

Rollen statt Gleiten - innovative Drahtförderung durch den Rolliner

R. Lahnsteiner, Landau/Isar, Deutschland

ROLLINER NG ist bereits die zweite Generation eines völlig neuen Lösungsansatzes für das Fördern von Schweißdrähten. Weg von reibungsbehafteten Schläuchen, weg von Abrieb, von ungleichmäßiger Förderung und von unnötigem Wartungsaufwand. Die Drahtelektrode wird nur durch jeweils um 90° versetzte Rollen geführt – ohne Gleitreibung. Damit ist es möglich Roboterschweißanlagen wesentlich einfacher aufzubauen und Drahtgroßgebände auch für das Handschweißen einzusetzen.

1. Einleitung

Einige Schweißverfahren benötigen einen Schweißzusatz in Form eines dünnen, endlosen Drahtes. Dieser kann sowohl stromlos, als auch stromführend sein. Zu diesen Schweißverfahren zählt das Metallschutzgasschweißen, das Laserstrahlschweißen, aber auch das Unterpulverschweißen und das mechanisierte Wolfram inertgasschweißen. Speziell das Metallschutzgasschweißen ist äußerst weit verbreitet und stellt einen erheblichen Anteil an der schweißtechnischen Wertschöpfung dar. Seit seiner Entwicklung 1948¹ werden runde Drahtelektroden eingesetzt. Diese sind üblicherweise auf Drahtspulen aufgewickelt und werden mit Hilfe von sogenannten Drahtförderschläuchen von diesen Spulen der eigentlichen Verwendung zugeführt. Diese Drahtförderschläuche oder auch Drahtseelen bestehen bei un- und niedriglegierten Stahldrähten üblicherweise aus einer Stahlspirale, bei nichtrostenden Zusätzen und Nichteisenmetallen aus Kunststoffschläuchen. Daran hat sich prinzipiell in den der Erfindung folgenden 6 Jahrzehnten nichts geändert. Üblicherweise befindet sich die Drahtspule direkt in der Nähe des Drahtvorschubgerätes. Der Draht wird direkt von der Spule abgezogen, anschließend mit einem Drahtfördersystem in die Drahtseele geschoben und erreicht nach einigen Metern die Stromdüse. Die Länge der Drahtseele ist durch die Reibung des Drahtes in der Seele begrenzt, welche der Förderkraft des Drahtantriebes entgegenwirkt. Die maximal mögliche Länge beträgt meist 5m.



Abbildung 1: Drahtvorschubgerät mit Drahtspulenhaltung

In den letzten 20 Jahren kam es durch den zunehmenden Einsatz von mechanisierten Schweißprozessen,

speziell in Verbindung mit Industrierobotern zum vermehrten Einsatz von größeren Drahtgebänden, um Stillstände durch das häufige Wechseln von Drahtspulen zu vermeiden. Diese können aufgrund ihres Gewichtes und der Größe nicht mehr in unmittelbarer Nähe des Drahtvorschubgerätes positioniert werden.



Abbildung 2: Drahtfass für 140kg Aluminiumelektrode

Somit wurde es notwendig die Drahtelektrode durch eine weitere Drahtseele zunächst vom Großgebände zur Drahtfördereinrichtung zu transportieren und anschließend zum eigentlichen Lichtbogen. Üblicherweise werden dafür ebenfalls die bekannten Drahtspiralen oder Kunststoffschläuche verwendet, welche auch im Brennerschlauchpaket Verwendung finden.

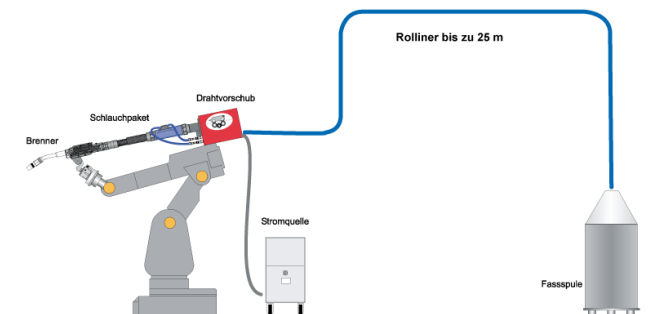


Abbildung 3: Üblicher Aufbau einer Roboterschweißanlage mit Drahtfass

Auch hier ist die maximal mögliche Förderlänge durch die zunehmende Reibung begrenzt und beträgt üblicherweise nur einige Meter. Ein häufiges Problem bei derartigen Anlagen ist eine zu hohe Reibung und damit verbundenen hohen Kräften welche durch den

Drahtantrieb geleistet werden müssen. Diese führen in vielen Fällen zu Schlupf in den Drahtfördersystemen, dadurch unregelmäßigen Drahttransportgeschwindigkeiten, sowie mechanischer Beschädigung des Drahtes. Diese Beschädigung kann auch zu Abrieb und einer folgenden Verstopfung der Drahtseele mit kompletten Stillständen führen. Um dieser Problematik entgegen zu wirken, werden häufig Drahtfördersysteme mit mehreren Drahtantrieben, als sogenanntes Push-Pull-System, verwendet. Dies kann zu neuen Schwierigkeiten aufgrund der problematischen Synchronisierung der Antriebe führen. Darüber hinaus ist es in regelmäßigen Abständen notwendig die Drahtseelen zu reinigen und auszuwechseln. Der Zeitaufwand kann dafür erheblich sein. Insgesamt ist die Situation unbefriedigend und wirkt einer zunehmenden Verbreitung der damit verbunden Verfahren entgegen.

2. Reibung

Reibung bzw. **Friktion** ist die Hemmung einer Bewegung. Man unterscheidet zwischen *äußerer Reibung*, die zwischen den sich berührenden Grenzflächen von Festkörpern auftritt, und *innerer Reibung* bei der Verformung von Fluiden und Festkörpern.ⁱⁱ

Bei dem Transport von dünnen Drähten durch Drahtseelen tritt sowohl äußere als auch innere Reibung auf. Diese wird durch Biegeradien verursacht, wodurch der Draht die innere Schlauchwand berührt und dort Gleitreibung verursacht. Gleichzeitig wird der Draht verformt was zur inneren Reibung führt. Je mehr Biegeradien vorhanden sind und je kleiner diese Radien sind, umso höher wird die Gesamtreibung im Drahtfördersystem.

Die Reibungskraft F_R berechnet sich nach der Formel $F_R = \mu \times F_N$ wobei μ der Reibungskoeffizient und F_N die Normalkraft ist, welche die Drahtelektrode auf die innere Wand der Drahtseele ausübt. Diese Normalkraft ist abhängig von der Zugkraft auf den Draht und dem Widerstand, welcher dem Transport entgegen gesetzt wird.

Einen Hinweis darauf gibt die **Euler-Eytelwein-Formel**, auch Seilreibungsformel genannt.ⁱⁱⁱ

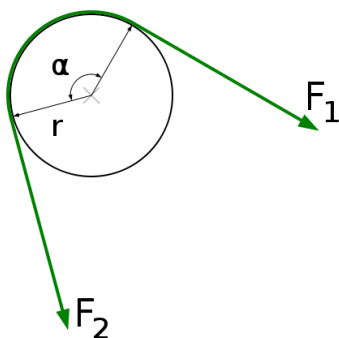


Abbildung 4: Euler-Eytelwein - Seilreibung

Wenn das Seil auf dem runden Körper gleitet, ergibt sich aus der Euler-Eytelwein-Formel mit dem Gleitreibungskoeffizienten μ der Ausdruck

$$F_2 = F_1 \cdot e^{\mu \cdot \alpha}$$

wobei F_2 die größere, F_1 die kleinere der beiden Seilkräfte bezeichnet. Der Radius r des runden Gegenstandes geht jedoch nicht in die Formel ein. Real gilt die Formel gut für nicht zu kleine Körperdurchmesser, sodass die Biegesteifigkeit sich nicht zu stark auswirkt. In der Praxis haben wir es jedoch häufig mit sehr engen Biegeradien zu tun, wodurch diese sehr wohl eine Rolle spielen.

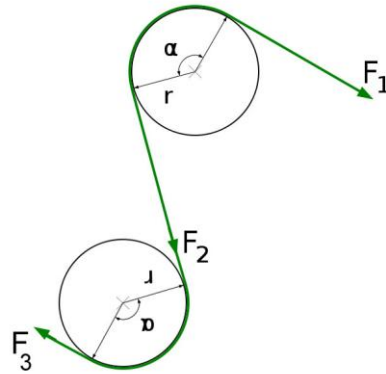


Abbildung 5: Mehrere Biegeradien

Bei mehreren aufeinander folgenden Radien müssen die Radien addiert werden und es kommt aufgrund der Exponentialfunktion sehr schnell zu einer Überschreitung der maximal vom Drahtvorschubsystem zur Verfügung gestellten Förderkräfte. In der Vergangenheit wurde daher speziell nach Materialien mit niedrigen Gleitreibungskoeffizienten gesucht um die auftretenden Reibungskräfte zu reduzieren.

3. Rollreibung

Der **Rollwiderstand** (auch: **Rollreibung** oder **rollende Reibung**) entspricht dem Verformungswiderstand eines sich abwälzenden Körpers. Als Kennwert wird der **Rollwiderstandskoeffizient** c_R (auch: *Rollwiderstandsbeiwert*, *Rollreibungsbeiwert* usw.) angegeben.

$$F_R = c_R \cdot F_N \text{ - Rollwiderstand ist Rollwiderstandskoeffizient mal Normalkraft}$$

Die Werte für die Rollwiderstandskoeffizienten sind verglichen mit den passenden Werten für Gleitreibung erheblich kleiner. Rollwiderstandskoeffizienten liegen um ein bis über zwei Größenordnungen unter denen des Gleitreibungskoeffizienten.^{iv}

4. Rolliner – Prinzip

Auch durch verbesserte Werkstoffe waren die Fortschritte in der Verringerung des Gleitreibungskoeffizienten zuletzt nur mehr gering. Gleichzeitig nimmt die Verwendung von Drahtgroßgebunden beständig zu, somit auch die Forderung nach Drahttransportsystemen mit großen Förderlängen. Deshalb war es nur naheliegend die deutlich geringere Rollreibung auch für den Transport von Schweißdrähten einzusetzen. Umso erstaunlicher ist es, dass diese Entwicklung erst nach 60 Jahren erfolgte.

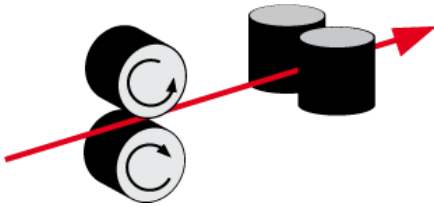


Abbildung 6: Prinzip des Rolliners

Beim Rolliner erfolgt der Drahttransport ausschließlich über Rollreibung. Durch jeweils um 90° versetzte Rollenpaare wird der Draht auch über sehr große Längen von mehreren zehn Metern transportiert, ohne an irgendeiner Stelle Gleitreibung zu verursachen. Dadurch werden die Förderkräfte erheblich verringert, größere Transportlängen möglich, mechanische Drahtbeschädigung vermieden und Schwankungen der Drahtfördergeschwindigkeit reduziert. Die innere Reibung durch sehr kleine Biegeradien besteht jedoch weiterhin!

Ein erheblicher Fortschritt liegt auch in der Tatsache, dass es sich beim Rolliner nicht mehr um ein Verschleißteil handelt. Die Systeme bewähren sich bereits seit 3 Jahren, ohne jemals gereinigt oder gar gewechselt worden zu sein.

Die wesentliche Herausforderung bei der Konstruktion des Rolliners lag in der Realisierung einer geringen Baugröße (Durchmesser), sowie einer wirtschaftlichen Fertigung.



Abbildung 7: Erste Generation

Die vor etwa 3 Jahren vorgestellte erste Generation des Rolliners hatte noch einen Außendurchmesser von 50mm und Kosten in der Größenordnung von weit über einhundert Euro je Meter. Dadurch war die Anwendung lediglich auf jene Anlagen beschränkt, welche mit anderen Drahtseelen, oder Zusatzantrieben nicht zufriedenstellend funktionierten. Mit der zweiten Generation des Rolliners wurde nun der Durchmesser auf 20mm reduziert und der Preis unter die einhundert Euro Marke gesenkt. Damit ergibt sich eine breite Palette von Anwendungen und völlig neue Ansätze für die Lichtbogen- und Laserschweißverfahren.

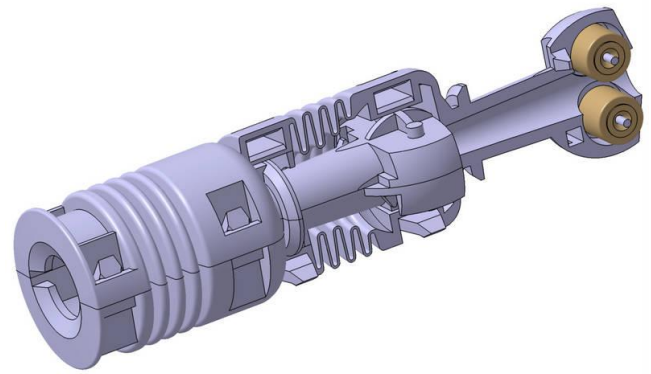


Abbildung 8: Rolliner NG - die zweite Generation

Der Durchbruch gelang durch die Konstruktion von Kunststoffspritzteilen, welche sowohl die Funktion der Rollenpaare, als auch jene des Schutzschlauches in einem Bauteil übernehmen. Die Einzelelemente werden durch einfaches Aneinanderklipsen verbunden und zu beliebigen Längen verkettet. Dabei ist es auch jederzeit möglich die Klipse wieder zu öffnen und Elemente einzufügen oder zu entfernen. Der minimale Biegeradius ergibt sich mit 120mm und das Gewicht je Meter Schlauch beträgt nur 150 Gramm.

5. Messung der Reibungskoeffizienten

Mit einer Versuchsanordnung entsprechend der Abbildung 4: Euler-Eytelwein - Seilreibung wurden Messungen der Reibungskoeffizienten bei konventionellen Draht/Seelen-Paarungen, sowie mit Draht/Rolliner-Paarungen durchgeführt. Die Kraft F_1 wurde durch ein Gewicht realisiert und die Kraft F_2 mit einer digitalen Federwaage gemessen. Der Radius wurde von 360° bis 720° variiert. Untersucht wurden Drahtelektroden G3Si1 gepaart mit Stahlseelen, sowie AlMg5 gepaart mit Teflon. Die Seelen wurden jeweils auch durch den Rolliner ersetzt. Für konventionelle Seelen wurde ein Reibungskoeffizient entsprechend der Euler-Eytelwein Formel von etwa 0,004 ermittelt und für den Rolliner von etwa 0,001. Dieser Unterschied ist auf den ersten Blick nicht so dramatisch, entscheidet jedoch in der Praxis häufig zwischen „geht“ und „geht nicht“.

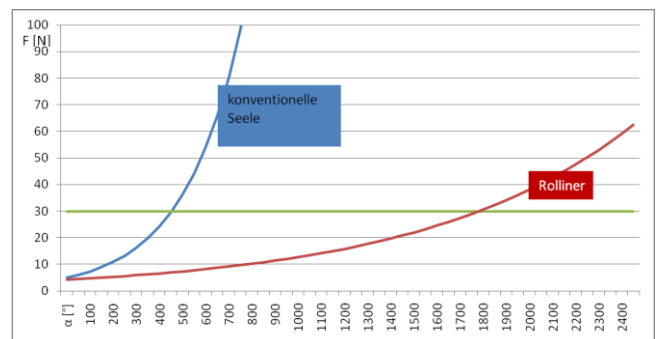


Diagramm 1: Förderkraft in Abhängigkeit der Radien

Das Diagramm 1: Förderkraft in Abhängigkeit der Radien zeigt die auftretende Förderkraft F_2 bei einer angenommenen Gegenkraft F_1 von 4 N (z.B. die Kraft

um den Draht aus einem Fass zu ziehen). Es wurde eine maximale Förderkraft des Antriebes von 30 N angenommen. Dabei zeigt sich, dass eine konventionelle Seele (blaue Linie) bei etwa 450° die Grenzen des Fördersystems überschreitet, das sind etwa 5 Bögen mit jeweils 90°. Dabei sind die Förderkräfte mit dem Rolliner noch sehr gering (rote Linie), während das zulässige Maximum erst bei etwa dem vierfachen Radius erreicht wird. Der Grund warum der Reibungskoeffizient beim Rolliner nicht um Größenordnungen unter jenen der konventionellen Seelen liegt ist auf die Menge der beteiligten Rollen zurückzuführen. Bei einem Vollkreis mit einem Radius von 300mm sind immerhin 19 Rollen im Einsatz deren Reibung sich addiert.

6. Anwendungen

Die traditionelle Anwendung ist wie in Abbildung 3: Üblicher Aufbau einer Roboterschweißanlage mit Drahtfass dargestellt. Die Vorteile bestehen wie im vorigen Absatz beschrieben.

Die neuen Drahtförderschläuche ermöglichen jedoch auch völlig neue, bisher unmögliche Einsatzgebiete für das Lichtbogenschweißen. Beispielsweise wird es möglich bei Roboterschweißanlagen auf den Drahtantrieb, welcher üblicherweise auf der dritten Achse befestigt ist, völlig zu verzichten und mittels eines Schweißbrenners mit integriertem Motor den Draht direkt aus dem Drahtfass, auch über große Distanzen, zu ziehen.

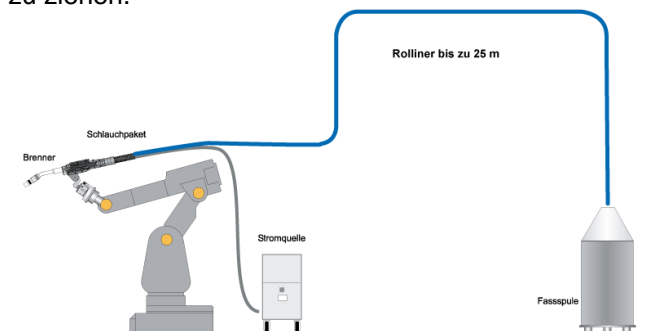


Abbildung 9: Robotersystem ohne Drahtantrieb auf der dritten Achse

Die Vorteile liegen im Wegfall des Gewichtes auf der dritten Achse, dem Wegfall der Antriebssynchronisation und der geringeren Kosten.

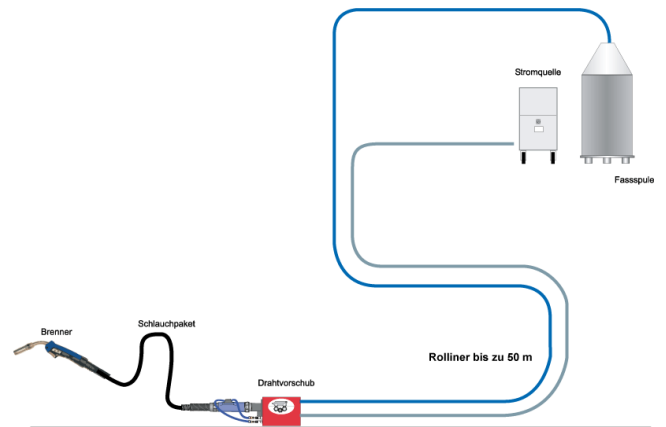


Abbildung 10: Handschweißanlage mit Fassdrahtversorgung

Beim halbautomatischen Schweißen von sehr großen Bauteilen (Schiffe, Behälter, Nutz- und Schienenfahrzeuge) wird es nun möglich den Schweißdraht ebenfalls aus Drahtfässern zur Verfügung zu stellen. Es wurden bereits Drahtförderlängen von 50m im Schiffbau mit nur einem Antrieb realisiert. Die Vorteile liegen in einer deutlichen Reduzierung der Nebenzeiten, durch den Wegfall der Spulenwechsel, sowie der Humanisierung der Arbeitswelt des Schweißers, da die bis zu 18kg schweren Drahtspulen nicht mehr manipuliert werden müssen.

Die Einsparungen an Nebenzeiten können erheblich sein. Mit einem einzigen Drahtfass für unlegierten Stahldraht lassen sich bis zu 30 Spulenwechsel mit einem Zeitaufwand von jeweils 15-20 Minuten einsparen. Dies summiert sich auf 10 Arbeitsstunden innerhalb von 5-6 Wochen im Einschichtbetrieb.

7. Ausblick

Aufgrund der beschriebenen Vorteile des Rolliners ist zukünftig damit zu rechnen, dass dieser für alle Schweißanlagen mit Großspulen oder Fasssystemen eingesetzt wird, unabhängig von der Länge der Verbindung. Damit wird ein Verschleißteil substituiert und die Anlagenverfügbarkeit erhöht, wodurch die Mehrkosten in kurzer Zeit amortisiert werden. Ebenso wurde bereits in vielen Fällen beobachtet, dass die Schweißprozesse stabiler ablaufen, mit geringerer Spritzerbildung und weniger Schweißnahtfehlern wie z.B. Poren. Damit wird Nacharbeit und Ausschuss reduziert.

Als nächsten Entwicklungsschritt kann man möglicherweise auch damit rechnen, dass der Rolliner auch für Brennerschlauchpakete eingesetzt wird und der Draht nicht durchgezogen, sondern durchgeschoben wird. Dafür ist möglicherweise eine weitere Verringerung des Durchmessers nötig.

Mit dem Rolliner ist es gelungen die Lichtbogen- und Laserstrahlprozesse erheblich zu verbessern und einen weiteren Schritt zur Akzeptanz dieser Verfahren zu leisten.

ⁱ Seite „Schweißen“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 5. Juni 2010, 07:34 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Schwei%C3%9Fen&oldid=75200478> (Abgerufen: 8. Juni 2010, 06:27 UTC)

ⁱⁱ Seite „Reibung“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 30. Mai 2010, 17:01 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Reibung&oldid=74971240> (Abgerufen: 8. Juni 2010, 06:28 UTC)

ⁱⁱⁱ Seite „Euler-Eytelwein-Formel“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 6. Juni 2010, 21:10 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Euler-Eytelwein-Formel&oldid=75263364> (Abgerufen: 8. Juni 2010, 06:28 UTC)

^{iv} Seite „Rollwiderstand“. In: Wikipedia, Die freie Enzyklopädie. Bearbeitungsstand: 18. März 2010, 23:11 UTC. URL: <http://de.wikipedia.org/w/index.php?title=Rollwiderstand&oldid=72065967> (Abgerufen: 8. Juni 2010, 06:28 UTC)