

ANLAGEN ZUR UMFORMUNG NACH DEM KUGELSTRAHLVERFAHREN

R. G. Bosshard

Baiker AG, CH-8152 Glattbrugg, Schweiz

ZUSAMMENFASSUNG

Nach einer kurzen Darstellung der Beschleunigungsmöglichkeiten von Kugeln und Entwicklung von entsprechend arbeitenden Umformmaschinen werden die verschiedenen verfahrenstechnisch notwendigen Baugruppen beschrieben. Dies sind vor allem Strahlkabine, Werkstückaufnahme, Düsenbewegung, Strahlensystem, Strahlmittlrückförderung, Strahlmittelbereitstellung, Maschinensteuerung.

BEGRIFFE

Kugelbeschleunigung und Kugelaufprall als gesteuertes Arbeitsverfahren.

GRUNDLAGEN

Gemäss Wortlaut des Verfahrens prallen sich linearbewegende Kugeln aus hartem Material auf das zu verformende Werkstück. Die Kugeln, normalerweise in einem Behälter lagernd, müssen also mit einer technischen Einrichtung in eine bestimmte Richtung beschleunigt werden.

Am einfachsten, und in der Forschung schon angewendet, wäre das reine Fallprinzip. Dies allerdings für einen prinzipiensprechend sinnvollen Kugeldurchmesserbereich von 20 bis 30 mm. Technische Grenzen würden bestimmt durch erforderliche Fallhöhe und oft nicht günstige vertikale Kugelbewegungsrichtung, welche durch die Gravität bestimmt ist.

Eine weitere Möglichkeit bietet das Schleuderrad mit einer rein mechanischen Beschleunigung. Dies allerdings mit dem Nachteil stark differierender Bewegungsrichtungen.

Sehr verbreitet sind hingegen die pneumatischen Systeme. Im einfachsten Falle die Zuführung der Kugeln aus einem nahen Behälter mittels Gravitation in einen Beschleunigungsapparat in Form eines Injektors.

In ähnlicher Art kann das Verfahren erweitert werden, indem die Saugwirkung des Injektors derart erhöht wird, dass die Kugeln direkt durch einen Schlauch aus einem Behälter abgesaugt werden können. Eine weitere Leistungssteigerung ermöglicht die Kombination eines druckluftbeaufschlagten Förderbechers unterhalb des Strahlengutbehälters zusammen mit einer optimierten Injektor-Strahlpistole mit Ringquerschnitt und geradlinigem Strahlmitteldurchgang.

Diese technisch einfachen und flexiblen Systeme besitzen allerdings den Nachteil einer niedrigen spezifischen Leistung und einer beschränkt genauen Reproduzierbarkeit, insbesondere der Strahlmittelmenge.

Hohe Leistung und vorzügliche Reproduzierbarkeit bringen die sogenannten Druckstrahlanlagen mit Zwangsdosierung. Der Strahlmittelbehälter befindet sich also selbst schon unter dem Druck, der auch etwa dem Strahlendruck entspricht. Sind kurze Strahlzeiten (10-15 Min.) und eine relativ hohe Strahlmittelumlaufmenge (200-400 daN/Düse) vertretbar, so genügt ein einfacher Druckbehälter. Jedoch für beliebig lange Strahlzeiten kommt das technisch aufwendige Zweibehältersystem zur Anwendung, 200 daN Strahlmittel können dann für 4 Düsen genügen.

Anlagen zur Umformung sind im wesentlichen gleich gebaut wie die Anlagen für die Oberflächenverfestigung nach dem Trockenstrahlverfahren. Verfahrenstechnisch ist das Umformen allerdings wesentlich komplexer und diese Tatsache ist vor allem bei der Konzipierung der Maschinensteuerung zu berücksichtigen. Abbildung 1 zeigt eine für die Grundlagenforschung gebaute Umformanlage Baujahr 1977.

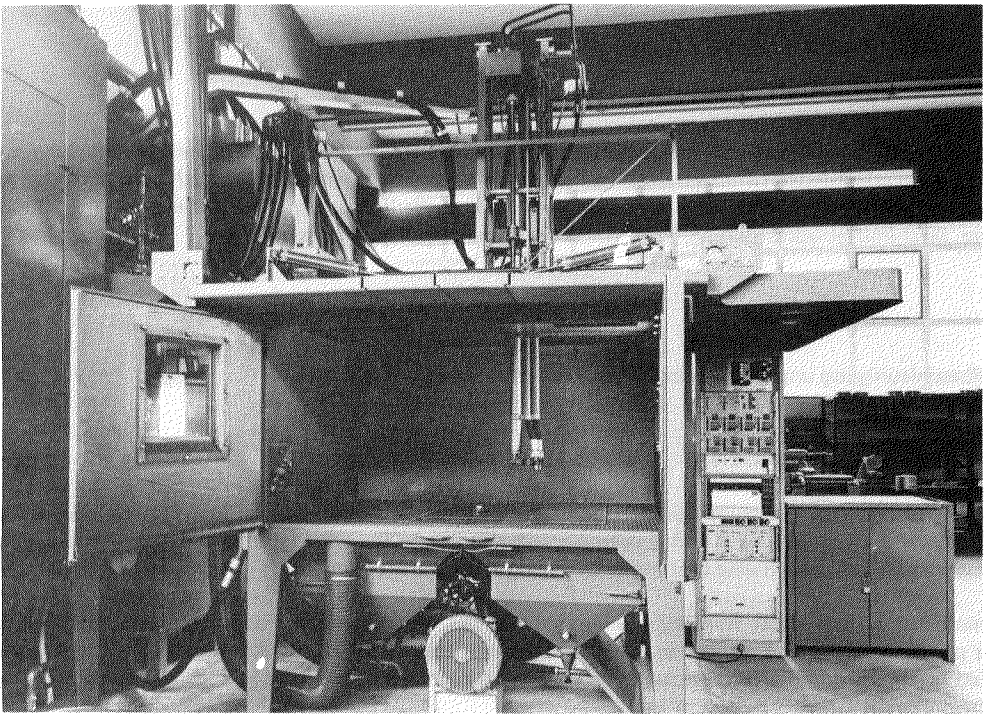


Abb. 1 Umformanlage für Grundlagenforschung.

STRAHLKABINE

Das Werkstück ist grundsätzlich immer von einer Kabine umgeben, welche vor allem die Aufgabe hat, das sich prozessbedingt in Werkstücknähe frei im Raum bewegende Strahlmittel innerhalb eines geschlossenen Systems zu halten. Prozessbedingt treten auch sehr hohe Lärmpegel auf. Demzufolge müssen viele Kabinen unter Berücksichtigung aller Regeln der Lärmschutzdämmung konstruiert werden. Die heute üblichen und mit entsprechenden Kosten verbundenen Emissionsgrenzwerte liegen bei etwa 83 dBA, bezogen auf die gesamte Anlage.

Der Kabinenboden dient immer auch der Strahlmittelkonzentration auf einen oder mehrere Punkte zwecks Rückführung und Wiederverwendung. Die Rollfreudigkeit der Kugeln erlaubt Bodenneigungen unter 15° , es können also 10 m^2 Bodenfläche aufweisende Kabinen ohne bauseitige Fundamentgruben gebaut werden bei Werkstückauflage-Höhen von $1,0 \text{ m}$ über Flur.

Kabinen müssen noch verschiedenen Anforderungen genügen und ausgerüstet sein mit: Beschickungstüren, Beobachtungsfenster, je nach Kabinengrösse zusätzliche Türen für Werkzeugeinstellung und allgemeine Zugänglichkeit. Es sind Zuluft- und Abluftöffnungen vorhanden mit Umlenkblechen zur Austrittsverhinderung von Strahlmittel. Zuluftseitig sind immer auch Schalldämpfer vorzusehen. Möglichst von aussen zugänglich befinden sich auf dem Dach und teilweise auch seitlich die Beleuchtungskörper. Die Stützkonstruktion für die Fahreinrichtung ist oft Teil des Kabinenskelettes. Sollen Werkstücke mit dem Kran eingebracht werden, so sind im Kabinendach Öffnungen vorzusehen mit Klappen- oder Schieberverschluss. Der Innenraum ist gegen Verformungserscheinungen und Beschädigungen zu schützen. Bewährt haben sich $2 \div 5 \text{ mm}$ dicke PVC- oder PUR-Platten, welche direkt an die Wände geklebt oder auch vorgehängt werden. Der Strahlraumboden wird meist durch Roste gebildet, um insbesondere bei grösserer Kabinen eine gute Begehbarkeit zu ermöglichen.

WERKSTÜCKAUFNAHME

Jedem Werkstück ist eine werkstückspezifische Trag- und Aufnahmevorrichtung beizustellen. Diese wird auf die maschineneigene Baugruppe abgesetzt. Letztere kann sein im einfachsten Falle der Bodenrost selbst, oder aber ein Drehtisch, ein Einfahrwagen, Einfahrwagen mit Drehtisch, eine liegende oder stehende Horizontalfahreinrichtung.

Die Gewichtskraft der Werkstücke ist meist wesentlich unterhalb derer der Aufnahmevorrichtungen. In der Praxis dürften sich die gesamten Kräfte meist zwischen 100 und 1000 daN bewegen. Eine Werkstückbewegung soll der variablen und teils grossen Kräfte wegen möglichst nur für Beschickung und Bereichserweiterung angewendet werden. Als Ausnahme hiezu können im Strahlprozess kontinuierlich drehende, horizontal liegende Drehtische betrachtet werden. Diese als B-Achse bezeichnete Bewegung erfordert Drehzahlen zwischen $0,2$ bis 2 Umdrehungen pro Minute.

DÜSENBEWEGUNG

Räumliche Düsenbewegungen werden meist in 3 aufeinander senkrecht stehende lineare Bewegungen x-y-z zerlegt. Zusätzliche Schenkbewegungen der Strahlpistolen können notwendig sein, bringen aber einen erheblichen technischen Aufwand. Als Führungselemente haben sich bis $1,5 \text{ m}$ Weg vor allem geschlossene, über $1,5 \text{ m}$ offene Kugelbüchsen bewährt. Während für die Antriebe anfänglich Hydraulikzylinder und Hydraulikmotoren mit Kugelspindel verwendet wurden, sind heute vermehrt permanent-erregte Gleichstrommotoren und teilweise Schrittmotoren, immer je über Kugelspindeln, im Einsatz. Damit lassen sich die erforderlichen Fahrgeschwindigkeiten von $0,08$ bis 8 m/Minute relativ leicht erreichen. Bei Fahrwegen über 4 m Länge wird die Kugelspindel meist durch einen offenen Zahnriemen ersetzt. Üblicherweise beträgt die Auflösung linear $1,0 \text{ mm}$ und 1 Grad bei drehenden Achsen. Soll die Maschine auch zur Vermessung der behandelten Stücke Verwendung finden, so werden oft Wiederholungsgenauigkeiten von $0,1 \text{ mm}$ und $0,1$ Grad gefordert. Bei kleinen Anlagen ist dies mit erhöhtem technischen Aufwand möglich, ohne wesentliche Änderungen des Grundkonzeptes.

STRAHLSYSTEM

Als Strahlsystem verstehen sich alle Einrichtungen zwischen dem drucklos zur Verfügung stehenden Strahlmittel bis zu seinem Aufprallen auf das zu behandelnde Werkstück. Für hohe spezifische Leistungen kommt vor allem das Druckstrahlsystem in Frage. Diskontinuierlich arbeitende Anlagen unterscheiden sich im Prinzip wenig von den seit der Einführung der Strahlverfahrenstechnik bekannten Geräten. Um jedoch kontinuierlich und mit relativ wenig Strahlmittel arbeiten zu können, eignet sich ganz besonders der im folgenden beschriebene Aufbau.

Da die Gravität die günstigste Strahlmitteltransportkraft darstellt, bauen solche Geräte immer relativ hoch bei mässigem Grundflächenbedarf, eine Tatsache, welche schon frühzeitig bei der Aufstellungsplanung zu berücksichtigen ist. Oben beginnend mit dem Strahlmittelspeicher findet sich an dessen Auslauf ein Materialabsperrschieber gefolgt von einem Sitzventil als Bestandteil einer Druckschleuse.

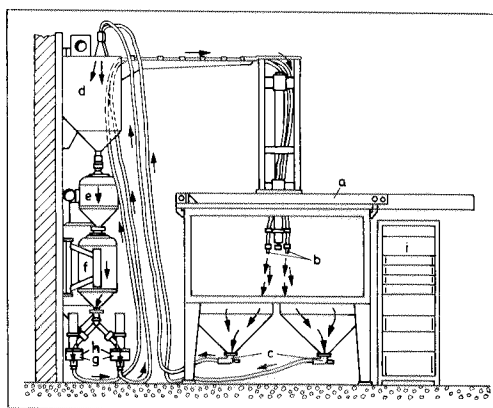


Abb. 2 Strahlmittelkreislauf der Anlage
gemäss Abb. 1

- a Kabine mit x-y-z-Fahrmöglichkeit
- b Strahldüsen mit Halterung
- c Rückförderung im Injektorprinzip
- d Strahlmittelspeicher
- e Druckschleuse
- f Druckbehälter
- g Dosiereinrichtung
- h Durchsatz-Massemessung
- i Bedienstand mit Befehls- und Messeinrichtungen

Ein weiteres Sitzventil im Auslauf der Schleuse dient als Absperrung für den nun folgenden Druckbehälter. An dessen unterem Ende finden sich 1 bis maximal 6 Abgänge entsprechend der erforderlichen Düsenanzahl. Für diesen als Strahlmittelkolonne bezeichneten Gerätesatz sind noch Belüftungs- und Entlüftungsventile erforderlich sowie meist induktiv messende Füllstand-Grenzschalter. Alle Ventile sind pneumatisch kolbengesteuert über eine Magnetventilbatterie, erregt aus einem elektronischen Steuergerät mit mehreren Zeitabläufen. Die abhängig vom Verbrauch in Intervallen erfolgende Strahlmitteldurchschleusung erfolgt bei sorgfältiger Auslegung ohne störende Druckschwankungen. Die nun nachgeschaltete Dosiereinheit für jede Düse besteht im Wesentlichen aus einer mechanisch zwangsweise arbeitenden Austragsvorrichtung, angetrieben von einem ferngesteuerten Gleichstrommotor. Die Durchsatzmenge ist fast linear drehzahlabhängig und von sehr guter Reproduzierbarkeit. Die Durchsatzmasse-Messung erfolgt direkt anschliessend über einen induktiven Geber, gefolgt von einem Absperrventil und der Mischkammer. Hier wird das Strahlmittel vom querfliessenden Strahl Druckluftstrom aufgenommen und über den Strahlschlauch zur Düse geführt. Die das Verfahren kennzeichnende Beschleunigung erfolgt dann nach bekannten Gesetzen in der Strahldüse selbst, um den gewünschten Strahleffekt zu erzielen. Der Messwert der Masseüberwachung ebenso wie der Strahl Druck können digital abgelesen werden und auch als Ausgang für Schreiber und Rechner zur Anwendung kommen. Der Strahl Druck wird von der Bedienungsstation pneumatisch ferngesteuert oder über ein vorgewähltes Register elektrisch abgerufen. Alle Düsen sind im Gesamtbetrieb jederzeit einzeln zu- oder abschaltbar und dank automatischen Zeitabläufen ohne gefährliche Intensitätsspitzen.

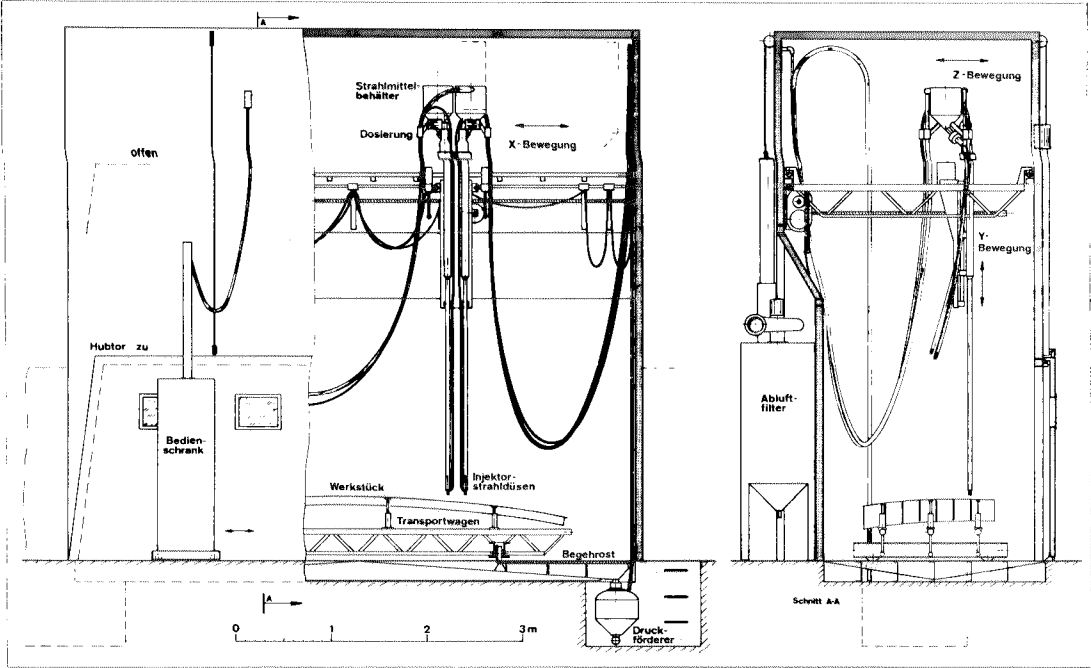


Abb. 3 Gravitations-Injektorstrahlanlage für Integralteile

STRAHLMITTELRÜCKFÖRDERUNG UND ENTSTAUBUNG

Darunter versteht man die Rückförderung des Strahlmittels aus der Kabine zurück in den Speicher, möglichst mit zwischengeschalteter Entstaubung. Zur Anwendung kommt vorzugsweise Mitteldruck-Flugförderung bestehend aus Förderdüse, Transportschlauch und Zyklonabscheider. In Sonderfällen und vor allem bei unüblich grossen Strahlkugeln von 3 bis 15 mm haben sich intervallmässig arbeitende Druckförderer bewährt. Mechanisch arbeitende Förderer sind meist wartungsanfälliger. Für hohe Ansprüche an Staubfreiheit wird ein Kaskaden-Querstromsichter eingebaut; erst dann gelangt das Strahlmittel in den Speicher über die Strahlmittelkolonne. Mit Ausnahme des arbeitenden Strahlsystems sind alle Anlagenteile auf einem geringen Unterdruck zu halten, um jeglichen Staubaustritt zu vermeiden. Ein zusätzlicher Staubfilter oder Anschluss an ein vorhandenes Abluftsystem ist in jedem Falle vorzusehen. Als Abluftmenge muss mit einem Mehrfachen der anfallenden Strahl Druckluft gerechnet werden mit Berücksichtigung des Luftanteils aus der Förderung.

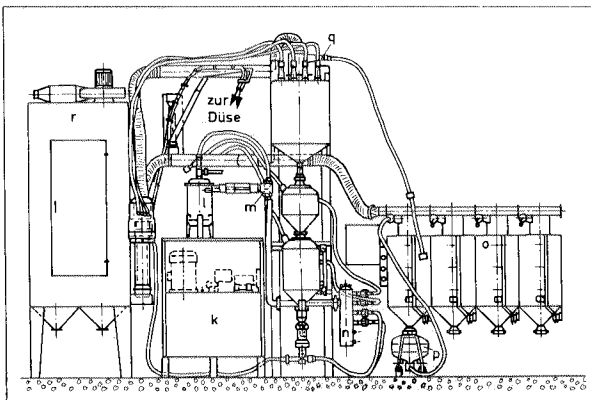


Abb. 4 Aggregateebene der Anlage gemäss Abb. 1

- k Hydraulikanlage für die Düsenfahreinrichtung und Drehtisch
- l Druckluftentfeuchtung
- m Druckminderventil
- n Druckluftverteiler
- o Auswahlilos
- p Mobiler Druckförderer
- q Zyklonabscheider
- r Abluft-Trockenfilter

STRAHLMITTELBEREITSTELLUNG

Der Anwender der Oberflächenverfestigungsanlagen – und auch in ähnlichem Masse von Umformanlagen – wird oft konfrontiert mit den Spezifikationen von Strahlmitteln bezüglich Kugelgrößenbereich, erlaubte und unerlaubte nicht kugelige Formen, Standzeiten, Durchläufe und anderes mehr. Oft erfordern gleiche oder verschiedene Werkstücke in der gleichen Anlage unterschiedliche Kugelgrößen.

Um solchen Ansprüchen, vor allem auch im Gedanken an Wirtschaftlichkeit, gerecht zu werden, sind sogenannte Strahlmittelbereitstellungsanlagen entwickelt worden. Diese bestehen aus verschiedenen Lagersilos für Roh-, Gut- und Schlechtmaterial, einer Umlagerungseinrichtung und einer Klassifizierstation. Strahlmaschinen und Silos sowie andere Stationen können in freier Wahl über Schlauchleitungen mit speziellen Sicherheitskupplungen verbunden werden. Ein Druckförderer sorgt für den Austausch des Materials. Ein erprobtes pneumatisch-elektrisches Sicherheitssystem gewährt höchstmöglichen Unfallschutz.

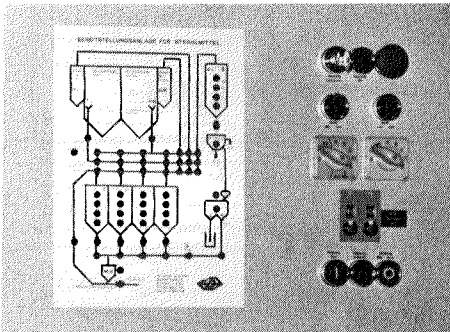


Abb. 5 Bedienstation für Strahlmittelbereitstellung

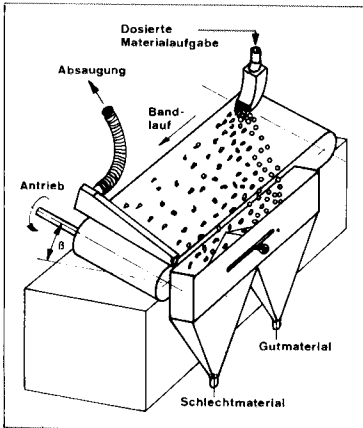


Abb. 6 Formsortierung

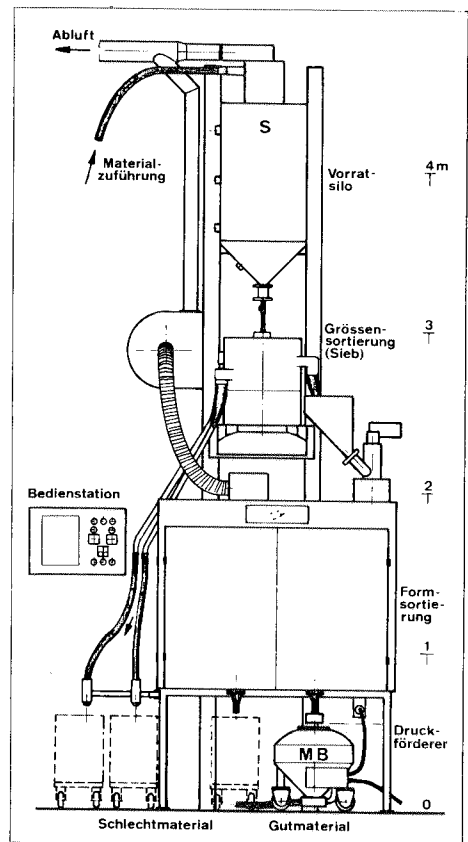


Abb. 7 Klassifizierstation

Die Klassifizierstation besteht immer aus Vorratssilo, Grössen- und Formsortiermaschine. Letztere vorzugsweise als Mehrfach-Schrägbändergerät mit verfahrenstechnisch bedingtem niedrigem Durchsatz, aber hoher Genauigkeit. Solche Stationen können unbeaufsichtigt im Dauerbetrieb arbeiten. Nebst dem Gutanteil fallen an: Übergrosse Kugeln, zu kleine Kugeln, unzulässige Formen, Schrott und Verschmutzungen. Tägliche Kontrollen mögen die Zuverlässigkeit solcher Hilfsanlagen bestätigen.

MASCHINENSTEUERUNG

Steuerungsmässig besteht eine Umformanlage aus einem Bereitstellungsteil und einem strahlparameterbeeinflussenden Teil. Ersterer ist maschinenspezifisch und bedient das Strahlssystem, die Strahlmittelrückförderung, Strahlmittelbereitstellung, Ventilation und weiteres Zubehör. Trotz relativ geringem Verknüpfungsgrad hat sich die Anwendung von elektronischen Bausteinsystemen und ebenso freiprogrammierbaren Systemen gegenüber der konventionellen Relaistechnik als wirtschaftlicher erwiesen.

Sehr komplex und vor allem auch anwendungsspezifisch ist der Steuerungsteil für die Strahlparameterbeeinflussung. Es umfasst dies die Strahlmittelmenge und -beschleunigung mit Dosierung und Strahlrückenruck als Stellglieder. Die Verfahrenssysteme für Düsen und Werkstück in räumlich verschiedenen Richtungen, verschiedenen Strecken und verschiedenen Geschwindigkeiten. Sehr einfache Umformarbeiten können wohl noch erledigt werden mit den bei Verfestigungs-Strahlanlagen üblichen Einrichtungen. Hier werden Wegstrecken und Winkelteilungen sowie Hubanzahl an Vorwahlzählern eingegeben und eine gewisse Ablaufverknüpfung programmiert. Eingegebene Werte für Druck, Menge und Geschwindigkeiten bleiben für den entsprechenden Prozessablauf konstant.

Anspruchsvolle Umformaufgaben können nur unter Anwendung von CNC-Technik erfüllt werden. Während maschinenbauseitig eigentlich alle Baugruppen genügend ausgereift verfügbar sind, lässt die Steuerungstechnik noch viele ganz verschiedene Möglichkeiten zu. Zu erwähnen ist die teach-in Methode. Mit Erfahrung und manuellem Geschick werden Teile halbautomatisch bearbeitet, ausgemessen und korrigierend nachbehandelt. Der Vorgang wird gleichzeitig immer reproduzierbar abgespeichert und auf die üblichen Datenträger eingelesen. Weitere gleiche Werkstücke können dann im automatischen Ablauf bearbeitet werden. Es wird auch versucht, die Aufgaben rechnerisch zu erfassen und dann die Maschine direkt ab Datenträger arbeiten zu lassen.

Der Käufer und Anwender solcher Anlagen ist diesbezüglich zum heutigen Zeitpunkt immer noch mitbestimmend. In den wenigsten Fällen ist es dem Maschinenbauer möglich, mit der Anlage dem Kunden zugleich ein werkstückspezifisches Know-How vermitteln zu können. Erst die Zukunft wird zeigen, wie weit sich diese neuere Technologie überhaupt im allgemeinen Produktionsgeschehen etablieren kann.

VERDANKUNGEN

Die Optimierung solcher Anlagen, wie dargestellt in diesem Artikel, wäre nicht möglich gewesen ohne Zusammenarbeit mit dem Institut für bildsamer Formgebung der RWTH D-Aachen. Dank gebührt dem dortigen Direktor, Prof. Dr. Ing. R. Kopp und dessen wissenschaftlichen Assistenten, Dipl. Ing. K.P. Hornauer für deren Interesse an diesem Spezialgebiet. Dank gebührt auch der Deutschen Lufthansa AG in D-Hamburg mit Ing. G. Schönherr, deren Qualitätsforderungen und Anregungen den heutigen Stand, vor allem auch im Kugelstrahlanlagenbau, bewirkte.