstand des Materials [$\Omega \cdot mm^{-2}$], bei der gegebenen Temperatur,

μ - durchschnittliche Durchlässigkeit des Materials [$mm^2 \cdot m^{-1}$] bei der gegebenen Temperatur,

e - Basis des natürlichen Logarithmus = 2,7183,

λ - $1/\delta$, elektrische Leitfähigkeit [$m \cdot \Omega^{-1} \cdot mm^{-2}$],

x - Abstand von der Oberfläche des Materials zur Mitte [cm].

Aus der Gleichung folgt, dass hohe Frequenz, hohe Permeabilität und gute elektrische Leitfähigkeit dazu führen, dass die Eindringtiefe abnimmt. Wärme dringt durch Fluss, Strahlung und Leitung in das Material ein. Bis zu einer Temperatur von etwa 600°C herrscht Wärmeübertragung durch Strömung. Bei höheren Temperaturen dominiert die Wärmeübertragung

durch Strahlung (bis zu 95 %). Die übertragene Wärmemenge pro Zeiteinheit lässt sich aus der Gleichung ermitteln:

$$Q = c \cdot \left[\left(\frac{T_p}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_M}{100} \right)^4 \right] \cdot S_{ef} + \alpha \cdot (t_p - t_M) \cdot S_{ef}, \quad (4)$$

wobei c - Strahlungskoeffizient [$\text{cal} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{grad}^{-1}$],

α - Wärmeübergangskoeffizient

[$\text{kJ} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{h}^{-1} \cdot \text{°C}$],

T_p, t_p - Ofentemperatur [K, °C],

T_M, t_M - Materialtemperatur [K, °C],

S_{ef} - wirksame Fläche des Materials [m^2].

In der Theorie der Erwärmung sprechen wir entweder von dünnen oder dicken Körpern. Bei dünnen Körpern mit $B_i < 0,25$ ist der Temperaturabfall beim Erhitzen gering und vernachlässigbar. Bei dicken Körpern $B_i > 0,5$ ist der Temperaturunterschied im Körper erheblich und verursacht thermische Spannungen, die bei den Berechnungen berücksichtigt werden müssen.

ABSCHLUSS

Artikel führt die erreichten Ergebnisse beim Blechschnitten unter bestimmten Wärmebedingungen und Wärmezustand des Körpers zusammen. Beim Recherchieren in der Fachliteratur wurde eine vergleichbare Zusammenfassung der Ergebnisse aus durchgeführten Experimenten nicht gefunden. Die Arbeit fügt sich passend in das breite Spektrum der Schnittenproblematik und der Schneidprozessen allgemein.

LITERATUR

- [1] MORAVEC, J. (2011): *Unkonventionelle Metallumformtechnologien*, EDIS - Verlag ŽU Žilina.
- [2] MORAVEC, J. (2000): *Schneiden von technischen Materialien*, EDIS- Verlag ŽU Žilina
- [3] MARCINIAK, Z. - DUNCAN, J. L. - HU, S. J. (2004): *Mechanics of Sheet Metal Forming*, Butterworth-Heineman Jordan Hill, Oxford, 211 p., ISBN 0-7506-5600-0
- [4] MORAVEC, J. (2015): *Teória tvárnenia kovov*, EDIS vyd. UNIZA, ISBN 978-80-554-1095-1.
- [5] BOLJANOVIC, V. (2005): *Sheet Metal forming processes and die Design*. ISBN 0-8311-3182-9
- [6] *Metal Forming, Mechanics and Metallurgy*, Cambridge: Univ. Press. ISBN 978-1-107-00452-8
- [7] LANGE, K. (2004): *Lehrbuch der Umformtechnik*. Berlin: Springer- Verlag Berlin, 496 p. ISBN 978-35400-5197-8.
- [8] PEARCE, R. (2010): *Sheet Metal Forming*, ISBN 0-7503-0101-5.
- [9] MARCINIAK, Z. D. (2008): *Theory of Sheet metal forming*, Prague: Univ. Press. ISBN 978-1-107-00452-8.
- [10] MORAVEC, J. - KANTORIKOVA, E. (2022): *Heat treatment of parts of forming tools*. Zilina: Publishing house EDIS, 140 p. ISBN 978-80-554-1883-4
- [11] VATER, M. - LIENHART, A. (1982): *Bänder, Bleche, Rohre* 13, No.8.