

Ersetzt Ausgabe April 2004

Inhalt:

- 1 Einleitung
- 2 Begriffe
- 2.1 Steuerungen
- 2.2 MMS – Mensch-Maschine-Schnittstelle
- 2.3 Achsen
- 2.4 Interpolieren
- 2.5 Update Rate / Interpolationstakt
- 2.6 Satz-Zyklus-Zeit
- 2.7 Schleppfehler
- 2.8 K_V -Fehler
- 2.9 Look ahead
- 2.10 Teach in
- 2.11 Fugensuche offline, online
- 2.12 Vektorisierung
- 2.13 CNC-Programm
- 2.14 Parametrische Programmierung
- 2.15 Prozessbeobachtung lichtoptisch / elektronenoptisch
- 3 Einsatzmöglichkeiten für SPS- bzw. CNC-Steuerungen
- 4 Praktische Beispiele
 - 4.1 Steuern der Vakuumeinrichtungen
 - 4.2 Optimierung der Kathodenheizung
 - 4.3 Schnelleres Ermitteln von Schweißeinzeldaten
 - 4.4 Schweißen bei Werkstückbewegung in X- und Y-Richtung
 - 4.5 Schweißen mit Fugensuchsystem und/oder „teach in“
 - 4.6 Vektorisierung der Strahloszillation
- 5 Programmierung der Koordinatenachsen
- 6 Schrifttum

1 Einleitung

Elektronenstrahl-Schweißmaschinen werden wie Werkzeugmaschinen mit digitalen Steuerungen (SPS, CNC) ausgerüstet. Die Aufgabe der SPS besteht darin, Parameter nach einem vorgegebenen Programm zu steuern (z. B. Strahlstromsteuerung beim Schweißen von Rundnähten) oder Schaltvorgänge in der Maschine zu automatisieren (z. B. Pumpensteuerung). Darüber hinaus sind heute CNC-Steuerungen durch Verkettungen verschiedener Systeme in der Lage, das Führen des Elektronenstrahles, das Bewegen des Werkstückes sowie das Überwachen des Schweißablaufes und der Maschinenfunktionen zu übernehmen. Zusätzlich wird das schnelle und genaue Messen, Steuern, Regeln und Überwachen zahlreicher Parameter ermöglicht. Mit Hilfe geeigneter Schnittstellen sind beide Steuerungen in der Lage, digitale und analoge Signale zu verarbeiten. Mit dem vorliegenden Merkblatt sollen dem Fertigungsingenieur die Einsatzmöglichkeiten von speicherprogrammierbaren und computernumerischen Steuerungssystemen aufgezeigt werden.

2 Begriffe

Es werden die zum Zeitpunkt der Überarbeitung aktuellen Begriffsregelungen berücksichtigt, z. B. Oszillation anstelle von Pendelung. Der Arbeitsabstand A_W ist der Abstand zwischen der Werkstückoberfläche und einem vom Anwender festzulegenden Bezugspunkt an der Elektronenstrahl-Schweißmaschine (üblich ist die Ebene des Strahlaustritts am Generator).

Diese Veröffentlichung wurde von einer Gruppe erfahrener Fachleute in ehrenamtlicher Gemeinschaftsarbeit erstellt und wird als eine wichtige Erkenntnisquelle zur Beachtung empfohlen. Der Anwender muss jeweils prüfen, wie weit der Inhalt auf seinen speziellen Fall anwendbar und ob die ihm vorliegende Fassung noch gültig ist. Eine Haftung des DVS und derjenigen, die an der Ausarbeitung beteiligt waren, ist ausgeschlossen.

2.1 Steuerungen**2.1.1 SPS – Speicherprogrammierbare Steuerungen**

SPS ist die Abkürzung für speicherprogrammierbare Steuerungen (engl. PLC: Programmable Logic Controller), die als Ablauf- bzw. Logiksteuerungen arbeiten. Die SPS steuert (koordiniert) und überwacht u. a. die Evakuierung, die Medien-Versorgung (Druckluft und Kühlwasser), die Hochspannungs-Versorgung, die Magnetstrom-Versorgung sowie unveränderbare Bewegungsabläufe wie Tür- oder Paletten-Bewegungen. Bei Takt-Maschinen oder Schweißprozessen mit einfachen Konturverläufen können SPS-Steuerungen auch Bahninterpolationen ausführen, sodass in diesem Fall eine CNC-Steuerung entfallen kann.

2.1.2 CNC – Computerisierte numerische Steuerung

CNC ist die Abkürzung für Computerized Numerical Control (computerisierte numerische Steuerung). Sie wird in erster Linie für das Steuern einer großen Zahl von einander abhängigen elektrischen und mechanischen Achsen eingesetzt. Hauptaufgaben einer CNC sind die Steuerung der Relativbewegung zwischen Werkzeug (Elektronenstrahl) und Werkstück sowie die Vorgabe von Sollwerten für den EB-Prozess (Strahl-Leistung, Strahl-Fokus, u. a.) anhand eines editierbaren CNC-Programms. CNC-Programme werden in der Regel nach DIN 66025-1 und -2 programmiert und arbeiten sequenziell.

2.2 MMS – Mensch-Maschine-Schnittstelle

Als Mensch-Maschine-Schnittstelle (engl. HMI: Human-Machine Interface) kommen in zunehmendem Maße Touch-Displays zum Einsatz. In Kombination mit Tastatur, Maus/Trackball und funktionsabhängigen Bedienelementen ermöglichen sie das Beobachten von Maschinenzuständen, das Bedienen und Programmieren von Prozessen sowie das Protokollieren von Prozessabläufen. Sie bieten oftmals die Möglichkeit der Ferndiagnose.

2.3 Achsen

Unter Achsen versteht man ganz allgemein elektrisch ansteuerbare, kontinuierlich veränderbare Systemgrößen.

Man unterscheidet:

- mechanische Achsen
 - wie lineare Bewegung in X-, Y-, Z-Richtung oder Drehbewegung um A-, B- oder C-Achse und
- elektrische Achsen
 - wie Bewegung des Fokus (Brennfleck) in Z-Richtung und Strahlableitung in X- und Y-Richtung sowie die Größen von Strahlstrom, Hochspannung usw.

2.4 Interpolieren

Interpolieren heißt Ermitteln von Zwischenwerten. Interpolieren ist erforderlich, wenn zum Beispiel eine kreisförmige Bewegung des Werkstückes durch X-Y-Bewegungen polygonartig zusammengesetzt wird, aber auch, wenn verschiedene Achsen, beispielsweise mechanische und elektrische, voneinander abhängig gesteuert werden.

2.5 Update Rate bzw. Interpolationstakt

Update Rate ist in einer CNC die Taktzeit, in der die Soll- und Istwerte der Parameter miteinander verglichen und gegebenenfalls geregelt werden. Bei Elektronenstrahlmaschinen muss die Update Rate dem Schweißprozess mit seiner hohen Schweißgeschwindigkeit und hohen Anforderung an die Bahn- und Positioniergenauigkeit besonders angepasst sein, um zum Beispiel Konturfehler zu vermeiden.

2.6 Satz-Zyklus-Zeit

Die Satz-Zyklus-Zeit drückt den Zeitaufwand des Rechners zum Lesen und Interpretieren eines Befehls aus. Sie muss kürzer als die Zeit zum Ausführen des Befehls sein, um das Anhalten der Steuerung während des Schweißvorganges zu vermeiden.

2.7 Schleppfehler

Der Schleppfehler ist bei Werkstückbewegungen die Abweichung vom mechanischen Bahnsoll- zum Bahnistwert.

Er kann durch simultane Strahlablenkung vollständig eliminiert werden (Schleppfehler-Kompensation).

2.8 K_V -Fehler

Der K_V -Fehler drückt bei Werkstückbewegungen das Verhältnis von Bahngeschwindigkeit zum Schleppfehler aus und ist ein Maß für die Maschinendynamik.

2.9 Look ahead

Der Begriff „look ahead“ tritt bei CNC-Steuerungen auf und stellt eine begrenzte Vorverarbeitung von Befehlen dar, um die Programmausführung der Maschinendynamik anzupassen.

2.10 Teach in

Unter „teach in“ wird die Datenübernahme im Schweißprogramm durch abschnittswises Abfahren und Übernehmen der Koordinaten der Schweißfuge verstanden.

2.11 Fugensuche offline, online

Diese Begriffe werden bei Fugensuchsystemen benutzt und bedeuten:

- offline:
Der Elektronenstrahl tastet in einem gesonderten Arbeitsgang vor dem Schweißen die Fuge ab und übernimmt die Koordinaten in den Speicher. Diese Systeme dienen zur Kompensation von Positionierfehlern, Maßabweichungen, Magnetfeldern.
- online:
Der Elektronenstrahl tastet während des Schweißens die Fuge ab. Diese Systeme können zusätzlich einen während des Schweißens entstehenden Verzugs erfassen und korrigieren.

2.12 Vektorisierung

Vektorisierung ist im Steuerprogramm die Möglichkeit, bei gekrümmten Nähten (zum Beispiel Rundnähten) den Winkel zwischen der Richtung der Strahloszillation und der Tangente der Nahtfuge an der Schweißstelle konstant zu halten oder beliebig zu steuern.

2.13 CNC-Programm

Ein CNC-Programm ist eine Folge von Programmsätzen, in denen die Bearbeitungsschritte durch Bewegungsangaben und Prozessparameter-Angaben mit festen Zahlenwerten für Wege, Strahlintensität, Geschwindigkeit usw. vorgegeben sind.

2.14 Parametrische Programmierung

Bei parametrischen Programmen ist der Ablauf der Bearbeitung ebenfalls durch die Programmierung festgelegt, jedoch können hier für die Achsen- und sonstigen Bewegungsangaben statt fester Zahlenwerte Variablen angegeben werden.

Diese Variablen werden vor ihrem Aufruf mit den gewünschten Zahlenwerten belegt.

Damit ist es möglich, mit dem gleichen Programm, aber verschiedenen Parameterbelegungen unterschiedliche Bearbeitungen auszuführen. Ein einfaches Beispiel hierfür ist das Schweißen von Radialnähten mit gleichem Außendurchmesser, aber unterschiedlichen Schweißstiefen.

Hierbei wird es notwendig sein, die Strahlintensität und die Bahngeschwindigkeit der jeweiligen Schweißtiefe anzupassen. Die Werte für diese beiden Größen werden vor dem eigentlichen Bearbeitungsprogramm in zwei Parameter eingegeben.

Im eigentlichen Bearbeitungsprogramm werden dann für die Strahlintensität und die Geschwindigkeit keine bestimmten Werte, sondern jeweils die Variablen-Namen angegeben, die den entsprechenden Wert enthalten.

Bei einer Änderung der Werkstückdicke müssen nun im Bearbeitungsprogramm nicht mehr an vielleicht mehreren Stellen die Werte für Strahlintensität und Geschwindigkeit geändert werden, sondern es genügt, die am Anfang des Programms stehenden zwei entsprechenden Variablen mit anderen Werten zu belegen.

Ein weiterer Vorteil der parametrischen Programmierung ist die Möglichkeit, mit den Variablen mathematische Berechnungen auszuführen. Es ist z. B. möglich, Positionen, Längen, Winkel usw. zu berechnen oder mithilfe von logischen Entscheidungen den Ablauf eines Programms zu verändern.

2.15 Prozessbeobachtung lichtoptisch / elektronenoptisch

Es kommen Einrichtungen zur Werkstück- und/oder Prozess-Beobachtung zum Einsatz. Unterschieden wird zwischen lichtoptischen und elektronenoptischen Einrichtungen:

- Lichtoptische Einrichtungen ermöglichen die Beobachtung über Spiegel-/Linsen-Systeme und wahlweise Okular mit Augensucherlinse oder CCD-Kamera. Die lichtoptische Beobachtung ist möglich vor, während und nach dem Schweißen – auch bei geöffneter Kammer.
- Bei elektronenoptischen Einrichtungen werden mit dem Verfahren eines REM (Raster-Elektronen-Mikroskop) Aufnahmen der Werkstück-Oberfläche erzeugt und an einem Monitor dargestellt. Die elektronenoptische Beobachtung ist nur möglich bei evakuierter Kammer und mit einem aktivierten (niedrigen) Strahlstrom.

Einsatzmöglichkeiten für SPS- bzw. CNC-Steuerungen

Entsprechend der gewählten Ausbaustufe können die Steuerungen folgende Aufgaben übernehmen:

Betriebsvoraussetzungen der Schweißmaschine

- Zustandserfassung und Überwachung der mechanischen, elektrischen und vakuumtechnischen Einrichtungen,
- Störmeldungen, Fehlerdiagnose,
- Einlaufprogramm für das Werkstück,
- Schweißbereitschaft (Hochlaufprogramm),
- Auslaufprogramm für das Werkstück.

Werkstück

- Erfassen der Werkstückposition,
- Steuern und Regeln der Werkstückbewegung, Bahn und Geschwindigkeit, über Drehvorrichtung, Arbeitstisch usw. (auch mehrdimensional).

Schweißen

- Manuelle Sollwerteingabe, zum Beispiel Beschleunigungsspannung, Strahlstrom, Linsenstrom, Strahloszillation, Strahlpulsen, slope-up und -down,
- Eingabe von Schweißprogrammen,
- Steuern und Regeln der Parameter U_B , I_S , I_L usw.,
- Parametererfassung beim Schweißen, d. h. des Istwerts, unabhängig vom Sollwert,
- Parameter-Soll-Ist-Wert-Vergleich und Online-Korrektur,
- Parameterspeicherung und -dokumentation,
- Parameterabruf für Wiederholungsschweißungen.