

# Untersuchungen über das Horizontalwalzen des hundeknochenförmigen Walzgutes und über das mehrstufige Walzen für die Breitenabnahme der Brammen

von

Jun-ichi KOKADO\*, Natsuo HATTA\* und Hirohiko TAKUDA\*

(Eingegangen am 18. Dezember 1984)

## Inhaltsangabe

Ein rechnerisches Modell zum Ermitteln des Walzvorganges beim Horizontalwalzen des hundeknochenförmigen Walzgutes wurde vorgeschlagen, und der Zusammenhang zwischen der Hundeknochenform und dem Walzvorgang wurde experimentell und analytisch untersucht. Daraus erklärte sich, daß der Einfluß der Hundeknochendicke auf die Walzeigenschaften viel stärker ist als der Einfluß der Gipfelstelle des Hundeknochens, und daß sich die Ausbreitungsgröße und der Kraftbedarf fast proportional zur Hundeknochendicke vergrößern. Weiter wurde ein Modellversuch zum Ermitteln der Veränderung der Brammenform und des Kraftbedarfs beim mehrstufigen Walzen durchgeführt. Dabei wurden zwei Gruppen von Stichplänen, V.H-Walzen (die abwechselnde Wiederholung des Vertikal- und Horizontalwalzens) und V.V-Walzen (die Wiederholung des Vertikalwalzens und das einmalige Horizontalwalzen), benutzt. Es zeigte sich, daß die Hundeknochendicke beim V.H-Walzen kleiner ist als die beim V.V-Walzen, aber daß das Lokale Dünnerwerden des Walzgutes in der Umgebung der Breitenmitte nach dem Horizontalwalzen und die Länge des Schopf-Endes beim V.H-Walzen größer sind als die beim V.V-Walzen.

## 1. Einleitung

In den letzten Jahren hat man sich bemüht, Vorbrammen mit beliebiger Breite aus einem mit konstanter Breite vergossenen Strang durch Vertikal- und Horizontalwalzen herzustellen. Wenn die Bramme durch die Vertikalwalze in der Breitenrichtung gewalzt wird, verdicken sich die Brammenseiten, und ihr Querschnitt erhält die sogenannte "Hundeknochenform" <sup>1-5)</sup>. Daher ist das Horizontalwalzen erforderlich, um die Bramme wieder zu ebenen. Das Umformverhalten von hundeknochenförmigen Brammen beim Horizontalwalzen ist auch räumlich gleich wie das beim Vertikalwalzen, und die Analyse darüber ist auch nicht einfach.

In dieser Arbeit wird zuerst der Einfluß der Hundeknochenform auf das Umformverhalten und auf den Kraftbedarf beim Horizontalwalzen experimentell untersucht. Dann wird das analytische Verfahren aus starr-plastischen finiten Ele-

menten vorgeschlagen, und durch das Vergleichen mit den gemessenen Ergebnissen wird die Gültigkeit der berechneten Ergebnisse festgestellt. Danach wird die Wirkung der Maximaldicke und der Gipfelstelle des Hundeknochens auf den Walzvorgang analytisch untersucht. Weiter in dieser Arbeit wird es experimentell untersucht, wie sich die Form der Bramme, die Walzkraft und das Walzmoment beim mehrstufigen Walzen für die Breitenabnahme mit verschiedenen Stichplänen und mit verschiedenen Formen der Vertikalwalze verändern.

## 2. Versuchsverfahren

Als Walzgut wurden die auf eine Temperatur von 500°C erwärmten Aluminiumplatten mit einer Breite von 85mm und einer Dicke von 12mm angewendet. Die Fließspannung  $\sigma$  des benutzten Werkstoffs bei dieser Temperatur wurde gemessen und mit der folgenden Gleichung dargestellt:

$$\sigma = 20,6 \cdot \varepsilon^{0,12} \dot{\varepsilon}^{0,15} \quad \text{in } N/mm^2$$

Darin ist  $\varepsilon$  die Vergleichsdehnung und  $\dot{\varepsilon}$  die Vergleichsdehnungsgeschwindigkeit. Als Vertikalwalze wurden eine Flachwalze und zwei Kaliberwalzen mit Kaliberwinkeln von 10° und 20° benutzt. Jede Walze hatte einen Durchmesser von 80mm, und die Drehgeschwindigkeit jeder Walze war 63,5 mm/s. Als Horizontalwalze wurde eine Flachwalze mit einem Durchmesser von 180mm benutzt, und die Drehgeschwindigkeit der Walze war 80~100mm/s. Das Walzgut wurde mit einer Breitenabnahme von 3~15mm vertikalgewalzt und dann bis zu seiner Anfangsdicke horizontalgewalzt.

Andererseits werden die benutzten Stichpläne beim mehrstufigen Walzen wesentlich in zwei Gruppen eingeteilt. Beim ersten Stichplan wurden das Vertikalwalzen und das Horizontalwalzen abwechselnd wiederholt, und beim zweiten wurde das Walzgut zuerst durch die Wiederholung des Vertikalwalzens bis zur erwarteten Breite und dann durch einmaliges Horizontalwalzen bis zu seiner Anfangsdicke gewalzt. In dieser Arbeit wird der erste Plan V.H-Walzen und der zweite Plan V.V-Walzen genannt.

Die Abnahme der Walzenöffnung pro einmaliges Vertikalwalzen  $\Delta R$  war konstant beim V.H-Walzen und auch beim V.V-Walzen. Daher war die Breitenabnahme des Walzgutes bei jedem Vertikalwalzen gleich mit  $\Delta R$  beim V.V-Walzen und wegen der durch das vorige Horizontalwalzen verursachten Ausbreitung etwas größer als  $\Delta R$  beim V.H-Walzen. Die Untersuchung wurde bei drei verschiedenen  $\Delta R$  von 6mm, 9mm und 12mm durchgeführt.

**Bild 1** (a) zeigt die gemessenen Größen der Querschnittform des Walzgutes nach jedem Walzen. Über eine unständige Umformung am Kopf- und Fußende des Walzgutes wurde jeder Flächenraum der in Bild 1 (b) mit Schraffierung gezeigten

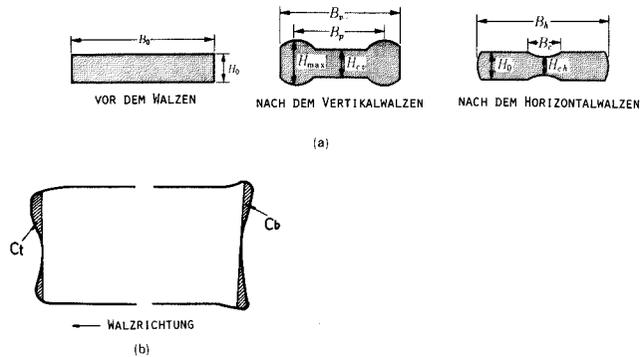


Bild. 1 (a) Querschnittsform des Walzgutes vor und nach dem Walzen  
(b) Fischeschwanz am Kopf- und Fußende des Walzgutes

Tafel 1 Bezeichnungen

$B_0$	: Anfangsbreite
$H_0$	: Anfangsdicke
$H_{max}$	: Hundeknochendicke
$B_p$	: Gipfelbreite
$B_v$	: Breite nach dem Vertikalwalzen
$H_{cv}$	: Zentrumdicke nach dem Vertikalwalzen
$B_h$	: Breite nach dem Horizontalwalzen
$H_{ch}$	: Zentrumdicke nach dem Horizontalwalzen
$B_0 - B_v$	: Gesamtbreitenabnahme
$(B_0 - B_v) / B_0$	: Gesamtbreitenabnahmenverhältnis (G. B. A. V)
$B_h - B_v$	: Ausbreitungsgröße
$(B_0 - B_h) / B_0$	: Gesamtbreitenabnahmenverhältnis nach dem Horizontalwalzen
$H_{max} / H_0$	: Dickenverhältnis des Hundeknochens
$H_{cv} / H_0$	: Zentrumdickenverhältnis nach dem Vertikalwalzen
$B_p / B_v$	: Gipfelstellenverhältnis
$(B_v - B_p) / 2$	: Gipfelstelle
$H_{ch} / H_0$	: Zentrumdickenverhältnis nach dem Horizontalwalzen
$B_c$	: Zentrumgrabenbreite
$C_t$	: Fischeschwanz-Flächenraum am Kopfende
$C_b$	: Fischeschwanz-Flächenraum am Fußende
$(C_t + C_b) / B_0$	: Relativlänge des Fischeschwanzes
$\Delta R$	: Abnahme der Walzenöffnung pro ein Vertikalwalzen

Teile, d. h.  $C_t$  und  $C_b$ , gemessen, und der Wert von der Dividierung des Gesamtflächenraums am Kopf- und Fußende ( $C_t + C_b$ ) durch die Anfangsbreite  $B_0$  wurde als eine Relativlänge des Fischschwanzes definiert. Die im folgenden benutzten Bezeichnungen sind in Tafel 1 dargestellt.

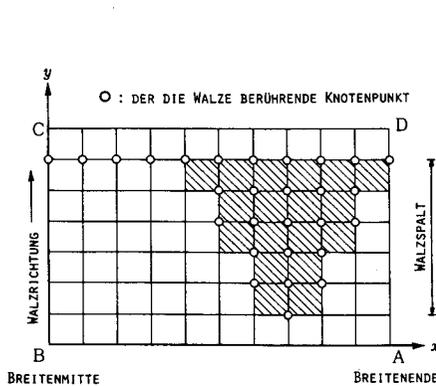


Bild. 2 Netz der finiten Elemente in der Breiten- und Walzrichtung

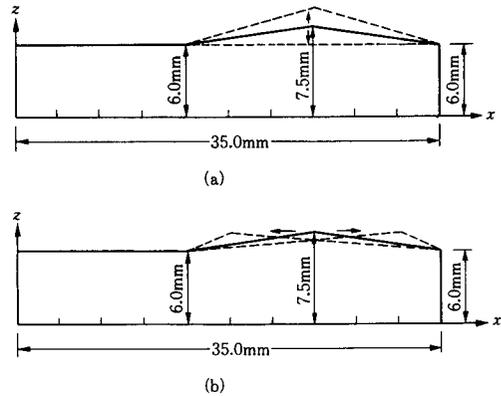


Bild. 3 Die für die Rechnung benutzte schematische Hundeknochenform

### 3. Berechnungsverfahren

Für die Analyse über das Horizontalwalzen wurde das für die Analyse über das Vertikalwalzen angewendete starr-plastische Finite-Elemente-Verfahren benutzt. Weil die Grundbegriffe des Verfahrens schon erklärt wurde,<sup>2-5)</sup> werden hier nur die für die Analyse über das Horizontalwalzen typischen Punkte dargestellt.

**Bild 2** zeigt das Netzmodell der finiten Elemente in Breiten- und Walzrichtung auf der Anfangsstufe der Rechnung als ein Beispiel, das der in **Bild 3** mit einer ausgezogenen Linie gezeigten Hundeknochenform entspricht. Wie das Bild zeigt, wird das Walzgut in 20 gleiche Teile in der Breitenrichtung eingeteilt. In der Walzrichtung wird aber die Länge des Walzspaltes durch eine ganze Zahl so eingeteilt, daß sich die dadurch gebildete Elementsform möglichst einer quadratischen Form nähert. Die schraffierten Elemente im Bild 2 zeigen die Elemente, die die Walze an über drei Knotenpunkten berühren und als Reibungsflächen zwischen Walze und Walzgut angenommen werden.

Die Rechnung wird nun in folgenden Schritten durchgeführt.

- 1) Da vor der Rechnung die Ausbreitungsgröße des Walzgutes durch das Horizontalwalzen unbekannt ist, wird die Breite als konstant angenommen. Die Funktion  $\Phi$  (vgl. Schrifttum 5) wird mit den in **Tafel 2** gezeigten Randbedingungen minimiert, und dadurch erhält man das Geschwindigkeitsfeld im Walzgut.
- 2) Aus dem Geschwindigkeitsfeld berechnet man eine Verteilung der Breite, der Dicke und der Vergleichsdehnung im Walzgut.

3) Der Berührungsbereich zwischen Walze und Walzgut wird durch die aus der Rechnung in Schritt 2 gewonnenen Ergebnisse nachbessert. Unter den neuen Randbedingungen wird die Funktion  $\Phi$  wiederum minimiert, und man gewinnt ein neues Geschwindigkeitsfeld im Walzgut.

4) Die Schritte 2 und 3 werden so wiederholt, bis sich die Änderung der Breiten, Dicken, Spannungen und Dehnungen vernachlässigen läßt.

Tafel 2 Randbedingungen der Geschwindigkeit

A-B	$u = w = 0, v = \text{konstant (unbekannt)}$
B-C	$u = 0$
C-D	$u = w = 0, v = \text{konstant (unbekannt)}$
o	$w = -v \cdot \tan \alpha, \alpha: \text{Berührungswinkel}$

u: Geschwindigkeit in der Breitenrichtung

v: Geschwindigkeit in der Walzrichtung

w: Geschwindigkeit in der Dickenrichtung

Um die Gültigkeit des analytischen Verfahrens festzustellen, wurde die Rechnung über das wirkliche hundeknochenförmige Walzgut durchgeführt, das durch das Vertikalwalzen mit Flach- und Kaliberwalze mit einem Kaliberwinkel von  $10^\circ$  erworben wurde, und ihre Ergebnisse wurden mit den gemessenen Ergebnissen verglichen. Danach wurde die Rechnung über das schematische hundeknochenförmige Walzgut durch-

geführt, dessen Form in Bild 3 gezeigt ist, um die Wirkung der Hundeknochendicke und der Gipfelstelle auf den Walzvorgang beim Horizontalwalzen zu untersuchen.

#### 4. Experimentelle und analytische Ergebnisse

##### 4. 1. Experimentelle Ergebnisse über die Wirkung des Hundeknochendickenverhältnisses und des Gipfelstellenverhältnisses auf den Walzvorgang

**Bild 4** zeigt den Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und der Ausbreitungsgröße. Die Ausbreitungsgröße vermehrt sich unabhängig von der Walzenform beim Vertikalwalzen und proportional zum zunehmendem Hundeknochendickenverhältnis. Weil das Dickenverhältnis des Hundeknochens, wie im Schrifttum 4) dargestellt wurde, von der Form der Vertikalwalze abhängt, ist die Ausbreitungsgröße bei der Flachwalze am größten.

**Bild 5** zeigt den Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und der Walzkraft beim Horizontalwalzen. Die Walzkraft vergrößert sich stark und dem zunehmenden Hundeknochendickenverhältnis proportional. Der Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und dem Walzmoment zeigt eine ähnliche Tendenz.

Das Walzgut wird nach dem Horizontalwalzen nicht ganz flach, sondern wird die Zentrumsdicke ein wenig dünner als seine Anfangsdicke. **Bild 6** zeigt den Zu-

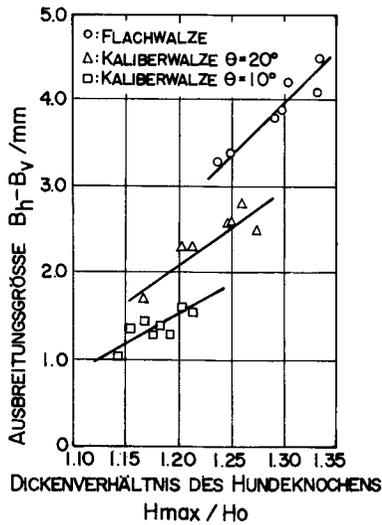


Bild. 4 Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und der Ausbreitungsgröße

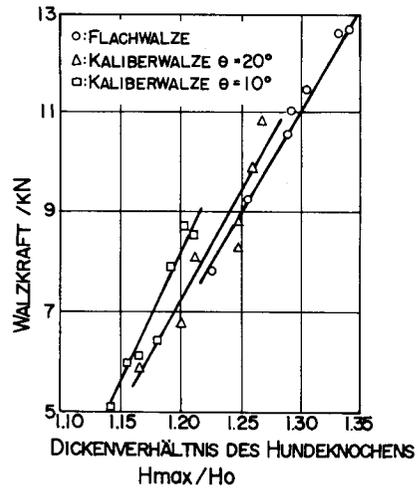


Bild. 5 Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und der Walzkraft

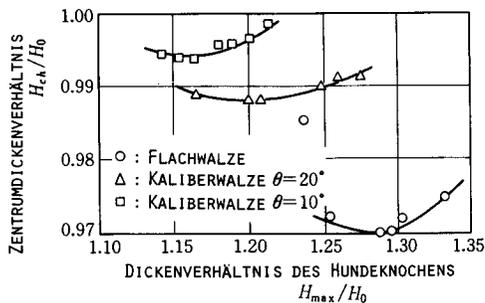


Bild. 6 Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und dem Zentrumsdickenverhältnis

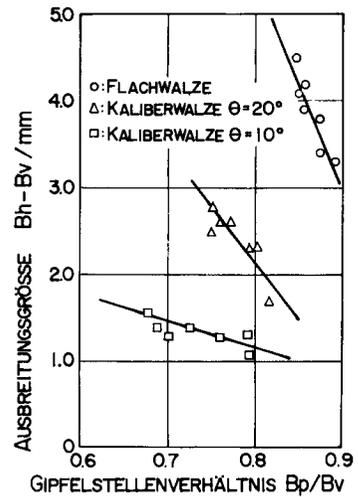


Bild. 7 Zusammenhang zwischen dem Gipfelstellenverhältnis und der Ausbreitungsgröße

sammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und dem Zentrumdickenverhältnis nach dem Horizontalwalzen. Die Zentrumdicke nach dem Horizontalwalzen wird zunächst dünner mit zunehmendem Hundeknochendickenverhältnis. Aber wenn das Hundeknochendickenverhältnis noch größer wird, nämlich wenn die Breitenabnahme beim Vertikalwalzen noch größer wird, wendet sich die Zentrumdicke zur Zunahme. Das Zentrumdickenverhältnis ist bei der Flachwalze am kleinsten und wird größer mit abnehmendem Kaliberwinkel der Vertikalwalze.

**Bild 7** zeigt den Zusammenhang zwischen dem Gipfelstellenverhältnis und der Ausbreitungsgröße. Die Ausbreitungsgröße vermindert sich dem zunehmenden Gipfelstellenverhältnis proportional, das bei der Flachwalze am größten ist und mit abnehmendem Kaliberwinkel kleiner wird. Der Verkleinerungsgrad ist bei der Flachwalze am stärksten und wird schwächer mit abnehmendem Kaliberwinkel der Kaliberwalze.

Der Zusammenhang zwischen dem Gipfelstellenverhältnis und der Walzkraft zeigt eine ähnliche Tendenz mit dem im Bild 7 gezeigten Zusammenhang zwischen dem Gipfelstellenverhältnis und der Ausbreitungsgröße. Der Zusammenhang zwischen dem Gipfelstellenverhältnis und dem Zentrumdickenverhältnis ist nicht deutlich.

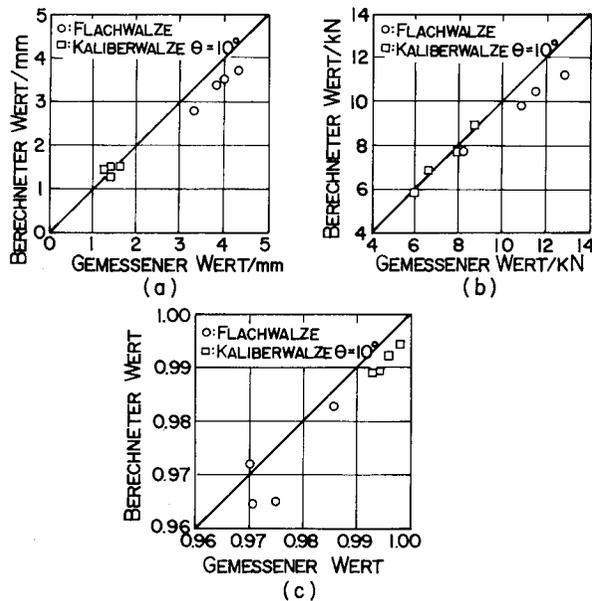


Bild. 8 Zusammenhang zwischen berechneten und gemessenen Werten der Ausbreitungsgröße (a), der Walzkraft (b) und des Zentrumdickenverhältnisses (c)

#### **4. 2. Vergleich zwischen den experimentellen und analytischen Ergebnissen**

In Bild 8 (a), (b) und (c) sind die Vergleiche zwischen den gemessenen und berechneten Werten dargestellt, um die Gültigkeit der hier vorgeschlagenen analytischen Verfahrens über das Horizontalwalzen des hundeknochenförmigen Walzgutes festzustellen. Und zwar zeigt Bild 8 (a) den Zusammenhang zwischen den gemessenen und berechneten Werten über die Ausbreitungsgröße, Bild 8 (b) über die Walzkraft und Bild 8 (c) über das Zentrumdickenverhältnis. Über die Ausbreitungsgröße stimmen die berechneten Werte mit den gemessenen Werten gut überein, besonders bei der Kaliberwalze. Bei der Flachwalze sind die berechneten Werte etwas kleiner als die gemessenen Werte. Die Ursache von diesem Unterschied dazwischen kann darin liegen, daß bei der Rechnung das Walzgut in nur zwei Elemente in der Dickenrichtung geteilt wird, obwohl die Hundeknochenform bei der Flachwalze steiler ist als sie bei der Kaliberwalze. Über die Walzkraft stimmen auch die berechneten Werte mit den gemessenen Werten überein, gut bei der Kaliberwalze und mit kleinem Rechenfehler bei der Flachwalze. Über das Zentrumdickenverhältnis stimmen die beiden Werte miteinander qualitativ gut überein, obgleich die berechneten Werte kleiner sind als die gemessenen Werte. Daraus kann man so schließen, daß die analytischen Ergebnisse mit den experimentellen Ergebnissen gut überein. Dies zeigt, daß das hier vorgeschlagene analytische Verfahren eine praktische und genügende Gültigkeit für die qualitative Untersuchung über den Walzvorgang beim Horizontalwalzen des hundeknochenförmigen Walzgutes hat.

#### **4. 3. Rechnerische Ergebnisse über die Wirkung des Hundeknochenverhältnisses und des Gipfelstellenverhältnisses auf den Walzvorgang**

Die Ausbreitungsgröße, die Walzkraft, das Walzmoment und die Verminderung der Zentrumdicke verändert sich mit dem Hundeknochenverhältnis und gleichzeitig mit dem Gipfelstellenverhältnis, wie Bild 4, 5 usw. zeigen. Aber soweit von den Bildern beurteilt, ist es sehr schwer zu entscheiden, welches von den beiden Verhältnissen auf den Walzvorgang herrschend wirkt, weil die Werte des Gipfelstellenverhältnisses an den gemessenen Punkten, die den Zusammenhang zwischen dem Hundeknochenverhältnis und der Walzeigenschaft in jedem Bild zeigen, nicht immer gleich sind. Daher wurde eine rechnerische Entscheidung über den Wirkungsgrad des Hundeknochenverhältnisses und des Gipfelstellenverhältnisses auf den Walzvorgang in den folgenden beiden Fällen versucht:

- 1) Im Fall, daß das Gipfelstellenverhältnis mit einem Wert von 0,7 konstant ist und sich der Wert des Hundeknochenverhältnisses von 1,0 bis 1,5 verändert. (vgl. Bild 3 (a))

2) Im Fall, daß das Hundeknochendickenverhältnis mit einem Wert von 1,25 konstant ist und sich der Wert des Gipfelstellenverhältnisses von 0,5 bis 0,9 verändert. (vgl. Bild 3 (b) )

**Bild 9** und **Bild 10** zeigen die rechnerischen Ergebnisse über den Einfluß des Hundeknochendickenverhältnisses und des Gipfelstellenverhältnisses auf die Ausbreitungsgröße, auf die Walzkraft, auf das Walzmoment und auf das Abnahmenverhältnis der Zentrumdicke. Bild 9 zeigt, daß sich die Walzkraft, das Walzmoment, die Ausbreitungsgröße und das Abnahmenverhältnis der Zentrumdicke dem Hundeknochendickenverhältnis proportional vergrößern. Dagegen zeigt Bild 10, daß sich die Walzkraft, das Walzmoment, die Ausbreitungsgröße und das Abnahmenverhältnis der Zentrumdicke mit dem Gipfelstellenverhältnis fast kaum verändern. Daraus kann man schließen, daß der Einfluß des Hundeknochendickenverhältnisses auf den Walzvorgang viel stärker ist als der des Gipfelstellenverhältnisses.

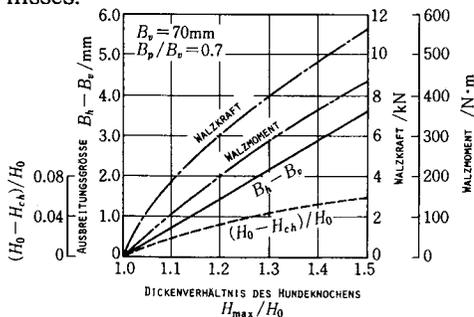


Bild. 9 Rechnerisches Ergebnis über den Zusammenhang zwischen dem Hundeknochendickenverhältnis und den Walzeigenschaften beim Horizontalwalzen

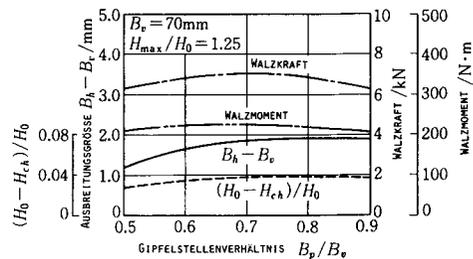


Bild. 10 Rechnerisches Ergebnis über den Zusammenhang zwischen dem Gipfelstellenverhältnis und den Walzeigenschaften beim Horizontalwalzen

#### 4. 4. Veränderung der Form des Walzgutes und des Kraftbedarfs beim mehrstufigen Walzen

**Bild 11 (a) und (b)** zeigen den Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und dem Dickenverhältnis des Hundeknochens beim V. H-Walzen und beim V. V-Walzen. Beim V. H-Walzen wird das Dickenverhältnis des Hundeknochens beim zweiten Vertikalwalzen ein bißchen größer als das beim ersten Vertikalwalzen, aber danach kleiner mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis. Dies geschieht daraus, daß sich die Breite des Walzgutes vor dem Vertikalwalzen mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis stufenartig verkleinert. Das Dickenverhältnis des Hundeknochens ist bei der Flachwalze größer als bei der Kalibwalze und vermindert sich mit abnehmendem Kaliberwinkel und mit abnehmendem  $\Delta R$ .

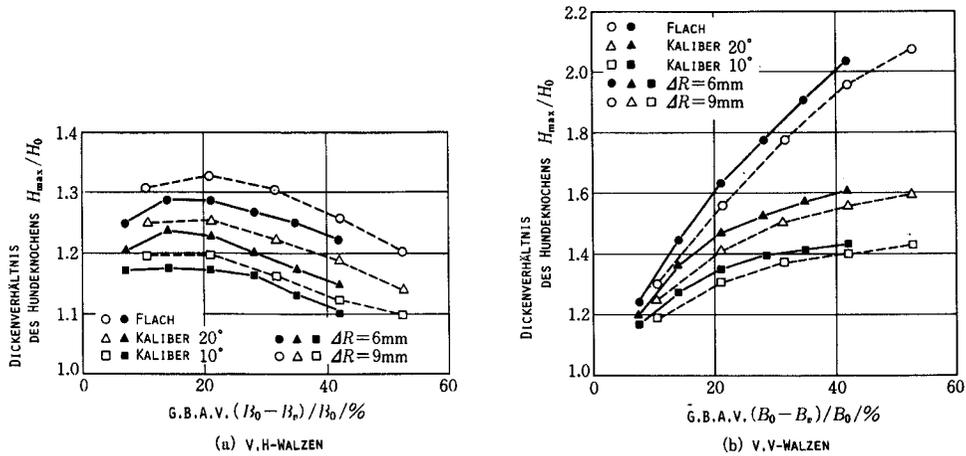


Bild. 11 Veränderung des Hundeknochendickenverhältnisses beim  
(a) V.H-Walzen und (b) V.V-Walzen

Andererseits vergrößert sich beim V. V-Walzen das Dickenverhältnis des Hundeknochens mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis, besonders bei der Flachwalze stark. Bei der Kaliberwalze wird die Zuwachsrate des Dickenverhältnisses mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis kleiner und schließlich fast zu Null. Es ist beachtlich, daß das Dickenverhältnis des Hundeknochens mit abnehmender  $\Delta R$  größer wird im Gegensatz zu dem beim V.H-Walzen.

**Bild 12 (a) und (b)** zeigen die Veränderung des Zentrumsdickenverhältnisses beim V. H-Walzen und beim V. V-Walzen, und in diesen Bildern zeigen die schwarzen Punkte die Werte nach dem Vertikalwalzen und die weißen Punkte die Werte nach dem Horizontalwalzen. Wie es schon geschrieben wurde, wird die Zentrumsdicke beim Vertikalwalzen nicht größer außer dem Falle, daß die Breitenabnahme groß und der Kaliberwinkel klein ist. Diese Tendenz ist auch in diesen Bildern sichtbar. Beim V. H-Walzen wird die Zentrumsdicke nach jedem Horizontalwalzen dünner als die nach dem vorigen Vertikalwalzen, und im ganzen vermindert sich die Zentrumsdicke mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis, besonders wenn  $\Delta R$  klein ist und die Flachwalze als Vertikalwalze verwendet ist.

Dagegen verkleinert sich beim V. V-Walzen die zentrumsdicke mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis nicht, sondern sie vergrößert sich damit. Diese Tendenz wird stärker mit zunehmender  $\Delta R$  und mit abnehmendem Kaliberwinkel der Kaliberwalze. Daher gibt es keine Rinne in der Umgebung der Breitenmitte des Walzgutes nach dem Horizontalwalzen beim V. V-Walzen.

**Bild 13** zeigt die Veränderung der Gipfelstelle mit dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis beim V. H-Walzen und beim V. V-Walzen für eine  $\Delta R$  von 9 mm. In

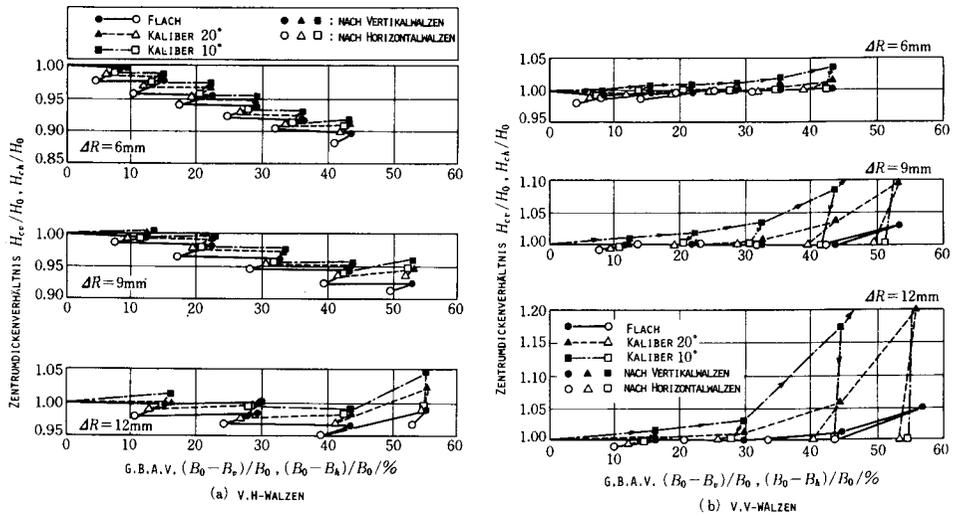


Bild. 12 Veränderung des Zentrumsdickenverhältnisses (a) beim V.H-Walzen und (b) beim V.V-Walzen

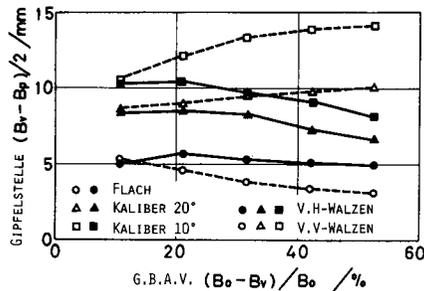


Bild. 13 Veränderung der Gipfelstelle beim V.H-Walzen und beim V.V-Walzen

diesem Bild zeigen die schwarzen Punkte die Werte beim V. H-Walzen und die weißen Punkte die Werte beim V. V-Walzen. Beim V. H-Walzen wird der Abstand zwischen der Gipfelstelle und dem Breitenende, nämlich der Gipfelstellenwert, nach dem zweiten Vertikalwalzen ein bißchen größer als der nach dem ersten, aber danach wird er mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis kleiner. Beim V.V-Walzen vergrößert sich der Gipfelstellenwert mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis bei der Kaliberwalze, und diese Tendenz wird mit abnehmendem Kaliberwinkel stärker. Bei der Flachwalze verkleinert sich der Gipfelstellenwert mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis auch beim V.V-Walzen. Dies bedeutet, daß sich der Umformbereich des Walzgutes mit der Wie-

derholung des Vertikalwalzens in die Breitenmitte verbreitet bei der Kaliberwalze, aber dieser Umformbereich bei der Flachwalze nur am Breitenende bleibt. Wenn das Kaliber nicht genug tief ist und eine Hundeknochenform ungewöhnlich außerhalb des Kalibers wächst, ist zu befürchten, daß der Hundeknochenteil durch das nachfolgende Horizontalwalzen geknickt und dadurch ein schädlicher Oberflächenfehler gebildet wird. Dies muß vor allem für die Nacharbeitung vermieden werden. Unter diesem Gesichtspunkt hat es eine große Bedeutung für die Entscheidung einer Kalibertiefe, die Gipfelstelle des Hundeknochens vorauszuwissen. Aus Bild 13 kann man leicht verstehen, daß die Kalibertiefe mit abnehmendem Kaliberwinkel, besonders beim V. V-Walzen, größer gemacht werden.

**Bild 14 (a) und (b)** zeigen den Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und der Ausbreitungsgröße beim V. H-Walzen und beim V. V-Walzen. Beim V. H-Walzen hat die Ausbreitungsgröße eine Tendenz, nach dem zweiten Vertikalwalzen mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis unabhängig von der Walzenform abzunehmen. Dies geschieht daraus, daß die Hundeknochendicke und auch die Brammenbreite mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis kleiner werden. Beim V. V-Walzen vergrößert sich die Ausbreitungsgröße mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis, besonders bei der Flachwalze. Bei der Kaliberwalze wird die Zuwachsrate der Ausbreitungsgröße mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis kleiner. Diese Tendenz ist gleich mit dem Verhalten des Hundeknochendickenverhältnisses, das in Bild 11 (b) gezeigt ist.

Beim Walzen für die Breitenabnahme wird der sogenannte Fischschwanz durch

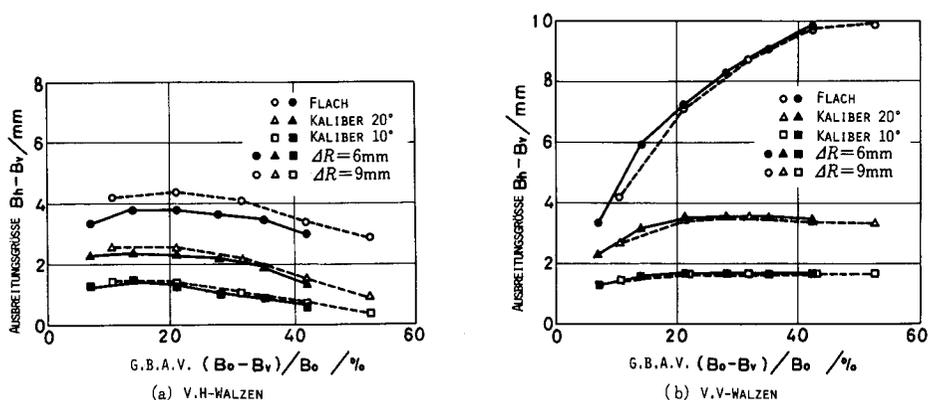


Bild. 14 Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und der Ausbreitungsgröße (a) beim V.H-Walzen und (b) beim V.V-Walzen

die am Kopf- und Fußende des Walzgutes entstehende unständige Umformung gebildet.

**Bild 15** zeigt den Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und der Relativlänge des Fischschwanzes beim V. H-Walzen. Die Relativlänge des Fischschwanzes vergrößert sich im ganzen mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis, aber sie wird wieder kleiner, wenn das Gesamtbreitenabnahmenverhältnis größer als 40% und  $\Delta R$  größer als 9 mm wird. Die Relativlänge des Fischschwanzes vermindert sich mit zunehmender  $\Delta R$ , und sie ist bei der Flachwalze größer als bei der Kaliberwalze und wird kleiner mit abnehmendem Kalibrewinkel.

**Bild 16** zeigt den Vergleich zwischen der Relativlänge des Fischschwanzes beim V. H-Walzen und derjenigen beim V. V-Walzen. Bei den beiden Fällen zeigt die Änderung der Relativlänge des Fischschwanzes mit dem Gesamtbreiten-

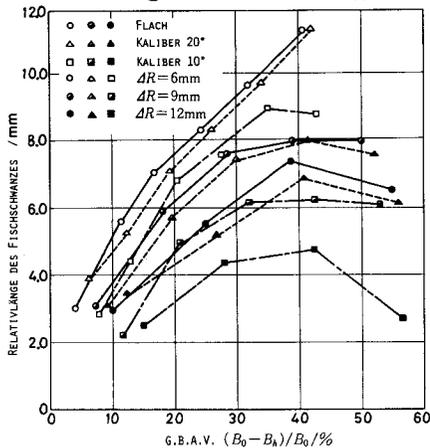


Bild. 15 Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und der Relativlänge des Fischschwanzes beim V.H-Walzen

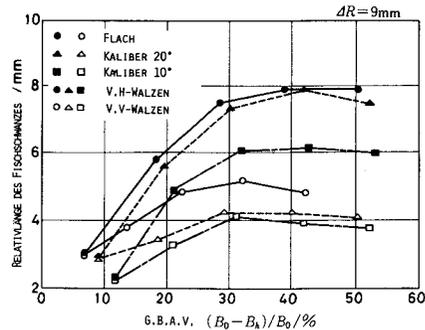


Bild. 16 Vergleich zwischen dem V.H-Walzen und V.V-Walzen über die Relativlänge des Fischschwanzes

abnahmenverhältnis eine ähnliche Tendenz. Die Relativlänge des Fischschwanzes beim V. V-Walzen ist aber kleiner als die beim V. H-Walzen.

Die Entstehung des Fischschwanzes führt zur Verschlechterung der Ausbeute, weil der Fischschwanzteil vor dem nachfolgenden Prozeß geschopft werden muß. Deswegen bemüht man sich zur Zeit um eine Entwicklung der praktischen Maßnahme, die Größe des Schopf-Endes zu vermindern. Aus den in Bild 15 und 16 gezeigten experimentellen Ergebnissen werden einige Erkenntnisse erworben, daß die Größe des beim mehrstufigen Walzen entstehenden Schopf-Endes beim V.V-Walzen kleiner ist als beim V. H-Walzen, und daß die Größe des Schopf-Endes mit abnehmendem Kalibrewinkel der Vertikalwalze und mit zunehmender  $\Delta R$  kleiner

wird. Außerdem ist es auch eine wirkliche Maßnahme, daß die möglichst lange Bramme durch die Wiederholung des Vertikal-Vertikal-Horizontalwalzens in ihrer Breitenrichtung gewalzt wird und danach mit einer bestimmter Länge eingeteilt wird.

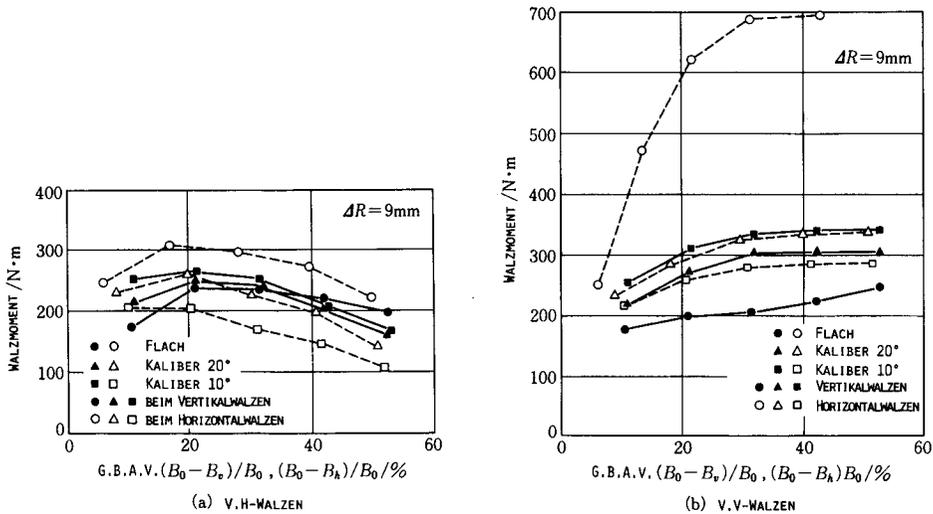


Bild. 17 Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und dem Vertikal- und Horizontalwalzmoment (a) beim V. H-Walzen und (b) beim V.V-Walzen

**Bild 17 (a) und (b)** zeigen den Zusammenhang zwischen dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis und dem Walzmoment beim V. H-Walzen und beim V. V-Walzen für eine  $\Delta R$  von 9mm. In diesen Bildern zeigen die schwarzen Punkte die Werte beim Vertikalwalzen und die weißen Punkte die Werte beim Horizontalwalzen. Beim V. H-Walzen: Das Vertikalwalzmoment beim zweiten Vertikalwalzen ist größer als das beim ersten Vertikalwalzen, weil die Größe der Breitenabnahme beim zweiten Vertikalwalzen wegen der beim vorigen Horizontalwalzen hervorgerufenen Ausbreitung größer ist als die der Breitenabnahme beim ersten Vertikalwalzen. Aber das Vertikalwalzmoment wird mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis nach dem zweiten Vertikalwalzen kleiner. Dies geschieht daraus, daß mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis die Breite des Walzgutes kleiner wird und dadurch sich die Ausbreitungsgröße beim vorigen Horizontalwalzen verringert. Das Horizontalwalzmoment wird auch mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis nach dem zweiten Horizontalwalzen kleiner. Dies geschieht daraus, daß sich das Dickenverhältnis des Hundeknochens verkleinert, wie Bild 11 (a) zeigt, und auch die Breite selbst des Walzgutes kleiner wird. Beim V. V-Walzen: Das Vertikalwalzmoment vergrößert sich mit zunehmendem Gesamtbrei-

tenabnahmenverhältnis schwach, weil beim V.V-Walzen die Dicke der Brammen-seiten mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis immer dicker wird und dadurch sich die Berührungsfläche zwischen Walze und Walzgut vergrößert. Die Zuwachsrate des Vertikalwalzmomentes wird aber damit kleiner. Das Horizontalwalzmoment wird bei der Flachwalze mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis viel größer, bei der Kaliberwalze ein wenig größer. Dies entspricht auch der in Bild 11 (b) gezeigten Veränderung des Hundeknochendickenverhältnisses.

Der Zusammenhang zwischen der Walzkraft und dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis beim V. H- und auch beim V. V-Walzen zeigt eine ähnliche Tendenz mit dem Zusammenhang zwischen dem Walzmoment und dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis.

### 5. Zusammenfassung

In dieser Arbeit wurden das Experiment und die Analyse über das Horizontalwalzen des hundeknochnförmigen Walzgutes und der Modellversuch zum Ermitteln der Veränderung der Brammenform, des Walmomentes und der Walzkraft beim mehrstufigen Walzen durchgeführt. Die erworbenen Ergebnisse können wie folgt zusammengefaßt werden:

- 1) Das Hundeknochendickenverhältnis hat einen viel stärkeren Einfluß auf den Walzvor-gang beim Horizontalwalzen als das Gipfelstellenverhältnis.
- 2) Die Ausbreitungsgröße und der Kraftbedarf beim Horizontalwalzen vergrößern sich dem zunehmendem Hundeknochendickenverhältnis proportional.
- 3) Die Zentrumdicke nach dem Horizontalwalzen wird zunächst dünner mit zunehmendem Hundeknochendickenverhältnis. Aber wenn das Hundeknochendickenverhältnis noch größer wird, nämlich wenn die Breitenabnahme beim Vertikalwalzen noch größer wird, wendet sich die Zentrumdicke zur Zunahme.
- 4) Die Flachwalze hat nicht nur beim V. V-Walzen, sondern auch beim V. H-Walzen einige Nachteile. Beim V. V-Walzen mit Flachwalze wird z. B. das Hundeknochendickenverhältnis mit zunehmendem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis zu groß und dadurch wird die Ausbreitungsgröße und der Kraftbedarf beim nachfolgenden Horizontalwalzen viel größer als bei der Kaliberwalze. Beim V. H-Walzen ist die Abnahme der zentrumdicke bei der Flachwalze stärker als bei der Kaliberwalze und die Ausbeute schlechter. Daraus erklärt sich, daß die Flachwalze für die Vertikalwalze bei der Breitenabnahme der Brammen nicht geeignet ist.
- 5) Bei der Kaliberwalze sind die Abnahme der Zentrumdicke und die Länge des Fischschwanzes kleiner als diese bei der Flachwalze, und diese Tendenz wird mit abnehmendem Kaliberwinkel stärker. Beim V. V-Walzen nimmt die Hundeknochendicke mit dem Gesamtbreitenabnahmenverhältnis zu, und ihre Zuwachsrate vermindert sich mit abnehmendem Kaliberwinkel. Dadurch wird die Zunahme der Ausbreitungsgröße und des Kraftbedarfs beim Horizontalwalzen mit abnehmendem Kaliberwinkel kleiner.
- 6) Beim V. H-Walzen wird die Hundeknochendicke nicht so groß wie die beim V. V-Walzen. Aber die Abnahme der Zentrumdicke und die Länge des Fischschwanzes sind beim V. H-Walzen größer als die beim V. V-Walzen.

Für die Rechnung wurde die Elektronenrechenmaschine FACOM M-200 an der Uni. Kyoto verwandt, und die Rechenzeitdauer war 50~70 Sekunden.

**Schrifttum**

- 1) Pawelski, O.; Piber, V.; Stahl u. Eisen 100 (1980) Nr. 17, S. 937/49.
- 2) Mori, K.; Osakada, K.; Numerical Method Industrial Forming Processes (1982) S. 747/55.
- 3) Takuda, H.; Mori, K.; Hatta, N.; Kokado, J.; J. Japan Soc. Technol. Plasticity 23 (1982) Nr. 262, S. 1103/08.
- 4) Takuda, H.; Mori, K.; Hatta, N.; Kokado, J.; J. Japan Soc. Technol. Plasticity 24 (1983) Nr. 264, S. 39/46.
- 5) Kokado, J.; Hatta, N.; Takuda, H.; Arch. Eisenhüttenwes. 54 (1983) Nr. 12, S. 491/97.