

Maschine entscheidet selbst über Meßaufwand

Kompensieren der Rückfederung beim Biegen von Rohren

Heinrich Rapp

Eine in die Rohrbiegemaschine integrierte Meßeinrichtung erlaubt es, die Rückfederung des Rohres in der Maschine zu messen und automatisch zu kompensieren. Der gesamte Vorgang dauert nur etwa acht Sekunden. Um die Nachmessungen auf ein unumgängliches Maß zu beschränken, sieht das Programm der Maschine zwei Verfahrensstufen unterschiedlichen Aufwands vor. Die Maschine entscheidet selbst, ob Nachmessen notwendig ist.

Seit dem Einzug der Mikroprozessortechnik im Maschinenbau stellt die genaue und schnelle Positionierung auf einen eingegebenen Positionswert keine Probleme mehr dar. CNC-Biegemaschinen können bis auf $1/100$ Grad genau positionieren.

Doch was nutzt diese Genauigkeit, wenn das Rohrrückfederverhalten unbekannt ist oder sich von Rohr zu Rohr, ja sogar innerhalb des Rohres ändert (vom Einfluß der Schweißnaht ganz zu schweigen). Die Schwierigkeiten liegen also im Bestimmen des richtigen Positionswertes. Soll zum Beispiel ein 90-Grad-Bogen hergestellt werden, stellt sich die Frage, auf welchen Winkel das Rohr gebogen werden muß, damit es genau auf 90 Grad zurückfedert. Um einen gewünschten Sollwinkel herzustellen, muß das Rohr also um die jeweilige Rückfederung überbogen werden.

Wie aber kann die Rückfederung eines Rohres für einen bestimmten Sollwinkel bestimmt werden? Bisher wurde die Rückfederung empirisch ermittelt: Nach dem Biegevorgang hat man das Rohr außerhalb der Biegemaschine mit Hilfe von Handgeräten oder Maschinen nachgemessen und die Rückfederung für diesen Winkel bestimmt.

Daraus ergeben sich mehrere Nachteile. Das Nachmessen außerhalb der Maschine erfordert einen erheblichen Zeitaufwand. Falls der gemessene Winkel mit dem gewünschten Biegewinkel nicht übereinstimmt, was bei unbekanntem Rohrverhalten die Regel ist, besteht außerhalb der Biegemaschine keine Möglichkeit, das Rohr wirtschaftlich zu korrigieren. Das erste Rohr ist Ausschuß. Vor allem bei hochwertigen Werkstoffen oder bei Einzelstücken spielt das eine Rolle.

Eine Prognose der Rohrrückfederung aufgrund von Erfahrungswerten für Rohre gleicher Art, ist nur bei gleicher Qualität und kleinen Toleranzen innerhalb der Charge möglich. Sind

Ing. (grad.) Heinrich Rapp ist Leiter der Forschung und Entwicklung eines Unternehmens des Werkzeugmaschinenbaus in Illingen.

aber Schwankungen in der Rohrcharge vorhanden, wird zwangsläufig die Rohrrückfederung falsch prognostiziert, die Biegeergebnisse entsprechen nicht den Vorgaben, Ausschuß wird produziert. Das Problem entsteht auch bei Wechsel der Rohrcharge oder beim Wechsel des Rohrlieferanten.

Weil die Maschine nicht registriert, wenn sich das Rohrverhalten verändert oder wenn Ausschuß produziert wird, sind laufende Qualitätskontrollen unerlässlich, um die fehlerhaften Teile auszusondern.

Meßeinrichtung bestimmt Rückfederung

Im Gegensatz zum Stand der Technik vermeidet das Verwenden einer neu entwickelten Meßeinrichtung und das Anwenden des zugehörigen Verfahrens zur Kompensation der Rohrrückfederung beim automatischen Biegen von Rohren alle bisherigen Nachteile und bietet darüber hinaus weitere Vorteile.

Die an die Rohrbiegemaschine angebaute Meßeinrichtung ermittelt während des automatischen Biegeablaufes die Rohrrückfederung. Innerhalb von ein bis zwei Sekunden wird das Rohr um den aus der Rückfederung berechneten Überbiegewinkel automatisch überbogen. Der Anwender braucht sich keine Gedanken mehr über die Rohrrückfederung zu machen. Somit sind Schwankungen in der Rohrcharge oder unbekanntes Rohrwerkstoffverhalten keine Probleme mehr. Das Messen der Rohrrückfederung kann stichprobenweise oder bei teuren Werkstoffen für jeden Bogen erfolgen.

Die Meßeinrichtung übernimmt die Qualitätskontrolle des Biege winkels in der Biegemaschine. Weil Schwankungen in der Rohrcharge keinen Einfluß mehr auf die Biegeergebnisse haben, können auch Rohre mit großen Toleranzen, die um ein erhebliches billiger sind, verwendet werden.

Die zugehörige Software bietet ein Entscheidungsmodell, anhand dessen die Biegemaschine entscheidet, ob

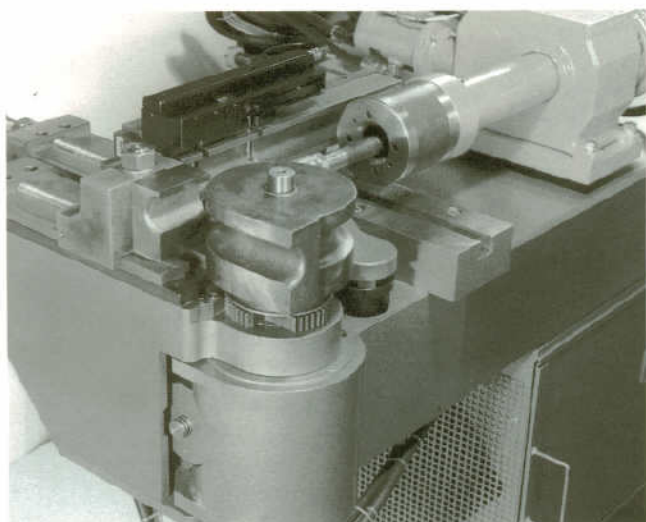


Bild 1: Kopf der Rohrbiegemaschine mit Werkzeug, Dorn, Gleitschiene und montierter Meßeinrichtung

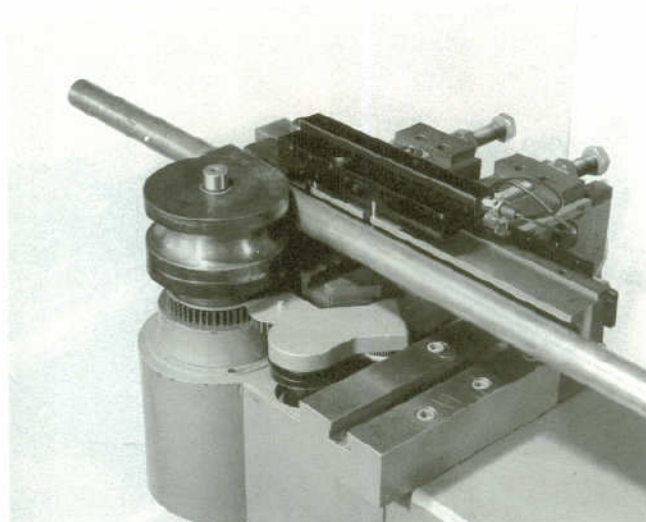


Bild 2: Rohrbiegemaschine mit eingelegtem Rohr



Bild 3: Das Rohr wird mit einer Spannbacke fixiert, die Gegenhalterschiene an den freien Rohrschenkel herangefahren

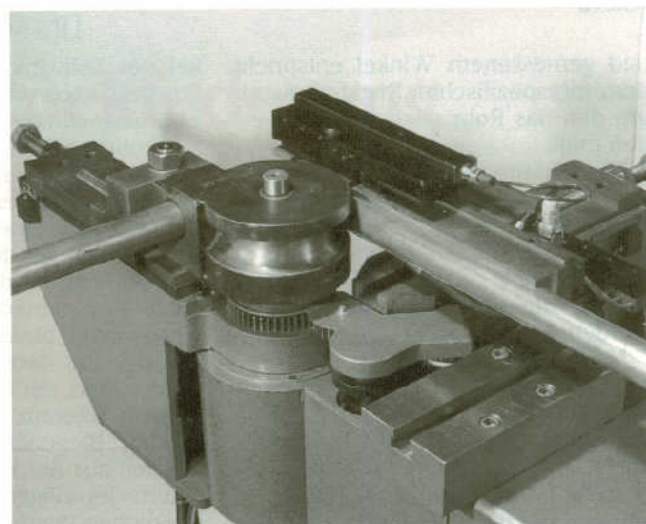


Bild 4: Das Rohr wird auf den eingegebenen Sollwinkel gebogen

nachgemessen wird. Sinnvollerweise wird dann nachgemessen, wenn das Rohrverhalten unbekannt ist oder wenn sich das Rohrverhalten gegenüber der in der Vergangenheit gebogenen Rohre wesentlich verändert hat. Die Maschine entscheidet dies selbstständig mit Hilfe der Referenzmessung des ersten Bogens eines in die Maschine eingelegten Rohres. Damit wird die Anzahl der Nachmessungen auf ein Minimum reduziert.

Auf Wunsch können individuell Stichprobenmessungen programmiert werden genauso wie die Eingabe, daß bei jedem Bogen eine Messung erfolgt, oder daß die Nachmessung ganz unterdrückt wird.

Auf der Emo '89 in Hannover wurde eine automatische Rohrbiegemaschine mit derartiger Meßvorrichtung vorgestellt.

Ablauf des Verfahrens

Den Kopf der Biegemaschine mit Werkzeug, Dorn, Gleitschiene und montierter Meßeinrichtung zeigt Bild 1. Die Meßeinrichtung befindet sich in der Stellung, in der sie den Ladevorgang (das Einlegen des Rohres) nicht behindert.

Der erste Schritt im Verfahrensablauf ist das Einlegen des Rohres. Bild 2 zeigt die Rohrbiegemaschine mit eingelegtem Rohr. Mit Hilfe einer Spannbacke wird das Rohr fixiert, die Ge-

genhalterschiene wird an den freien Rohrschenkel herangefahren (Bild 3). Dann wird das Rohr auf den eingegebenen Sollwinkel (hier 90°) gebogen (Bild 4).

Jetzt fährt die Gegenhalterschiene vom Rohr weg, so daß das Rohr nach einer Seite frei auffedern kann (Bild 5). Die Gegenhalterschiene fährt in Grundstellung, die Tastschmiege der Meßeinrichtung gleichzeitig unter leichtem Druck an den freien Rohrschenkel heran. Das gesamte Rohr wird nun solange zurückbewegt, bis der freie Rohrschenkel wieder parallel zur Gegenhalterschiene liegt. Der angezeigte Winkel wird registriert. Die Differenz zwischen eingegebenem

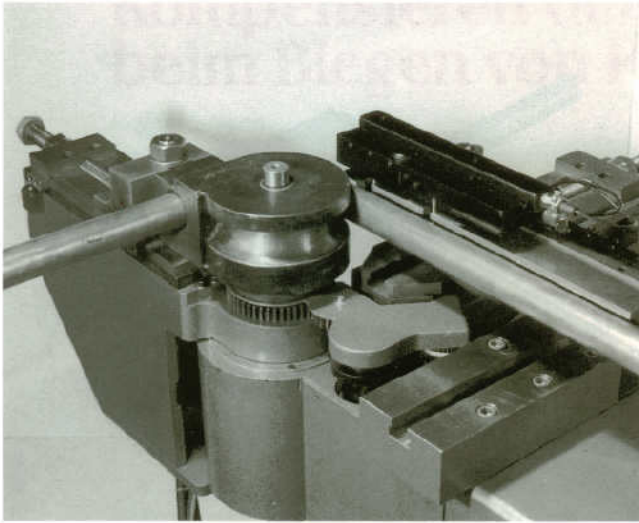


Bild 5: Bei weggefahrener Gegenhalterschiene kann das Rohr frei auffedern. Die an das Rohr herangefahrene Tastschmiege übermittelt den Federungswinkel des wieder zurückbewegten Rohres

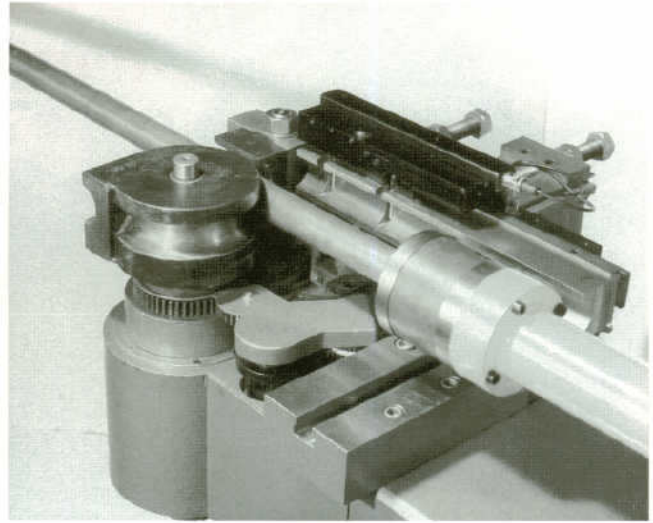


Bild 6: Das um seinen Rückfederungswert überbogene Rohr wird aus seiner Verspannung gelöst

und gemessenem Winkel entspricht dem rohrspezifischen Rückfederwert, um den das Rohr nachgebogen werden muß.

Das nun um seinen Rückfederungswert überbogene Rohr wird aus der Verspannung gelöst, das Werkzeug und die Gegenhalterschiene wieder in Grundstellung gebracht (Bild 6). Das maßgenaue Rohr kann entnommen werden.

Meß- und Nachbiegevorgang geschehen automatisch und dauern nur etwa acht Sekunden. Um die Anzahl der Nachmessungen auf ein notwendiges Minimum zu reduzieren, stellt sich die Frage: Wann sind Nachmessen und Nachbiegen überhaupt erforderlich? Doch nur dann, wenn die Rohrqualität bezüglich der Rückfederung unbekannt ist, zum Beispiel wenn eine Rohrart zum erstenmal gebogen wird und keine Prognose der Rückfederung möglich ist, oder wenn sich die Rohrqualität bezüglich der Rückfederung geändert hat, so daß die aus der Vergangenheit gewonnenen Rückfederwerte nicht mehr für dieses Rohr gelten. Mit dem neu entwickelten Verfahren ist die Rohrbiegemaschine in der Lage, alleine eine sinnvolle Entscheidung zu treffen. Es werden zwei Verfahrensstufen unterschieden.

Meßaufwand nach Bedarf

Die erste Verfahrensstufe dient dem Nachmessen des jeweiligen ersten Biege winkels eines Rohres bestimmter Art. Daraus wird der Überbiegewin-

kel des Sollwinkels ermittelt. Dieses Ergebnis wird mit dem bisherigen Überbiegewinkel des Sollwinkels, der aus früheren Rohren dieser Rohrart ermittelt wurde, verglichen. Ergibt sich bei diesem Vergleich ein Unterschied der größer als eine vorgegebene Toleranz ist, können die folgenden Biege winkel nicht mit den aus der Vergangenheit gewonnenen jeweiligen Überbiegewinkel überbogen werden. Ergibt sich aus dem Vergleich aber ein Unterschied, der kleiner als die vorgegebene Toleranz ist, können die folgenden Biege winkel dieses Rohres mit den aus der Vergangenheit ermittelten jeweiligen Überbiegewinkel überbogen werden. Das Nachmessen entfällt für die restlichen Biege winkel, sofern eine Prognose des Überbiegewinkels für jeden nachfolgenden Sollwinkel existiert. Wenn keine Prognose existiert, muß bei diesen Sollwinkeln nachgemessen werden.

Aus den Ergebnissen des Nachmessens bei verschiedenen Sollwinkeln wird die Überbiegekurve dieser Rohrart ermittelt. Die Kurve hat, je nachdem wie weit die Sollwinkel auseinanderliegen, einen bestimmten Geltungsbereich. Bei den folgenden Rohren derselben Rohrart wird wieder der erste Biege winkel nachgemessen, um zu entscheiden, ob die Prognosen auch für dieses Rohr gültig sind. Im folgenden wird analog wie beschrieben verfahren.

Die zweite Verfahrensstufe stellt eine Erweiterung der ersten dar. Während des Biegevorgangs wird die Bie-

gekräft-Biege winkel-Kennlinie aufgenommen. Für 30 Winkelwerte, die sich überwiegend im elastischen Bereich der Kennlinie befinden, wird die jeweilige Biegekräft gemessen. Aufgrund des Vergleichs dieser Kennlinie mit einer Kennlinie der gleichen Rohrart (gleicher Rohrquerschnitt, gleicher Werkstoff, gleicher Biegeradius) erkennt die Maschine während des Biegevorgangs, ob ein vergleichbares Rohrverhalten vorliegt und auf eine Nachmessung verzichtet werden kann oder ob sich das im Moment gebogene Rohr anders verhält, somit eine Prognose des Überbiegewinkels anhand der Vergangenheitswerte nicht möglich ist und dieses Rohr mit Hilfe der Meßeinrichtung nachgemessen und entsprechend nachgebogen werden muß.

Die Maschine erkennt selbständig Qualitätsschwankungen innerhalb der Rohrcharge und kann entsprechend reagieren, so daß Änderungen im Rohrverhalten keinerlei Einfluß auf die Biegeergebnisse haben.

Geförderte Innovation

Das Projekt „Kompensation der Rückfederung beim Biegen von Rohren“, das im Jahre 1986 startete, ist vom Land Baden-Württemberg im Rahmen der Zuwendung zur Förderung von Innovationen unterstützt worden. Bei der Entwicklung der Meßeinrichtung wurde eng mit dem technischen Beratungsdienst an der Fachhochschule Heilbronn zusammengearbeitet. □