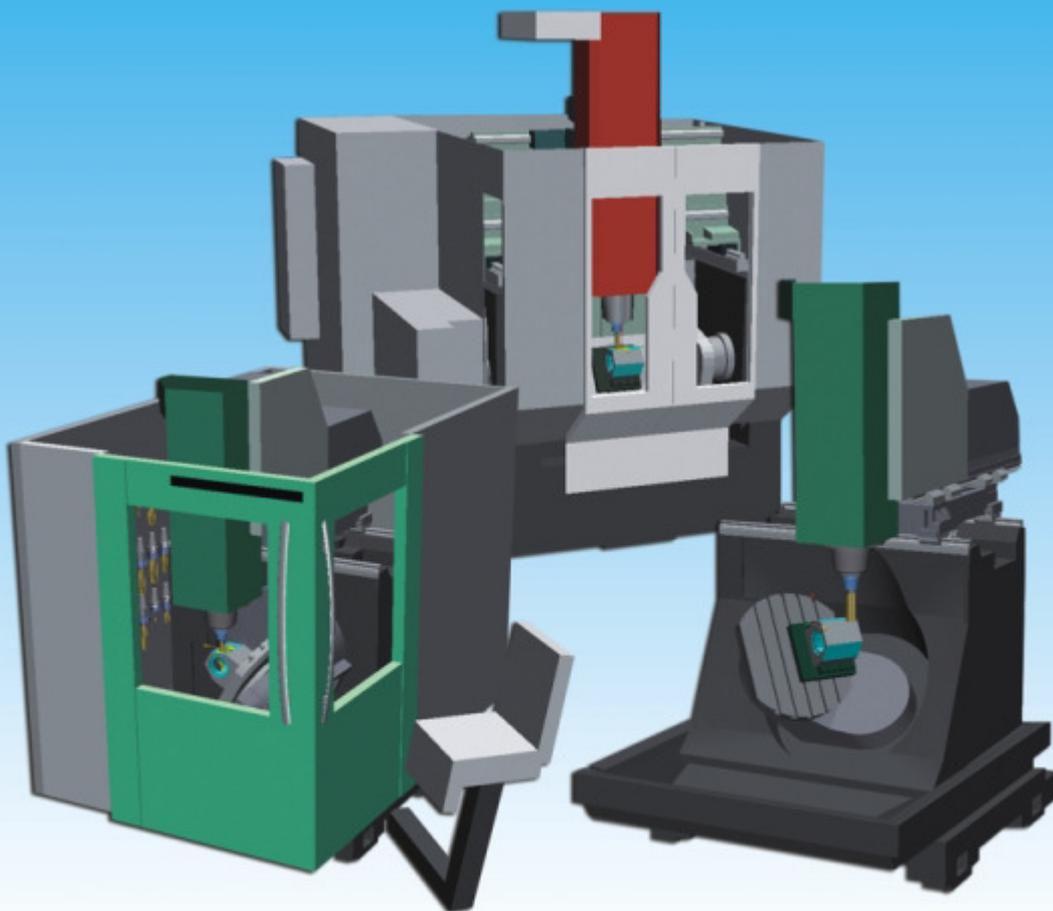


MATHEMATISCH TECHNISCHE
SOFTWARE-ENTWICKLUNG GMBH

TopMill



Programmieranleitung
PAL2019-Mill - Basics

Programmieranleitung
PAL2019-Mill - Basics

Copyright © MTS Mathematisch Technische Software-Entwicklung GmbH 2019-2022
Kaiserin-Augusta-Allee 101 • 10553 Berlin • Germany • +49/30/349 960-0

Alle Rechte vorbehalten.

DIN: Deutsche Industrie Norm, Verbandzeichen des Deutschen Instituts für Normung e. V.

ISO: International Organization for Standardization

PAL: IHK Region Stuttgart, PAL - Prüfungsaufgaben- und Lehrmittelentwicklungsstelle

PAL2019 - Was ist neu?	5
Vereinheitlichung der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen	6
Erweiterungen beim Fräsen und neue Zyklen der PAL2019-Befehlskodierungen.....	7
Erweiterungs-Software-Pakete	8
Allgemeine Grundlagen	9
Koordinatensysteme	10
Maschinenbezugspunkte	11
Maschinen-, Werkstück- und Werkzeugkoordinatensystem.....	12
Korrekturwerte und Radiuskorrektur	13
Grundsätzliches zur DIN-Programmierung.....	15
Behandlung von Adresswerten in der PAL2019-DIN-Programmierung	17
Programmierung der Koordinatenwerte.....	18
Programmierung der Werkzeugbewegungen	19
Allgemeine Erläuterungen zur PAL2019-Befehlskodierung	20
Allgemeine Erläuterungen.....	21
Selbthaltefunktionen und Vorbelegungen der Adressen	22
Programmierung der Koordinaten und Interpolationsadressen.....	23
Vorschubgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion	24
Werkzeug- und Spindeldrehzahl / Schnittgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion.....	25
Werkzeugwechsel	26
Zusatzfunktionen der Programmierung mit Selbsthaltefunktion bzw. Schaltfunktion.....	28
Wegbedingungen Drehen nach DIN 66025.....	30
Technologieprogrammierung bei den Wegbedingungen.....	32
Spezielle Satzelemente	33
Einschaltzustand	34
Festlegungen für die Syntaxbeschreibung	35
Elementare Befehle nach DIN 66025	36
G0 - Linearinterpolation im Eilgang	38
G1 - Linearinterpolation im Vorschub	40
G2 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn	43
G3 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn.....	46
G4 - Verweildauer	49
G5 - Werkzeugverschleiß	50
Schwesterwerkzeuge.....	51
G6 - Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt	52
G9 - Genauhalt	54
G10 - Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten	55
G11 - Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten	57
G12 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten.....	59
G13 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten	61
G14 - Werkzeugwechsellpunkt anfahren.....	63
G17/G18/G19 - Kreisbogen-Interpolationsebenen	65
G22 - Unterprogrammaufruf.....	66
G23 - Programmteiwiederholung	68
G29 - Programmsprung	69
G40 - Abwahl der Fräserradiuskorrektur	70
G41/G42 - Anwahl der Fräserradiuskorrektur.....	71
Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an die Kontur	74
G45 - Lineares tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur.....	76
G46 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis.....	78
G47 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis	80
G50 - Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen.....	82
G51 - Einstellbare Nullpunkte setzen	83
G52 - Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten	84
G53 - Maschinennullpunkt	86
G54-G57 - Einstellbare Nullpunkte	87
G58 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung.....	88
G59 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung.....	90
G61 - Linearinterpolation für Konturzüge.....	93
G62 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge	95
G63 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge.....	98
G66 - Spiegeln	101

G67 - Skalieren	102
G70 - Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)	103
G71 - Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)	104
G90 - Absolutmaßangabe	105
G91 - Kettenmaßangabe	106
G94 - Vorschub in Millimeter pro Minute	107
G95 - Vorschub in Millimeter pro Umdrehung	108
G96 - Konstante Schnittgeschwindigkeit	109
G97 - Konstante Drehzahl	110
PAL2019-Bearbeitungszyklen.....	111
Generelle Erweiterungen bei allen PAL2019-Taschen- & Freistellzyklen	112
Generelle Erweiterungen bei allen PAL2019-Taschen- & Freistellzyklen	113
G24 - Modale Adressen für Fräszyklen	114
G34 - Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren	116
G35 - Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus	118
G36 - Restmaterial-Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus	120
G37 - Schlichttechnologie des Konturtaschenzyklus	123
G38 - Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus	126
G39 - Abschluss Konturtaschenzyklus	128
G48 - Gravieren	130
G49 - Konturfräszyklus	132
G69 - Mehrkantzyklus	135
G72 - Rechtecktaschenzyklus	138
G73 - Kreistaschenzyklus	143
G74 - Nutenzyklus	147
G75 - Kreisbogennutzenzyklus	151
G76 - Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter	155
G77 - Mehrfachzyklus auf einem Teilkreis.....	157
G78 - Zyklusaufwurf auf einem Punkt in Polarkoordinaten	159
G79 - Zyklusaufwurf auf einem Punkt	161
G80 - Zyklusabschluss.....	162
G81 - Bohrzyklus	163
G82 - Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch.....	164
G83 - Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren	166
G84 - Gewindebohrzyklus.....	168
G85 - Reibzyklus.....	169
G86 - Ausdrehzyklus.....	170
G87 - Bohrfräszyklus	171
G88 - Innengewindefräszyklus	173
G89 - Außengewindefräszyklus.....	175
Bearbeitungsebenen	177
G15 - Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebenenwahl	178
G15 IP0 - Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung	179
G15 IP1-IP4 - Rundachs-Interpolation kartesischer Koordinaten auf Stirnseiten und abgewinkelten Mantelflächen - Allgemeiner Fall.....	181
G15 IP5 - Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl mit kartesischem Koordinatensystem	183
G15 IP5 - Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenwahl	184
G15 IP5 - Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenwahl.....	186
G15 IP5 - Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenwahl.....	188
G15 IP5 - Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene.....	191
G15 IP5 - Basis- und Zustellvektor zur Ebenenwahl	193
G16 - Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse.....	195
Parameterprogrammierung und Systemparameter	197
Parameterprogrammierung.....	198
Systemparameter.....	199
Rechenoperationen.....	200
Mathematische Funktionen.....	201
Arithmetische und logische Ausdrücke.....	203
weitere Programmiermöglichkeiten	205
Geometrieprogrammierung.....	206

Konturzugprogrammierung mit G61, G62 und G63.....	208
Befehlsübersicht	210
Syntaxübersicht	213

PAL2019 - Was ist neu?

Was ist neu beim Drehen und Fräsen in den PAL2019-Programmierrichtlinien?

Die Erweiterungen und Veränderungen der PAL2019-CNC-Programmierrichtlinien gegenüber den Versionen von 2007 sind eine notwendige Anpassung an die Anforderungen von Industrie 4.0. Der aktuell mehr denn je notwendige wirtschaftliche Erfolg des Industrie 4.0-Konzepts ist auf das engste mit der erfolgreichen Einführung von Industrie-Standards verbunden. Industriestandards sind die wichtigste Grundlage für Flexibilität in der Fertigung und Steigerung der Produktivität. Ein aktuelles Beispiel ist der ISO 13399 Standard für die CNC-Werkzeugbeschreibung.

Für die PAL2019-Programmierrichtlinien ergeben sich daraus die Anforderungen:

- Standardisierung der NC-Programmierung von Drehen mit angetriebenen Werkzeugen und Fräsen
- Erweiterungen beim Fräsen:
 - Zyklus-Erweiterungen bei Taschen und Einstichen
 - Neue Zyklen
 - Integration der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung (HSC) in allen Taschenzyklen
 - Punkt-Richtungsprogrammierung für Werkstückhandhabung & Freiformflächen-Bearbeitung
- Erweiterungen beim Drehen und neue Zyklen
- Erweiterte Parameterprogrammierung
- Qualitätskontrolle durch In-Prozess-Messen mit Messtastern
- Werkstückhandhabung mit Industrierobotern und Mehrkanalprogrammierung

-
- | |
|--|
| • Vereinheitlichung der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen |
| • Erweiterungen beim Fräsen und neue Zyklen der PAL2019-Befehlskodierungen |
| • Erweiterungs-Software-Pakete |

Vereinheitlichung der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen

Im CNC-Bereich bleibt die PAL an der engen Anlehnung an die DIN 66025 folgt aber den internen Standardisierungsbemühungen der CNC-Steuerungshersteller hin zu einer einheitlichen Programmierung für Drehen und Fräsen in einer CNC-Steuerung mit Schnittstellen zu Produktionssystemen, der verstärkten Integration der In-Prozess-Qualitätskontrolle und der Werkstückhandhabung. Dieser Entwicklungstrend entspricht auch dem der CNC-Bearbeitungszentren hin zu einem universellen Maschinentyp der Drehen und Fräsen gleichermaßen unterstützt. Ein 5-achsiges Fräsbearbeitungszentrum mit C-Achse im Maschinentisch kann die C-Achse als rotierende Werkstückspindel wie ein vertikales Drehbearbeitungszentrum benutzen und die Steuerung stellt für diese Anwendung dann alle Drehzyklen zur Verfügung. Mit einer A- oder B-Achse unter der C-Achse zur Schrägstellung des Werkstücks können auch lange Drehwerkstücke mit Drehwerkzeugen in der Fräs-Werkzeugspindel bearbeitet werden.

Die 5-Achs-Fräsbearbeitung in Drehbearbeitungszentren mit leistungsfähigen Frässpindeln, die eine vollwertige Fräsbearbeitung gestatten, gibt es schon viel länger. In diesem Trend liegt auch die zunehmende Ausstattung der Drehmaschinen mit Y-Achsen und Werkzeugspindeln mit B-Achse.

Im Zuge dieser Angleichung der Dreh- und Frässteuerungen musste daher die Fräsbearbeitungsebenenwahl in der PAL-Drehsteuerung an das Fräsen angepasst und in Angleichung an die CNC-Industriesteuerungen beide PAL-Steuerungen dabei auch um eine Nullpunktverschiebung erweitert werden. Eine weitere sinnvolle Ergänzung durch diese Angleichung ergibt sich beim Fräsen durch die Übernahme der Mantelflächenprogrammierung vom Drehen (z.B. mit einem NC-Teilapparat), die in dieser Form in der PAL-Frässteuerung nicht möglich war.

Diese Vereinheitlichung ist der wichtigste Schritt in dem Zusammenführen von Drehen und Fräsen in den PAL2019-Befehlskodierungen zu einer einheitlichen CNC-Programmierung.

Erweiterungen beim Fräsen und neue Zyklen der PAL2019-Befehlskodierungen

Zyklus-Erweiterungen bei Taschen

Die Taschenzyklen wurden um das Anbringen von Fasen und Ansetzen von Stufen sowie um das Vermessen der Zyklusgeometrie mit Messtastern erweitert. Über eine Programmablaufsteueradresse können z.B. nacheinander alle Zyklen zum Schruppen, Schlichten, Ansetzen von Stufen, Fasen und zum Vermessen mit unterschiedlichen Werkzeugen ausgeführt werden. Damit wird das auch das automatische Entgraten in einem weiteren Programmdurchlauf als Anforderung der Komplettbearbeitung mit berücksichtigt. Die Rechtecktasche wurde durch einen Rechteckzapfen ergänzt. Die Mehrfachzyklus-Aufrufe wurden erweitert auf ein regelmäßiges Aufrufpunktgitter mit zwei Gitterweiten und Winkelvorgaben mit der Auswahlmöglichkeit aller Gitterpunkte oder nur der Berandung und entsprechend wurde der Aufruf mit Kreis-/Kreisbogen-Teilungspunkten auf mehrere Bögen mit äquidistantem Abstand erweitert.

Neue Fräs-Zyklen der PAL2019-Befehlskodierungen

Als neue Zyklen kam der Mehrkant-Freistellzyklus G69, das Gravieren von Texten G48 und ein Konturfräszklus G49 mit Zustellungen, Aufmaßen sowie An- und Abfahrbedingungen hinzu.

Integration der Hochgeschwindigkeitsbearbeitung

Eine wesentliche Steigerung in der Produktivität hat sich in den letzten Jahren durch die zunehmend eingesetzte Hochgeschwindigkeits-Bearbeitung (HSC) mit trochoidalen Frässtrategien ergeben (sehr hohe Schnittgeschwindigkeiten und damit auch sehr hohe Vorschübe kombiniert mit Zustellungen $a_e=0.01$ bis 0.05 und $a_p= 2$ bis 5 und sogar noch höher). Die HSC-Bearbeitung wurde als Erweiterung in alle PAL-Taschenzyklen mit aufgenommen.

Punkt-Richtungsprogrammierung für Freiformflächen-Bearbeitung

Die Bearbeitung von 3D-Oberflächen auf 5-achsigen Bearbeitungszentren mit Punkt-Richtungsprogrammierung, bei der zu der 3D-Bewegungskontur des Werkzeugs zusätzlich auch eine Werkzeugrichtung mit einem Richtungsvektor programmiert wird, ist ein heute im CAM-Bereich eingeführter Standard. Ohne die Berechnungsalgorithmen des CAM-System sind diese Werkzeugbahnen nicht berechenbar, aber das Verfahren an sich muss in der Ausbildung behandelt werden. Das genaue Positionieren der Roboterhand kann ebenfalls mit Punkt-Richtungsprogrammierung erfolgen, in dem mit dem Greifer eine Position mit einer Richtung angefahren wird und z.B. zum Greifen des Werkstücks eine weitere Bewegung in der gleichen Richtung erfolgt.

Erweiterungs-Software-Pakete

In-Prozess-Messen und Erweiterte Parameterprogrammierung bei Drehen & Fräsen

Der PAL2007-Befehl G29 kann durch IF-Abfragen der Form 'IF ... GOTO' oder 'IF ... THEN' für logische Ausdrücke mit den sechs üblichen Vergleichsoperatoren ersetzt werden. Mit der Bedingung 'WHILE ... DO!' können Wiederholungsschleifen bis 'END!' programmiert werden. Mit dem Zugriff auf Systemparameter und Benutzerparameter können mit dem Makrobefehl G65 benutzereigene Zyklen programmiert werden.

Qualitätskontrolle durch In-Prozess-Messen mit Messtastern

Die PAL-Steuerungen wurden um einen elementaren Messzyklus mit Messvorschub und schnellem Positioniervorschub sowie einen Messtaster-Kalibrierzyklus ergänzt. Damit können Einzelmessungen und mit dem Makrobefehl G65 auch spezielle eigene Messzyklen programmiert werden. Für Standardmessungen wurde eine Messzyklusbibliothek mit G8 vorgegeben, die im Umfang den Messbibliotheken der beiden führenden Messtaster-Hersteller entspricht.

So kann zum Beispiel der Werkstücknullpunkt mit einem Standard-Messzyklus bestimmt werden und mit dem Befehl G51 dieser Nullpunkt als ein Einstellbarer Nullpunkt übernommen werden oder bei Abweichungen der Ist-Maße von den Soll-Maßen können daraus Verschleißkorrekturwerte berechnet und mit G5 gesetzt werden.

Für die Qualitätskontrolle sind die Zyklen mit einer speziellen Aufrufadresse um das In-Prozess-Messen der Zyklusgeometrie erweitert. Die Messergebnisse können in Parametern für weitere Berechnungen abgespeichert werden.

Werkstückhandhabung mit Industrierobotern und Mehrkanalprogrammierung

Die Programmierung eines Handhabungsroboters erfolgt in einem weiteren Kanal der Maschinen-CNC-Steuerung und setzt daher die Mehrkanalprogrammierung voraus. Der Vorteil dieses sich als Industrie-Standard etablierenden Vorgehens bei der Werkstückhandhabung ist, dass erstens der Roboter in der gleichen NC-Programmiersprache wie die CNC-Maschinesteuerung programmiert wird und zweitens die Kommunikation zwischen Maschine und Roboter über die Steuerungs-Synchronisation und Parameter erfolgen kann. Für das Teachen der Handhabungsroboter-Achsen gibt es Sonderbearbeitungsebenen. Diese Lerninhalte lassen sich dann unmittelbar auch auf das Programmieren von Mehrrevolver-Drehmaschinen übertragen.

Allgemeine Grundlagen

- Koordinatensysteme
- Maschinenbezugspunkte
- Maschinen-, Werkstück- und Werkzeugkoordinatensystem
- Korrekturwerte und Radiuskorrektur
- Grundsätzliches zur DIN-Programmierung
- Behandlung von Adresswerten in der PAL2019-DIN-Programmierung
- Programmierung der Koordinatenwerte
- Programmierung der Werkzeugbewegungen

Koordinatensysteme

Die Programmierung nach DIN 66025 hat in allen Bearbeitungsebenen (auch beim Drehen) ein dreidimensionales kartesisches Koordinatensystem als Grundlage, das in der Reihenfolge seiner aufeinander senkrecht stehenden Koordinatenachsen ein Rechtssystem bildet. Die Bezeichnungen der Koordinatenachsen sowie die Bewegungs- und Drehrichtungen sind in der DIN 66217 festgelegt. Für ein dreidimensionales Koordinaten-Rechtssystem ist die sogenannte Rechte-Hand-Regel erfüllt.

Für die Bearbeitung wird ein XYZ-Koordinaten-Rechtssystem und die durch zyklische Achsvertauschung entstehenden YZX- und ZXY-Koordinaten-Rechtssysteme mit ihren drei Koordinatenachsen unterschiedlich aufgeteilt in eine zweidimensionale Bearbeitungsebene mit den Koordinaten der jeweils ersten und zweiten Geometrieachse XY oder YZ oder ZX (auch Haupt- und Nebenachse genannt) sowie der jeweils verbleibenden dritten Geometrieachse als Zustellachse für Fräs- und Bohrbearbeitungen.

Für das XYZ-Koordinatensystem und die durch zyklische Achsvertauschung gebildeten YZX- und ZXY-Koordinatensysteme, die sämtlich Rechtssysteme sind, wird zur Festlegung der positiven Drehrichtung um eine Koordinatenachse mit Hilfe dieser drei Koordinatensysteme für die jeweilige Zustellachse (die dritte Koordinatenachse) die positive Drehrichtung und der Richtungs-Nullpunkt wie folgt festgelegt: Die erste Koordinatenachse (Hauptachse) wird mit dem kürzeren Winkelweg in die zweite Koordinatenachse (Nebenachse) gedreht und der Drehwinkelnulppunkt in Richtung der ersten Koordinatenachse festgelegt (mathematisch positive Drehorientierung).

Die Drehachsen der Drehungen um die Achsen X, Y, Z mit der so definierten Drehrichtung werden mit A, B und C bezeichnet. Merkhilfe zur Drehrichtung: Rechtsgewinde: Eine in einer Achse mit dem Kopf in negativer Achsrichtung eines Rechtssystems liegende Schraube mit Rechtsgewinde bewegt sich bei einer Rechtsdrehung (Drehung im positiven Drehsinn) in positiver Achsrichtung.

Jeder Koordinatenachse kann eine Maßeinheit zugeordnet werden. Im metrischen Maßsystem ist dies in der Regel die Einheit Millimeter (mm) für jede der Koordinatenachsen. Nur bei der Drehbearbeitung wird jedoch für die X-Achse üblicherweise die Einheit Durchmesser in Millimetern (2mm) verwendet. Dies gilt jedoch nicht für die Fräsbearbeitungsebenen G17 und G19 bei der Bearbeitung mit angetriebenen Fräs Werkzeugen.

Die drei möglichen Rechtssysteme werden nach DIN 66025 angewählt mit

G17	Bearbeitungsebene X Y	Zustellachse Z
G18	Bearbeitungsebene Z X	Zustellachse Y
G19	Bearbeitungsebene Y Z	Zustellachse X

Bei Fräsmaschinen verwendet man im allgemeinen G17 und bei Drehmaschinen G18. Eine Zustellachse kommt beim Drehen nur bei der Bearbeitung mit angetriebenen Werkzeugen mit Hilfe der C-Achs-Interpolation der Y-Achse oder einer realen Y-Achse in G17 oder G19 vor.

Maschinenbezugspunkte

Damit die Koordinatenangaben des NC-Programms von der Maschinensteuerung in die korrekte Bewegung des Werkzeuges umgesetzt werden können, besitzt die Werkzeugmaschine als Bezugssystem das Maschinenkoordinatensystem. Zu diesem gehören die folgenden Bezugspunkte:

Maschinennullpunkt

Dieser wird vom Maschinenhersteller festgelegt und kann nicht verändert werden.

Bei einer Drehmaschine liegt er generell in X auf der Drehachse und in Z im Spindelflanschkegel.

Bei einer Fräsmaschine liegt er heute meist im oberen Wert des Zustellachsverfahrbereichs (bei älteren Maschinen oft auf dem Maschinentisch) und in einer Ecke des horizontalen Verfahrbereichs.

Werkzeugbezugspunkt

Die Angaben der Wegstrecken zum Verfahren des Werkzeuges werden von der Steuerung auf den Werkzeugbezugspunkt bezogen. Dieser befindet sich Abhängigkeit von der maschinenspezifisch vorgegebenen Werkzeugansetznorm in der genormten Werkzeugansetzposition (z.B. VDI, SK, HSK).

Werkzeugschneidenpunkt

Werkzeugkorrekturwerte

Um jedoch die Zielposition für die Werkzeugspitze berechnen zu können, müssen von der Steuerung für jedes Werkzeug noch eine sogenannte Längen- und Radius-Korrekturwerte aktiviert werden, welche unter anderem die Abstände zwischen Werkzeugbezugspunkt und Werkzeugschneidenpunkt in allen Achsrichtungen und einen Werkzeugradius für die Schneidenradius-/Fräserradius-Kompensation eines Werkzeugs festlegen.

Werkstücknullpunkt

Ein beim Einrichten festgelegter Werkstücknullpunkt (intern werden diese auf den Maschinennullpunkt bezogen) kann ausgewählt und mit Nullpunktverschiebungsbefehlen beliebig weiter verschoben werden. Sinnvoll ist es, ihn so zu wählen, dass er mit dem Maßbezugspunkt (Nullpunkt) der Werkstückzeichnung zusammenfällt und somit Umrechnungen der Koordinatenangaben entfallen.

Maschinen-, Werkstück- und Werkzeugkoordinatensystem

Bei der Programmierung einer CNC-Werkzeugmaschine gibt es mit diesen Bezugspunkten als Ursprung drei Koordinatensystemtypen:

- **Maschinenkoordinatensystem** zur Programmierung maschinenfester Anfahrpositionen (Werkzeugwechsellpunkte, Be- und Entladestationen)
- **Werkstückkoordinatensystem** zur Programmierung der Bearbeitungsbewegungen des Werkzeugs am Werkstück in absoluten Koordinaten
- **Werkzeugschneidenpunktkoordinatensystem** zur Programmierung der Bearbeitungsbewegungen des Werkzeugs inkrementell zu seiner aktuellen Position

Das Maschinen- oder Werkstückkoordinatensystem kann vom NC-Programm aus angewählt und im Fall des Werkstückkoordinatensystems auch durch Verschiebungen und Drehungen verändert werden.

Das Werkzeugschneidenpunktkoordinatensystem - im folgenden nur Werkzeugkoordinatensystem - ist ein in die jeweils aktuelle Werkzeugschneidenpunktposition verschobenes Werkstückkoordinatensystem.

Korrekturwerte und Radiuskorrektur

Korrekturwerte

Die Steuerung bezieht alle programmierten Koordinaten zunächst auf den Werkzeug Bezugspunkt an der Anschlagfläche der Werkzeugaufnahme. Aufgrund der unterschiedlichen Geometrie der Werkzeuge ist die Lage des Werkzeugschneidpunktes (theoretische Schneidenspitze) zum Werkzeugbezugspunkt unterschiedlich. Zur Berechnung der Verfahrswege müssen daher die Abstände zwischen Werkzeugschneidpunkt und Werkzeugbezugspunkt für jedes Werkzeug bekannt sein. Diese Differenzwerte werden als Werkzeugkorrekturwerte werkzeugspezifisch in sogenannten Korrekturwertspeichern abgelegt. Wird in einem NC-Programm ein Werkzeugwechsel ausgeführt, so muss dabei auch ein zugehöriger Korrekturwertspeicher angewählt werden, damit die Werkzeuggeometrie bei der Berechnung der Verfahrswege berücksichtigt wird. Zu den gespeicherten Geometriedaten des Werkzeugschneidpunktes gehören u.a.:

- der gerichtete Abstand in Z vom Werkzeugbezugspunkt
- der gerichtete Abstand in X vom Werkzeugbezugspunkt
- der gerichtete Abstand in Y vom Werkzeugbezugspunkt zur Einstellung der Spitzenhöhe bei speziellen Aufnahmen mit vorhandener Y-Achse (Schneidenwechsel mit Y)
- der Schneidenradius
- der Arbeitsquadrant bzw. der Schneidenkorrekturvektor

Schneidenkorrekturvektor

Die Steuerung berechnet die Verfahrswege bezogen auf den Werkzeugschneidpunkt als eine theoretische Schneidenspitze. Real besitzt die Werkzeugschneide an ihrer Spitze jedoch einen Radius von einigen Zehntelmillimetern bis hin zur kreisförmigen Werkzeugschneide, so dass die theoretische Schneidenspitze außerhalb der Werkzeugschneide liegt.

Damit die Steuerung das Zentrum des zum Schneidenradius gehörigen Schneidenkreises für die Schneidenradiuskompensation berechnen kann, wird der Werkzeugschneidpunkt als theoretische Schneidenposition für jedes Werkzeug mit einem Schneidenkorrekturvektor (SRK-Vektor) ergänzt. Der SRK-Vektor gibt die Position des Werkzeugschneidpunktes in X- und Z-Richtung vom Zentrum des Schneidenkreises aus an. Der SRK-Vektor wird in der Werkzeugverwaltung für jedes Werkzeug festgelegt.

Quadranten

Der zur Vereinfachung verwendete Quadrant entspricht speziellen SRK-Vektoren:

Für Standardfälle der vier Z- und X-Achsrichtungen und den zugehörigen vier Winkelhalbierenden kann der SRK-Vektor alternativ über die üblichen 8 Werkzeug-Quadranten festgelegt werden. Die Verwendung der Quadranten ist in der Praxis üblich, obwohl nicht alle auftretenden Fälle abgedeckt werden.

Schneidenradiuskompensation SRK

Während der Bearbeitung ändert sich der real schneidende Punkt (oder der konturerzeugende Punkt) an der Wendeplatte in Abhängigkeit von der Bewegungsrichtung des Werkzeugs.

Die Steuerung verwendet bei der Berechnung der Verfahrswege den Werkzeugschneidpunkt als die vermessene theoretische Schneidenspitze und bewegt diesen auf der programmierten Kontur. Für die Bewegungen des Werkzeugs, die nicht parallel zur X- oder Z-Achse verlaufen, ergeben sich aufgrund des Schneidenradius dann bei nicht achsparallelen Strecken Maß- und bei Kreisbögen Formabweichungen.

Bei Anwahl der Schneidenradiuskompensation wird mit dem Schneidenradius eine äquidistante Werkzeugmittelpunktsbahn berechnet. Mit Hilfe des Quadranten oder des SRK-Vektors wird der Werkzeugschneidpunkt (theoretische Werkzeugschneidenspitze) auf den Mittelpunkt des

Schneidenradiuskreises verschoben und dieser auf der Äquidistanten bewegt. Je nach Bearbeitungsrichtung und Innen- oder Außenbearbeitung wird die Bearbeitungskontur mit der Schneidenradiuskompensation nach links (G41) oder nach rechts (G42) kompensiert.

Man beachte bei vormittiger Bearbeitung: Die Festlegung der Bearbeitungsseite 'links' oder 'rechts' von der Kontur bezieht sich auf die Relativbewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück in der Bearbeitungsebene betrachtet in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden dritten Koordinatenachse (3. Geometrieachse oder Zustellachse).

Korrekturwertspeicher Fräswerkzeuge / Korrekturwerte

Auch hier bezieht die Steuerung die programmierten Koordinaten zunächst auf den Werkzeugbezugspunkt an der Anschlagfläche der Werkzeugaufnahme. Die Korrekturwerte geben hier entsprechend den Abstand des Werkzeugbezugspunktes zu dem zentrisch in dem Fräserboden oder der Bohrerspitze liegenden Werkzeugschneidenpunkt an. Dabei entspricht die Fräserlängenkorrektur bei radial stehenden Werkzeugen dem X-Werkzeugkorrekturwert und bei axial stehenden Werkzeugen dem Z-Korrekturwert der Drehwerkzeuge. Der zweite Korrekturwert entsteht durch den (bei Fräsmaschinen entfallenden) Versatz der Fräswerkzeugachse vom Werkzeugbezugspunkt.

Für die Fräserradiuskompensation enthält der werkzeugspezifische Korrekturwertdatensatz den Fräserradius anstelle des Schneidenradius.

Grundsätzliches zur DIN-Programmierung

NC-Programmstruktur

Ein NC-Programm besteht aus Sätzen, den NC-Sätzen - auch NC-Befehle genannt.

Ein NC-Satz besteht aus Worten, den NC-Worten. Die Reihenfolge der NC-Worte in einem NC-Satz hat keine Bedeutung.

Ein NC-Wort besteht aus einer NC-Adresse mit einem direkt daran anschließenden zugehörigen Adresswert. Adressen müssen stets mit einem Adresswert programmiert werden.

Die Adresse selbst besteht aus einem oder mehreren (großen) Buchstaben und der Adresswert aus einer positiven oder negativen Dezimalzahl mit Dezimalpunkt oder einer Festkommazahl. Für Sonderbefehle aus der Weiterentwicklung der CNC-Steuerungen gibt es auch abweichend von der DIN 66025 Schlüsselwörter wie z.B. 'TURN'.

Beispiel NC-Satz mit 6 Worten:

Wort	Wort	Wort	Wort	Wort	Wort
N245	G1	X100.5	Z-50.75	F0.05	M8
Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert	Adr. Wert

Adressen werden den Koordinaten, Drehwinkeln, Radien und den technologischen Steuerdaten zugewiesen. Diese Zuordnung ist bei Steuerungen in der Regel nicht eindeutig, sondern hängt vom Kontext des NC-Satzes ab.

Die NC-Sätze eines NC-Programms werden nach den syntaktischen Regeln der Programmieranleitung gebildet, die auf modernen Steuerungen wie der vorliegenden PAL2019-Steuerung bei den Bearbeitungszyklen weit über die DIN 66025 hinausgehen.

Nur in besonders ausgewiesenen Ausnahmefällen kann eine Adresse in einem NC-Satz zweimal oder sogar dreimal programmiert werden.

Wegbefehle

Eine Sonderstellung nimmt die Adresse G der Wegbefehle und Steueranweisungen ein, da mit dieser Adresse der eigentliche Inhalt eines NC-Programmsatzes festgelegt wird. Der ganzzahlige positive Wertevorrat der G-Adresse ist von der DIN 66025 in neun Gruppen eingeteilt. Die G-Adresse kann mit Werten aus einigen aber unterschiedlichen Gruppen zweimal in einem NC-Satz programmiert werden, wenn in der Programmieranleitung nichts Gegenteiliges angegeben ist (siehe Gruppeneinteilung).

Satznummerierung

Zur besseren Übersicht und Strukturierung können die NC-Sätze mit einer Satznummer N als erstes Wort versehen werden. Diese Satznummern können auch als Sprungmarken bei Programmteilwiederholungen und Programmverzweigungen verwendet werden.

Die Programmierung einer Satznummer ist aber nicht notwendig und die Satznummern müssen auch nicht in aufsteigender Reihenfolge programmiert werden - wenn auch beides dringend zu empfehlen ist. Der NC-Editor bietet die Möglichkeit, ein NC-Programm mit Startsatznummer und Nummerninkrement mit aufsteigender Nummerierung umzunummerieren, wobei Sprungmarken im NC-Programm automatisch mit geändert werden.

Modale Befehle

Modal nennt man programmierte Adressen die selbsthaltend sind, d.h. sie bleiben solange über mehrere NC-Sätze wirksam, bis sie durch die Adresse und einem anderem Adresswert überschrieben werden. Satzweise wirksame Adressen hingegen gelten nur für den Satz, in dem sie stehen.

Modal sind z.B. die Wegbefehle und die Adressen, die Spindeldrehzahl, Vorschub, Drehrichtung, Werkzeug und Achskoordinaten festlegen. Da sie bis zu ihrer Veränderung wirksam bleiben, brauchen sie nur einmal programmiert zu werden. Man bezeichnet diese Eigenschaft auch mit selbsthaltend.

Obligate und optionale NC-Adressen

Zu einem NC-Satz oder NC-Befehl gehören meistens mehrere Adressen. Die Adressen sind in Abhängigkeit von dem programmierten Wegbefehl zu unterscheiden nach denen, die immer programmiert werden müssen - also obligatorisch sind - und denjenigen, die wahlweise programmiert werden können also optional sind. Ferner gibt es Adressen, die grundsätzlich zusammen programmiert werden müssen oder solche, die nur alternativ zueinander angegeben werden dürfen.

Die optionalen Adressen sind dann entweder selbsthaltend (modal) auf ihrem alten Adressenwert oder es gibt für sie eine interne Voreinstellung (Vorbelegung), wie es mit den meisten Adressen der Bearbeitungszyklen der Fall ist.

Behandlung von Adresswerten in der PAL2019-DIN-Programmierung

Die Adressen der Wegbefehle G0/G1/G2/G3 und der Zyklen können in mehrere Gruppen eingeteilt werden. Adressen müssen stets mit einem Adresswert programmiert werden.

1. Selbsthaltende oder modale Adresswerte und Schaltzustände

Kartesische Koordinaten X, Y, Z, inkrementelle Kreismittelpunktkoordinaten I, J, K. Die Selbsthaltefunktion bedeutet intern, dass der inkrementelle Koordinatenwert für alle diese Adressen null ist.

Bei Nicht-Bewegungsbefehlen und Bearbeitungszyklen werden diese Adressen auch zur Eingabe verwendet. In diesen Fällen wird die Selbsthaltefunktion dieser Adressen nicht verwendet und umgekehrt überschreibt der programmierte Wert nicht den modalen Wert.

Die über die Standard-DIN-Programmierung hinausgehenden Erweiterungen der Geometrie-Programmierung mit zusätzlichen Geometrieadressen, wie Winkel, Längen, ... erfordern, dass die Selbsthaltefunktion in den Koordinaten X, Y, Z in geometrisch überbestimmten Situationen nicht verwendet werden kann.

Technologiewerte und Schalt-Zustände G70/G71, G90/G91, G94/G95, G96/G97, F, S, T, M (M auch mehrfach). Diese Adressen behalten ihren Wert bis dieser überschrieben oder durch eine Umrechnungsfunktion G94/G95 oder G96/G97 verändert wurde. Diese die Technologie betreffenden Werte müssen wegen des Einschaltzustandes F0 und S0 vom Programmierer mindestens einmal programmiert werden.

2. Optionale Beschreibungs- oder Steueradressen zur Festlegung des Zyklus- und Programmverhaltens

Die obligaten Adressen, die mit einem Adresswert programmiert werden müssen, werden hier nicht betrachtet.

Diese optionalen Adressen haben eine Vorbelegung (Vorgabe- oder auch Default-Wert), der verwendet wird, wenn diese Adresse in einem NC-Satz oder Zyklusaufwurf nicht programmiert wurde.

3. Sonderfälle von Optionalen Adressen

Optionale Adressen ohne Vorlegung werden in einem NC-Satz ignoriert, wenn sie nicht programmiert wurden. Ausnahme: Wird T aber nicht TC programmiert, so erhält ein nicht programmiertes TC die Vorbelegung 1.

Es gibt Adressen mit denen interne Daten verändert werden und bei denen eine Nicht-Veränderung dem Vorgabewert null entspricht.

Beispiel sind die Korrekturwertmanipulationen TR, TX, TY, TZ für das Werkzeug T und den Korrekturwertspeicher TC, bei denen die Eingabe von T*0 keine Veränderung bedeutet.

Die Selbsthaltefunktion von T ist gegeben, da ein anderer Wert einem Werkzeugwechsel gleichkommen würde. Beim Programmieren von T wird auch TC neu gesetzt. Der Vorgabewert von TC ist TC1 (T ohne TC erzeugt TC1 bei neuem oder aktuellen WZ T).

Programmierung der Koordinatenwerte

Die Programmierung der drei Koordinatenachsen erfolgt mit den jeweiligen Koordinaten-Adressbuchstaben, denen der Koordinatenwert als Adresswert angehängt wird.

Zur Erleichterung der Programmierung können die Achswerte wie folgt programmiert werden:

absolut	d.h. bezogen auf den Nullpunkt des Werkstückkoordinatensystems
inkrementell	zur aktuellen Werkzeugposition, d.h. bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition als den Nullpunkt des Werkzeugkoordinatensystems (Kettenbemaßung)

Die Unterscheidung erfolgt nach DIN 66025 durch die Umschaltbefehle:

G90	Absolute Koordinateneingabe mit Anwahl des Werkstückkoordinatensystems
G91	Inkrementelle Koordinateneingabe mit Anwahl des Werkzeugkoordinatensystems

Inkrementelle Koordinateneingaben beziehen sich immer auf das Werkzeugkoordinatensystem in der aktuellen Werkzeugposition, wenn es nicht explizit anders angegeben ist.

Die absolute Programmierung wird man verwenden, wenn in der Werkstückzeichnung die Maße auf einen Werkstücknullpunkt bezogen sind. Alternativ zur Absolutbemaßung kann auch eine Kettenbemaßung mit den Angaben jeweils des Abstandes zweier benachbarter Punkte verwendet werden. In diesem Fall bietet sich die Verwendung der inkrementellen Koordinateneingabe an.

Die Anforderung, die Koordinatenachswerte auch gemischt absolut und inkrementell zu programmieren, wird erfüllt mit alternativen Achsadressen mit einem angehängten A für absolute und einem angehängten I für inkrementelle Koordinateneingaben:

X / Y / Z	Koordinateneingaben absolut oder inkrementell gesteuert durch G90/G91
XA / YA / ZA	Absolute Koordinateneingaben im Werkstückkoordinatensystem
XI / YI / ZI	Inkrementelle Koordinateneingaben im Werkzeugkoordinatensystem

Die Kreismittelpunktskoordinaten werden in den Bearbeitungsebenen mit den X, Y, Z zugeordneten Mittelpunktsadressen I, J, K programmiert, die inkrementell einzugeben sind. Für die Programmierung absoluter Kreismittelpunktskoordinaten wird diesen Adressen ein A angehängt:

I / J / K	Zur Werkzeugposition am Startpunkt des Kreisbogens inkrementelle Kreismittelpunktskoordinaten des Werkzeugkoordinatensystems (bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition)
IA / JA / KA	Absolute Kreismittelpunktskoordinaten im Werkstückkoordinatensystem

Unterschieden zwischen Drehen und Fräsen

Beim Drehen werden nach DIN/ISO-Standard die absoluten Koordinaten in X-Richtung XA, G90 X im Durchmessermaß und die inkrementellen Koordinaten XI, G91 XI im Radiusmaß programmiert. In der PAL-Drehsteuerung kann dies jedoch beim Bearbeitungsebenenaufruf durch Programmierung von DIA oder RAD geändert bzw. vorgegeben werden.

Programmierung der Werkzeugbewegungen

Für die Werkzeugbewegungen im Maschinenraum gibt es eine Linearinterpolation in allen drei Koordinatenachsen. In speziellen Bearbeitungsebenen können die Dreh/Schwenkachsen als zu diesen mitlaufende oder allein verfahrbare Achsen programmiert werden.

In der Bearbeitungsebene gibt es als weitere Bewegungsform eine Kreisbogeninterpolation in den beiden Bearbeitungsebenenachsen (1. und 2. Geometrieachse). Für die Kreisbögen sind neben Endpunktkoordinaten noch weitere Adressen zu programmieren, z.B. zwei der zu X, Y, Z gehörigen Mittelpunktsadressen I, J, K oder Winkelangaben.

Die Festlegung der Drehrichtung 'Uhrzeigersinn' oder 'Gegenuhrzeigersinn' bezieht sich auf die Relativbewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück in der Bearbeitungsebene betrachtet in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden dritten Koordinatenachse (3. Geometrieachse oder Zustellachse).

Für Freiformanwendungen bieten Steuerungen auch eine Spline-Interpolation an, die wegen des Berechnungsaufwandes nicht mehr manuell programmiert werden kann und deshalb in die PAL-Befehlskodierung nicht aufgenommen wurde.

Allgemeine Erläuterungen zur PAL2019-Befehlskodierung

- Allgemeine Erläuterungen
- Selbsthaltefunktionen und Vorbelegungen der Adressen
- Programmierung der Koordinaten und Interpolationsadressen
- Vorschubgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion
- Werkzeug- und Spindeldrehzahl / Schnittgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion
- Werkzeugwechsel
- Zusatzfunktionen der Programmierung mit Selbsthaltefunktion bzw. Schaltfunktion
- Wegbedingungen Drehen nach DIN 66025
- Technologieprogrammierung bei den Wegbedingungen
- Spezielle Satzelemente
- Einschaltzustand
- Festlegungen für die Syntaxbeschreibung

Allgemeine Erläuterungen

Führende Nullen können bei Adresswerten, speziell auch bei G- und M-Befehlen, weggelassen werden. Bei Koordinaten- und Winkelangaben kann auch das Pluszeichen entfallen. G- und M-Befehle sind vorzeichenlos.

Die Wiederholung einer NC-Adresse in einem NC-Satz ist nur für G, M und N (N bei Wiederholungen und Sprungbefehlen) zugelassen.

Winkelangaben erfolgen in Grad. Winkel in den Bearbeitungsebenen-Koordinaten eines dreidimensionalen Rechtssystems werden positiv entgegen dem Uhrzeigersinn und negativ im Uhrzeigersinn gemessen. Dabei zeigt der absolute Winkelwert null in die Richtung der positiven ersten Geometrieachse (d.h. Winkel werden prinzipiell bezüglich der Richtung der ersten positiven Geometrieachse gemessen).

Die Reihenfolge der Adressen in einem NC-Satz hat keine Bedeutung.

Selbthaltefunktionen und Vorbelegungen der Adressen

Die Programmierung eines Kreisbogens erfolgt in der jeweiligen Bearbeitungsebene mit den Achs-Adressen der ersten und zweiten Geometrieachse.

Für die Koordinaten ist die Selbsthaltefunktion bei der erweiterten Geometrie-Programmierung mit G1, G2 und G3 nur eingeschränkt gültig. Insbesondere ist die Programmierung eines Kreisbogens mit beiden Mittelpunktskoordinaten und nur einer Endpunktadresse möglich.

Bei Strecken und Kreisbögen wird die Selbsthaltefunktion der Ebenenkoordinaten nur dann herangezogen, wenn das Konturelement Strecke oder Kreisbogen durch die programmierten Adressen noch nicht vollständig bestimmt (d.h. berechenbar) ist.

Der selbsthaltende Wert einer Ebenenkoordinate wird als fehlende Geometrieadresse bei Strecken oder Kreisbögen zur Berechnung herangezogen, wenn die andere Ebenenkoordinate im NC-Satz programmiert wurde.

Ist ein Konturelement (Strecke oder Kreisbogen) durch die programmierten Adressen noch nicht bestimmt, ohne dass die Adresse einer Ebenenkoordinate programmiert wurde, so wird die Selbsthaltefunktion nur in beiden Ebenenkoordinaten gleichzeitig verwendet. Beim Kreisbogen mit Mittelpunktsprogrammierung wird dann ein Vollkreis abgefahren, beim Kreisbogen mit Radius und bei der Strecke entsteht eine Nullbewegung.

Bei der Konturzugprogrammierung mit G61 - G63 gibt es keine Selbsthaltefunktion bei den Adressen und Adresswerten der Koordinaten und geometrischen Parameter.

Die Werte der programmierten Adressen F, E, S, SK sowie die M-Zusatzfunktionen bleiben selbsthaltend bestehen, bis sie erneut verändert werden.

Vorbelegung einer Kreismittelpunktsordinate:

Die Adressen I, J, K der inkrementellen Kreisbogenmittelpunkte oder der Pole haben - wenn die Programmierung erlaubt ist und die entsprechende absolute Adresse nicht programmiert wurde - die Vorbelegung null.

Programmierung der Koordinaten und Interpolationsadressen

Die Koordinaten und Interpolationsadressen können entweder im Absolutmaß (G90), im Kettenmaß (G91) oder mit speziellen Adressen auch gemischt innerhalb eines NC-Satzes programmiert werden.

X / Y / Z	Koordinaten des Zielpunktes gesteuert durch G90/G91
XA / YA / ZA	Koordinaten des Zielpunktes in Werkstückkoordinaten (absolut)
XI / YI / ZI	Koordinaten des Zielpunktes inkrementell zur Startposition
I / J / K	Kreismittelpunkts/Pol-Adressen inkrementell zur Startposition (Koordinatendifferenz zwischen Kreismittelpunkt oder Pol und Startposition)
IA / JA / KA	Kreismittelpunkts/Pol-Adressen in Werkstückkoordinaten (absolut)

Die Maßeinheit Durchmesser- oder Radiusmaß der absoluten und der inkrementellen Koordinaten bei der Drehbearbeitung wird durch den programmierten Parameter DIA, RAD oder DRA beim Drehebeneaufruf G15 TURN festgelegt.

Vorschubgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion

F		<p>Die Vorschubgeschwindigkeit wird in Millimeter pro Minute (mm/min) oder in Millimeter pro Umdrehung programmiert.</p> <p>Die Umschaltung zwischen beiden Einheiten erfolgt mit G94 oder G95.</p>
E		<p>Zweiter Vorschub als Feinkonturvorschub und für Bearbeitungszyklen:</p> <p>Der Vorschub F wird auf den Feinkonturelementen Fase und Verrundung zwischen Strecken und Kreisbögen auf E abgeändert (i.a. verringert).</p> <p>Die Adresse E wird auch in Zyklen mit anderer Bedeutung als zweiter Vorschub verwendet.</p> <p>Wird in einem NC-Satz erstmalig die Adresse F ohne die Adresse E programmiert, so wird der Wert von E gleich dem von F gesetzt.</p> <p>Die Werte für F und E bleiben solange bestehen, bis sie erneut programmiert werden.</p>
FF	[F]	Vorschub Schlichten
FT	[*]	<p>Positioniervorschub für schnelle Taster-Bewegungen</p> <p><i>Voreinstellung: * Vorbelegung in G27</i></p>
FM	[*]	<p>Messvorschub</p> <p><i>Voreinstellung: * Vorbelegung in G27</i></p>

Werkzeug- und Spindeldrehzahl / Schnittgeschwindigkeit mit Selbsthaltefunktion

S		<p>Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit</p> <p>Die Spindeldrehzahl wird mit G97 in Umdrehungen pro Minute (U/min) oder mit G96 als Schnittgeschwindigkeit in (m/min) programmiert.</p> <p>Die Umrechnung der Schnittgeschwindigkeit in die Drehzahl benutzt beim Drehen die aktuelle X-Position des Werkzeuges und beim Fräsen den Durchmesser des Fräsers.</p> <p>Fräserradius-Manipulationen mit TR werden ignoriert.</p> <p>Der Wert von S bleibt solange bestehen, bis er erneut programmiert oder von der Steuerung gesetzt wird.</p>
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schichten

Werkzeugwechsel

T	[*]	Werkzeugnummer des einzuwechselnden Werkzeugs Bei Werkzeugwechslern mit Werkzeugmagazin wird der T-Befehl schon vor dem eigentlichen Werkzeugwechsel programmiert, um das angeforderte Werkzeug in der Auswechselposition zur Reduzierung der Werkzeugwechselzeit bereitzu stellen. Der eigentliche Wechselbefehl mit Korrekturwertschaltung erfolgt mit dem Befehl M6. <i>Voreinstellung: * Wird T aber nicht TC programmiert, so erhält ein nicht programmiertes TC die Vorbelegung 1.</i>
TC	[1]	Anwahl der Korrekturwertspeichernummer Es stehen 9 Korrekturwertspeicher TC1 bis TC9 für jedes Werkzeug zur Verfügung. TC0 - Abwahl der Korrekturwerte (Werkzeugsetzpunkt als Verfahrenspunkt)
TR	[0]	Inkrementelle Veränderung des Werkzeugradiuswertes im angewählten Korrekturwertspeicher für konturparallele Aufmaße. Man beachte: Bei Drehwerkzeugen zieht die Programmierung von TR implizit eine interne Veränderung von TZ und TX um den gleichen Wert TR nach sich auch wenn TZ, TX selbst nicht programmiert werden.
TX	[0]	Inkrementelle Veränderung des X-Korrekturwertes im aktuellen Korrekturwertspeicher
TY	[0]	Inkrementelle Veränderung des Y-Korrekturwertes im aktuellen Korrekturwertspeicher
TZ	[0]	Inkrementelle Veränderung des Z-Korrekturwertes im aktuellen Korrekturwertspeicher

Beim Dreh-Werkzeugen wird der Korrekturwert TY nur bei vorhandener Y-Achse und bei Fräs-Werkzeugen werden die Korrekturwerte TX, TY nur bei Sonderwerkzeugaufnahmen verwendet.

! Programmierhinweise

Man beachte: Die aktuellen Adresswerte von TC, TR, TX, TY und TZ werden bei einem Werkzeugwechsel oder bei der Programmierung einer Korrekturwertspeichernummer auf die Werte der Voreinstellung zurückgesetzt, falls sie nicht zusammen mit T oder TC neu programmiert werden.

Bei der Anwahl der T-Nummer eines bereits angewählten Werkzeuges werden keine Verfahrbewegungen ausgelöst, sondern gegebenenfalls nur die Korrekturwertspeichernummer neu gesetzt und die inkrementellen Korrekturwertveränderungen zurückgesetzt.

Eine Änderung der Korrekturwerte (sei es durch T, TC, TX, TY oder TZ) bewirkt eine sofortige Änderung der betroffenen Koordinaten des Werkstückkoordinatensystems, da sich die Werkzeugschneidenposition geändert hat. Eine Verfahrbewegung unterbleibt. Das Einstellen dieser Verschiebung erfolgt im ersten anschließenden Verfahrabsatz.

Vor der Durchführung eines Werkzeugwechsels werden Werkzeugspindel und Kühlmittel ausgeschaltet und nach dem Wechsel nicht wieder eingeschaltet.

Anmerkung zu M6

Ist das Werkzeugsystem einer CNC-Maschine nicht als Werkzeugrevolver mit Werkzeuganwahl durch Einschwenken der angewählten Werkzeugposition in die Werkzeugarbeitsposition oder als Pick-Up-Werkzeugsystem mit Anfahren einer Werkzeugablageposition gefolgt von der Anfahrt auf eine von dieser verschiedenen Übernahmeposition ausgeführt, sondern als z.B. als Werkzeugspindel mit Werkzeugbereitstellung in einem nachgeschalteten Werkzeugwechselfmagazinsystem (in die auch Drehwerkzeuge mit orientiertem Spindelhalt eingewechselt werden können), so erfolgt der

Werkzeugwechsel erst mit dem Programmieren von M06. Mit dem T-Befehl wird das angewählte Werkzeug für einen schnelleren Werkzeugwechsel nur in die werkzeugsystemseitige Werkzeugwechselposition gebracht aber noch nicht eingewechselt.

Zusatzfunktionen der Programmierung mit Selbsthaltefunktion bzw. Schaltfunktion

Zu den Zusatzfunktionen, die in einem NC-Satz auch allein programmiert werden können, gehören die sogenannten Maschinenbefehle (M-Befehle).

In einem NC-Satz können in der PAL2019-Syntax maximal zwei M-Befehle programmiert werden.

Programmierte Zustände oder Setzungen durch M-Befehle bleiben solange erhalten, bis sie durch eine andere Zusatzfunktion wieder aufgehoben werden.

M	
0	Programmierter Halt: In einem Satz, in dem M0 programmiert ist, wird das Programm angehalten, um z.B. das Werkstück zu vermessen oder ein Werkzeug manuell zu wechseln.
1	Wahlweiser Halt: In einem Satz, in dem M1 programmiert ist, wird das Programm angehalten, um z.B. das Werkstück zu vermessen oder ein Werkzeug manuell zu wechseln. Im Gegensatz zu M0 muss die Funktion über die GUI freigeschaltet werden.
3	Spindel einschalten - Drehrichtung rechts (im Uhrzeigersinn)
4	Spindel einschalten - Drehrichtung links (im Gegenuhrzeigersinn)
5	Spindel ausschalten
6	Werkzeug einwechseln, falls dies vom Schwenkarm-/Magazin-Werkzeugwechsellmakro gefordert wird (optionaler M-Befehl).
7	2. Kühlmittelpumpe einschalten
8	1. Kühlmittelpumpe einschalten
9	Kühlmittelpumpe ausschalten
10	Reitstock-Pinole lösen
11	Reitstock-Pinole setzen
13	Spindeldrehung rechts und Kühlmittel ein
14	Spindeldrehung links und Kühlmittel ein
15	Spindel und Kühlmittel ausschalten
17	Mit diesem Befehl wird der Steuerung angezeigt, dass ein Unterprogramm beendet ist. Die Steuerung kehrt in das Hauptprogramm zurück und setzt das Programm in der Zeile nach dem Unterprogrammaufruf fort.
30	Mit diesem Befehl wird das Hauptprogramm beendet und es erfolgt ein Zurücksetzen auf den Einschaltzustand (u.a. Spindeln aus, Kühlmittel aus). M30 wird im letzten NC-Satz programmiert.

M1 bis M10 und M30 sind bei fast allen CNC-Steuerungen implementiert.

Die nachstehenden M-Befehle sowie das Unterprogrammende M17 können auf CNC-Maschinen mit Industriesteuerungen andere Adresswerte haben - insbesondere da sie in den DIN/ISO-Normen nicht festgelegt sind.

M	
60	Konstanter Vorschub entlang der Verfahrkontur
61	Konstanter Vorschub mit Beeinflussung an Innen- und Außenecken
67 *	Maschinentür öffnen
68 *	Maschinentür schließen

* Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Wegbedingungen Drehen nach DIN 66025

Gruppeneinteilung der Wegbedingungen nach DIN 66025 angepasst an PAL2019

Gruppe		G-Befehle
A	Interpolationsart	G0 - G3, G4, G7, G10 - G13, G14, G20, G21, G22, G23, G29, G33, G45 - G47, G61 - G63, G66, G67
B	Interpolationsebenen	G17 - G19
B1	Bearbeitungsebenenauswahl	G15, G16
C	Werkzeugkorrektur	G40 - G42, G5
D	Nullpunktverschiebungen	G51, G53 - G57, G50, G58, G59
E	Einfahrverhalten	G9
F	Arbeitszyklen	G8, G24, G30, G31, G32, G48, G49, G64, G65, G80 - G89
H	Maßangaben	G70, G71, G90, G91
J	Vorschubvereinbarungen	G94, G95
K	Spindel-Drehzahlvereinbarungen	G92, G96, G97
M	Konfigurationseinstellungen Messen	G26, G27, G28
N	Mehrkanalprogrammierung	G98, G99
O	Definitionen und Festlegungen	G6

Die G-Befehle legen die gesamte Programmsteuerung fest.

Es können maximal zwei Wegbedingungen aus unterschiedlichen Gruppen in einem NC-Satz programmiert werden.

Alle Wegbedingungen der Gruppen B, D und F sowie die Wegbedingungen G22, G23, G29, G31 - G33, G61 - G63, G70, G71, G92 der Gruppen A, H und K dürfen in einem NC-Satz nur allein programmiert werden.

Die Wegbedingungen der Gruppen J und K dürfen nicht mit G1 - G3 in einem NC-Satz programmiert werden.

Es werden jedoch noch weitere im einzelnen angegebene Einschränkungen für Wegbedingungen vereinbart, die sich nicht gemeinsam mit anderen programmieren lassen (z.B. G2/G3 mit G41/G42).

Die fett markierten oder eingeklammerten zueinander alternativen Wegbedingungen einer Untergruppe sind prinzipiell innerhalb ihrer Gruppe selbsthaltend. In den Gruppen D und H sind jeweils zwei Wegbedingungen selbsthaltend. G92 ist stets selbsthaltend.

Nicht selbsthaltend sind die Wegbedingungen G4, G9, G10 - G14, G22 - G33, G61 - G63, G72 - G75, G80 - G89.

Wichtiger Hinweis:

Für die Bearbeitung mit angetriebenen Fräswerkzeugen gilt die Programmieranleitung PAL-Fräsen oder es gelten bearbeitungsebenenabhängig festgelegte eingeschränkte Programmierregeln.

Technologieprogrammierung bei den Wegbedingungen

Mit den Wegbedingungen können in den meisten Fällen die technologischen Adressen F, E, S, M - M auch zweifach - zusammen mit einem G-Befehl oder auch als eigener NC-Satz ohne G-Befehl programmiert werden. Welche Technologieadressen bei einem Wegbefehl programmiert werden können, ist in der NC-Satz-Syntax im einzelnen festgelegt.

Die Programmierung eines Werkzeugwechsels ist allein sowie zusammen mit G0, G1 und G90 bis G97 zugelassen.

Tabelle der Ausführungsreihenfolgen der Technologie und Zusatzfunktionen

werden vor einem Verfahrbefehl ausgeführt		werden nach einem Verfahrbefehl ausgeführt	
		M0	Programmierter Halt
		M1	Wahlweiser Halt
M3/ M4	Spindel ein rechts/links	M5	Spindel ausschalten
M7/ M8	Kühlmittel 1/2 ein	M9	Kühlmittel ausschalten
M10	Reitstock-Pinole setzen	M11	Reitstock-Pinole lösen
M21	C-Achse klemmen	M22	C-Achse freigeben
M23/ M24	Fräswerkzeug-Spindel ein rechts/links	M25	Fräswerkzeug-Spindel aus
F	Vorschub		
S	Spindeldrehzahl	M17	Unterprogrammende
T	Werkzeugwechsel	M30	Programmende

Beim Programmieren der Spindeldrehzahl wartet die Steuerung beim Übergang von Werkzeugstillstand oder Eingangsbewegungen in Vorschubbewegungen das Erreichen der Drehzahl ab.

Spezielle Satzelemente

Satznummer

- N** Am Anfang eines jeden NC-Satzes kann eine Satznummer programmiert werden.

Kommentare

Damit ein NC-Programm übersichtlich und nachvollziehbar angelegt werden kann, gibt es die Möglichkeit, Erläuterungen und Kommentare zu einzelnen NC-Sätzen oder ganzen Programmteilen in das NC-Programm aufzunehmen. Um die Kommentare von den eigentlichen Programmsätzen zu unterscheiden, werden sie mit einem besonderen Zeichen begonnen. Die Kommentare werden von der CNC-Steuerung mit Ausnahme des Einrichtblattes überlesen.

- :** Als Kommentar-Anfangszeichen wird ein ';' (Semikolon) verwendet.
Vom Kommentarzeichen ';' an wird der Rest der Zeile als Kommentar betrachtet.
Ausnahme ist das Zeilenfortsetzungszeichen als letztes Zeichen einer Zeile.

Fortsetzungszeilen

- ~** Fortsetzungszeilen werden mit einer '~' (Tilde) als letztem Zeichen der vorhergehenden Zeile gekennzeichnet.
Am Anfang einer Fortsetzungszeile darf keine Satznummer (Adresse N) stehen.

Leerzeichen

- Leerzeichen vor Adressen sind nicht notwendig - erhöhen aber die Lesbarkeit.

Einschaltzustand

Mit dem Start eines NC-Programmes geht die PAL2019-Steuerung von folgendem Einschaltzustand der G-Befehle aus:

G17, G90, G53, G40, G1, G94, G97, (G70/G71 aus Optionen)

Folgende Zusatzfunktionen sind beim Programmstart angewählt:

M5, M9, M60

Für die Vorschub- und Drehzahlregister gilt beim Programmstart:

F0.0, E0.0, S0

Der Werkzeugbezugspunkt steht auf den Maximalwerten des Verfahrbereiches oder auf den Achswerten eines konfigurierten Werkzeugwechsellpunktes.

Festlegungen für die Syntaxbeschreibung

NC-Satz-Syntaxzeile

Ein NC-Satz als Programmzeile besteht aus einem oder mehreren G-Befehlen gefolgt von der Liste der programmierbaren obligaten und optionalen Adressen, die mit diesem oder diesen G-Befehlen programmiert werden können. Es werden für einige Wegbefehle auch alternative NC-Satz-Syntaxzeilen bei komplexeren Adressabhängigkeiten angegeben.

Adressen und Adressgruppen

Adressen

X

So werden die obligaten Adressen bezeichnet, die zusammen mit dem G-Befehl programmiert werden müssen.

Optionale Adressen

X

Die optionalen Adressen müssen nicht programmiert werden, da es für sie eine steuerungsinterne Vorbelegung des Adresswertes gibt, die verwendet wird, wenn im NC-Satz nichts anderes steht. Diese Voreinstellung gilt nur für diesen Wegbefehl.

[0]

Der zugehörige voreingestellte Adresszahlenwert oder eine Berechnungsformel steht bei den Adress-Erklärungen der NC-Satz-Syntaxzeile in eckigen Klammern hinter dem Adressnamen oder bei textuell angegebenen Voreinstellungen (z.B. Werkzeugeinstellwinkel) in kursiver Schrift hinter dem Erläuterungstext zum Adressnamen. Bei den selbsthaltenden optionalen (modal wirkenden) Adressen, Vorschub F, Feinkonturvorschub E, Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit S, M-Zusatzfunktionen, werden diese Werte standardmäßig als globale Vorbelegung verwendet.

Adressgruppen

(X
Y)

Mehrere Adressen und/oder optionale Adressen können mit runden Klammern zu Adressgruppen zusammenfasst werden.

Alternative Adressen und alternative Adressgruppen

X |
Y
X /
Y
X/Y

Gibt es für eine Adresse oder eine Adressgruppe in der NC-Satz-Syntax Alternativen, so werden diese durch Schrägstrich getrennt.

Sind zwei oder mehrere Adressen jeweils durch Schrägstrich getrennt, so kann von diesen nur eine programmiert werden. Diese Schrägstrichregelung gilt für Adressen, optionale Adressen, Adressen mit Adresswert und auch für die in runden Klammern zusammengefassten Adressgruppen.

Elementare Befehle nach DIN 66025

G0	Linearinterpolation im Eilgang
G1	Linearinterpolation im Vorschub
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn
G4	Verweildauer
G5	Werkzeugverschleiß
•	Schwesterwerkzeuge
G6	Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt
G9	Genauhalt
G10	Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten
G11	Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten
G12	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten
G13	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten
G14	Werkzeugwechsellpunkt anfahren
G17 / G18 / G19	Kreisbogen-Interpolationsebenen
G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G29	Programmsprung
G40	Abwahl der Fräserradiuskorrektur
G41 / G42	Anwahl der Fräserradiuskorrektur
•	Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an die Kontur
G45	Lineares tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur
G46	Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis
G47	Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis
G50	Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen
G51	Einstellbare Nullpunkte setzen
G52	Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten
G53	Maschinennullpunkt
G54-G57	Einstellbare Nullpunkte
G58	Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung
G59	Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge
G66	Spiegeln
G67	Skalieren
G70	Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)
G71	Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G90	Absolutmaßangabe
G91	Kettenmaßangabe
G94	Vorschub in Millimeter pro Minute
G95	Vorschub in Millimeter pro Umdrehung
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Konstante Drehzahl

G0 - Linearinterpolation im Eilgang

Funktion

Der Befehl G0 erzeugt eine Bewegung im Eilgang. Der programmierte Zielpunkt wird linear im Eilgang mit größtmöglicher Geschwindigkeit angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Die Bewegung im Eilgang endet immer mit einem Genauhalt.

NC-Satz

G0 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI A/AA/AI B/BA/BI C/CA/CI G F S M M T TC
TR TX TY TZ

Adressen

Zielpunkt	
X / XA / XI	X-Koordinate des Zielpunktes
	XA absolute Koordinate
	XI inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI	Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA absolute Koordinate
	YI inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI	Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA absolute Koordinate
	ZI inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Rundachsen	
A / AA / AI	Wert der A-Achse
	AA absolut
	AI inkrementell
	A G90/G91
B / BA / BI	Wert der B-Achse
	BA absolut
	BI inkrementell
	B G90/G91
C / CA / CI	Wert der C-Achse
	CA absolut
	CI inkrementell

	C	G90/G91
G	weiterer G-Befehl	
Schnittwerte		
F	Vorschub	
S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M	Maschinenbefehl	
Werkzeug		
T	Werkzeug	
TC	Korrekturwertsatz	
TR	Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur	
TX	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X	
TY	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y	
TZ	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z	

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

G1 - Linearinterpolation im Vorschub

Funktion

Der Befehl G1 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement sowie einfache geometrische Funktionen (Länge und Winkel der Strecke).

NC-Satz

G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D AS RN H G F E S M M T TC TR TX TY
TZ
G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) G F E S M M
T TC TR TX TY TZ

Adressen

		Zielpunkt
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Rundachsen
A / AA / AI		Wert der A-Achse
	AA	absolut
	AI	inkrementell
	A	G90/G91
B / BA / BI		Wert der B-Achse
	BA	absolut
	BI	inkrementell
	B	G90/G91
C / CA / CI		Wert der C-Achse

		CA	absolut
		CI	inkrementell
		C	G90/G91
Strecke			
D		Länge (positiv) Die Länge wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.	
AS		Anstiegswinkel Der Anstiegswinkel wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.	
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite	
Lösungsauswahl			
H	[1]	Winkelkriterium	
		1	kleinerer Anstiegswinkel
		2	größerer Anstiegswinkel
G		weiterer G-Befehl	
Schnittwerte			
F		Vorschub	
E	[F]	Feinvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Maschinenbefehl	
Werkzeug			
T		Werkzeug	
TC		Korrekturwertsatz	
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur	
TX		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X	
TY		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y	
TZ		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z	

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Selbthaltefunktion

Werden eine Länge (D) oder ein Winkel (A) programmiert, so wird die Selbsthaltefunktion für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Für den Fall, dass eine Länge (D) aber kein Winkel (W) programmiert wird, können sich zwei unterschiedliche Lösungen ergeben. Als Lösungsauswahl kommt dann das Winkelkriterium (H) zum tragen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G2 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

Funktion

Der Befehl G2 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement sowie einfache geometrische Funktionen (Radius und Winkel des Kreisbogens).

NC-Satz

G2 **X/XA/XI** **Y/YA/YI** **Z/ZA/ZI** (**I/IA** | **J/JA** | **AO**) / **R** **RN** **O** **G** **F** **E** **S** **M** **M**

Adressen

		Zielpunkt
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Kreisbogen
I / IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	absolute Werkstückkoordinate
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
J / JA		Y-Koordinate des Mittelpunktes
	JA	absolute Werkstückkoordinate
	J	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des

		Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
Lösungsauswahl		
O	[1]	Längenkriterium
	1	kürzerer Bogen
	2	längerer Bogen
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Bearbeitungsebene gehörenden Mittelpunktkoordinaten programmiert werden.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Koordinate nur dann verwendet, wenn dies für die Bestimmung der Bewegung mit AO oder R notwendig ist.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Die Programmierung des Mittelpunktes und nur einer Zielpunktcoordinate ist zulässig. In diesem Fall erfolgt die Lösungsauswahl über die Adresse O.

Vollkreisbewegung

Die Selbsthaltefunktion für beide Zielpunktkoordinaten der Interpolationsebene erzeugt bei der Programmierung des Mittelpunktes eine Vollkreisbewegung und bei der Programmierung des Kreisradius oder des Öffnungswinkels ohne Mittelpunktkoordinaten eine Nullbewegung.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G3 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn

Funktion

Der Befehl G3 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement sowie einfache geometrische Funktionen (Radius und Winkel des Kreisbogens).

NC-Satz

G3 **X/XA/XI** **Y/YA/YI** **Z/ZA/ZI** (**I/IA** | **J/JA** | **AO**) / **R** **RN** **O** **G** **F** **E** **S** **M** **M**

Adressen

		Zielpunkt
X / XA / XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y / YA / YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
		Kreisbogen
I / IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	absolute Werkstückkoordinate
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
J / JA		Y-Koordinate des Mittelpunktes
	JA	absolute Werkstückkoordinate
	J	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des

		Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
Lösungsauswahl		
O	[1]	Längenkriterium
	1	kürzerer Bogen
	2	längerer Bogen
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Bearbeitungsebene gehörenden Mittelpunktkoordinaten programmiert werden.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion wird bei einer nicht programmierten Koordinate nur dann verwendet, wenn dies für die Bestimmung der Bewegung mit AO oder R notwendig ist.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Die Programmierung des Mittelpunktes und nur einer Zielpunktcoordinate ist zulässig. In diesem Fall erfolgt die Lösungsauswahl über die Adresse O.

Vollkreisbewegung

Die Selbsthaltefunktion für beide Zielpunktkoordinaten der Interpolationsebene erzeugt bei der Programmierung des Mittelpunktes eine Vollkreisbewegung und bei der Programmierung des Kreisradius oder des Öffnungswinkels ohne Mittelpunktkoordinaten eine Nullbewegung.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G4 - Verweildauer

Funktion

Der Befehl G4 unterbricht die Programmausführung für eine angegebene Zeit. Die Verweilzeit kann in Sekunden oder in Umdrehungen der aktiven Spindel programmiert werden.

NC-Satz

G4 U O

Adressen

U		Verweilzeit	
O	[1]	Verweilzeiteinheit	
		1	Sekunden
		2	Umdrehungen

! Programmierhinweise

Der Befehl G4 wird zum Spanbruch, Freischneiden des Werkzeuges oder Entspannen programmiert.

G5 - Werkzeugverschleiß

Funktion

Der Befehl G5 setzt die Verschleißkorrekturen für ein Werkzeug. Liegt der akkumulierte Verschleiß über einer gegebenen Toleranz, wird das Werkzeug im weiteren Programmlauf als verschlissen angesehen. Das Einwechseln eines verschlissenen Werkzeugs führt auf einen Fehler, außer dem Werkzeug ist ein Schwesterwerkzeug zugeordnet, das dann stattdessen eingewechselt wird.

Die programmierten Verschleißkorrekturen werden zu den aktuellen Werten hinzu addiert. Beim Einrichten oder Einwechseln eines neuen Werkzeugs werden alle betroffenen Verschleißkorrekturwerte auf Null gesetzt.

Änderungen am aktiven Werkzeug werden sofort wirksam.

NC-Satz

G5 T TC VR VX VY VZ RK XK YK ZK

Adressen

Werkzeug		
T		Werkzeugnummer
TC	[1]	Korrekturwertsatz
Verschleiß		
VR	[0]	Radius-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
VX	[0]	X-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
VY	[0]	Y-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
VZ	[0]	Z-Verschleißkorrekturwert (inkrementell)
Toleranzen		
RK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß des Radius
XK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß in X
YK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß in Y
ZK	[0]	Maximal zulässiger Verschleiß in Z

! Programmierhinweise

Die Angabe der Toleranz RK ist nur bei Fräswerkzeugen sinnvoll, da der Verschleiß bei Drehwerkzeugen abhängig von der Bearbeitungsrichtung ist.

Schwesterwerkzeuge

Schwesterwerkzeugsteuerung

Eine automatische Schwesterwerkzeugsteuerung setzt voraus, dass der Werkzeugaufruf parametrisiert, d.h. über eine Parameterwertsteuerung $T=P(NR)$ mit einer Parameternummer NR , erfolgt, so dass mit einer Änderung des Parameterwertes des Parameters $P(NR)$ durch den Werkzeugaufruf $T=P(NR)$ ein anderes Werkzeug als Schwesterwerkzeug aufgerufen wird.

Im Fall, dass der Betrag des Verschleißes beim Fräsen in R oder in Z die Betragsmaxima RK oder ZK bzw. beim Drehen in Z und X die Betragsmaxima ZK oder XK übersteigt wird vom Zyklus G5 für $IT>0$ und $IN>0$ ein Schwesterwerkzeug für das verschlissene Werkzeug $T=P(IT)$ durch Änderung des Parameterwertes $P(IT)$ in $P(IT)=IN$ definiert.

Damit wird bei einem erneuten Werkzeugaufruf mit $T=P(IT) = IN$ das Schwesterwerkzeug mit der Werkzeugnummer IN aufgerufen.

! Programmierhinweise

Die Verschleißkorrekturen in Z sind beim Fräsworkzeugen in Z-Richtung stets wirksam. Die Radius-Verschleißkorrektur ist jedoch nur bei eingeschalteter Fräserradiuskompensation G41/G42 wirksam.

Bei Drehwerkzeugen werden die Verschleißkorrekturen in Z und X berücksichtigt, jedoch wird kein Schneidenradiusverschleiß berechnet.

Beim Einrichten eines neuen Werkzeugs werden die Verschleißkorrekturen auf null gesetzt.

Beispiel: Werkzeug T2 habe das Schwesterwerkzeug unter T11. Mit den frei wählbaren Parameternummern 1002 und 1011 setzen wir: $P1002=2$ und $P1011=11$ und das Werkzeug T2 wird im NC-Programm aufgerufen mit $T=P1002$. Soll das Schwesterwerkzeug T11 statt T2 verwendet werden setzt G5 den Wert von $P1002=11$ und bei weiteren Aufrufen von $T=P1002$ wird somit Werkzeug T11 eingewechselt.

G6 - Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt

Funktion

Der Befehl G6 setzt die modalen Daten für die Anfahrt zum Werkzeugwechsellpunkt.

Die Anfahrt zum Werkzeugwechsellpunkt erfolgt mit dem Befehl G14 und ist spezifisch für jede Werkzeugmaschine. Der Maschinenhersteller stellt die notwendigen Daten - wie zum Beispiel den Werkzeugwechsellpunkt - in der Maschinenkonfiguration bereit. Der Befehl G6 überschreibt grundlegende Werte. Die Änderungen gelten nur innerhalb des NC-Programms. Bei Programmstart werden die Daten wieder komplett aus der Konfiguration initialisiert.

Die Daten können auch mehrfach im Parameterraum vorliegen. In diesem Fall gibt die Adresse SP die erste Parameternummer des Datensatzes vor.

Alle nicht programmierten Werte bleiben unverändert.

NC-Satz

G6 SP LO XT YT ZT AT BT CT DT HT IT JT KT XO YO ZO AO BO CO
VO DO XP YP ZP AP BP CP XW YW ZW AW BW CW

Adressen

SP	[8200]	Erste Parameternummer der Daten
LO		Unterprogrammnummer
XT		Inkrementelle Freifahrlänge in X
YT		Inkrementelle Freifahrlänge in Y
ZT		Inkrementelle Freifahrlänge in Z
Werkzeugnummern von Werkzeugmagazin 1		
AT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 1
BT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 1
CT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 1 (2. Bereich)
DT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 1 (2. Bereich)
Werkzeugnummern von Werkzeugmagazin 2		
HT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 2
IT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 2
JT		Erste Werkzeugnummer für Magazin 2 (2. Bereich)
KT		Letzte Werkzeugnummer für Magazin 2 (2. Bereich)
Zwischenpunkt		
XO		X-Koordinate des Zwischenpunktes
YO		Y-Koordinate des Zwischenpunktes

ZO		Z-Koordinate des Zwischenpunktes
AO		A-Koordinate des Zwischenpunktes
BO		B-Koordinate des Zwischenpunktes
CO		C-Koordinate des Zwischenpunktes
VO		Zwischenpunkt (Gegenspindel-Z-Achse)
DO		Zwischenpunkt (Gegenspindel-C-Achse)

Werkzeugwechsellpunkt von Werkzeugmagazin 1

XP		X-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
YP		Y-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
ZP		Z-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
AP		A-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
BP		B-Koordinate des 1. Wechsellpunktes
CP		C-Koordinate des 1. Wechsellpunktes

Werkzeugwechsellpunkt von Werkzeugmagazin 2

XW		X-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
YW		Y-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
ZW		Z-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
AW		A-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
BW		B-Koordinate des 2. Wechsellpunktes
CW		C-Koordinate des 2. Wechsellpunktes

! Programmierhinweise

Alle notwendigen Daten wurden vom Maschinenhersteller in der Konfiguration hinterlegt und müssen nur in den seltensten Fällen im NC-Programm verändert werden.

Nicht alle Daten werden auf jeder Werkzeugmaschine tatsächlich verwendet, zum Beispiel die Werte für ein zweites Werkzeugmagazin.

G9 - Genauhalt

Funktion

Der Befehl G9 definiert eine programmierte Bewegung als Bewegung mit Genauhalt, d.h. die Vorschubgeschwindigkeit wird vor dem Erreichen des Zielpunktes so reduziert, dass alle Achsbewegungen mit den maschinenspezifisch konfigurierten Beschleunigungswerten im Zielpunkt zum Stehen kommen.

Da NC-Programme kontinuierlich und nur mit kleinen Vorschubreduzierungen an Konturelementübergängen abgearbeitet werden, führt dies durch den physikalisch bedingten Schleppfehler zum Brechen von Kanten.

Sollen die Koordinaten exakt angefahren werden, so muss der Befehl G9 programmiert werden.

Eine Bewegung im Eilgang endet immer mit einem Genauhalt.

NC-Satz



Programmierhinweise

Der Befehl ist satzmodal, gilt also nur im programmierten NC-Satz.

G10 - Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G10 erzeugt eine Bewegung im Eilgang. Der programmierte Zielpunkt wird linear im Eilgang mit größtmöglicher Geschwindigkeit angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G0 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben.

Die Bewegung im Eilgang endet immer mit einem Genauhalt.

NC-Satz

G10 RP AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI G F S M M T TC TR TX TY TZ

Adressen

		Zielpunkt
RP		Polarradius
AP / AI		Polarwinkel Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
		AP absolut AI inkrementell
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
		IA absolut I inkrementell auf den Startpunkt
J / JA	<i>[J0]</i>	Y-Koordinate des Pols
		JA absolut J inkrementell auf den Startpunkt
Z / ZA / ZI	<i>[Z10]</i>	Z-Koordinate des Zielpunktes
		ZA absolut ZI inkrementell auf den Startpunkt Z absolut oder inkrementell gesteuert durch G90/G91
G		weiterer G-Befehl

Schnittwerte

F		Vorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

Werkzeug

T		Werkzeug
TC		Korrekturwertsatz
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Polkoordinaten programmiert werden.

G11 - Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G11 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G1 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben.

Der Befehl unterstützt eine Fase oder Verrundung zum nächsten Konturelement.

NC-Satz

G11 RP AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI RN G F E S M M T TC TR TX TY TZ

Adressen

		Zielpunkt
RP		Polarradius
AP / AI		Polarwinkel Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
	AP	absolut
	AI	inkrementell
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
	IA	absolut
	I	inkrementell auf den Startpunkt
J / JA	<i>[J0]</i>	Y-Koordinate des Pols
	JA	absolut
	J	inkrementell auf den Startpunkt
Z / ZA / ZI	<i>[ZI0]</i>	Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell auf den Startpunkt
	Z	absolut oder inkrementell gesteuert durch G90/G91
RN	<i>[0]</i>	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
G		weiterer G-Befehl

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl
Werkzeug		
T		Werkzeug
TC		Korrekturwertsatz
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Polkoordinaten programmiert werden.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G12 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G12 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G2 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben. Der Pol ist identisch zum Mittelpunkt des Kreisbogens.

NC-Satz

G12 AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI RN G F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
AP / AI		Polarwinkel Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
	AP	absolut
	AI	inkrementell
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
	IA	absolut
	I	inkrementell auf den Startpunkt
J / JA	<i>[J0]</i>	Y-Koordinate des Pols
	JA	absolut
	J	inkrementell auf den Startpunkt
Z / ZA / ZI	<i>[ZI0]</i>	Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell auf den Startpunkt
	Z	absolut oder inkrementell gesteuert durch G90/G91
RN	<i>[0]</i>	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M	Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Polkoordinaten programmiert werden.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G13 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G13 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G3 wird der Zielpunkt in der Interpolationsebene in Polarkoordinaten angegeben. Der Pol ist identisch zum Mittelpunkt des Kreisbogens.

NC-Satz

G13 AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI RN G F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
AP / AI		Polarwinkel Der inkrementelle Polarwinkel wirkt inkrementell auf den Polarwinkel des Startpunktes der Bewegung. Die Verwendung ist nur zulässig, wenn Pol und Startpunkt verschieden sind.
	AP	absolut
	AI	inkrementell
I / IA	<i>[I0]</i>	X-Koordinate des Pols
	IA	absolut
	I	inkrementell auf den Startpunkt
J / JA	<i>[J0]</i>	Y-Koordinate des Pols
	JA	absolut
	J	inkrementell auf den Startpunkt
Z / ZA / ZI	<i>[ZI0]</i>	Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell auf den Startpunkt
	Z	absolut oder inkrementell gesteuert durch G90/G91
RN	<i>[0]</i>	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
G		weiterer G-Befehl
Schnittwerte		
F		Vorschub

E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Es gelten die allgemeinen Regeln zur Abarbeitungsreihenfolge bei mehreren Anweisungen in einem NC-Satz.

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Polkoordinaten programmiert werden.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G14 - Werkzeugwechsellpunkt anfahren

Funktion

Der Befehl G14 erzeugt eine Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt. Die Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt erfolgt gemäß den hinterlegten modalen Adressen (G6).

Der Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt kann zusätzlich ein Freifahren vorangestellt werden.

NC-Satz

G14 XT YT ZT H SP M M

Adressen

		Freifahren
XT	[*]	Inkrementelle Freifahrt in X
		Voreinstellung: * Konfigurationsdaten aus G6
YT	[*]	Inkrementelle Freifahrt in Y
		Voreinstellung: * Konfigurationsdaten aus G6
ZT	[*]	Inkrementelle Freifahrt in Z
		Voreinstellung: * Konfigurationsdaten aus G6
		Optionen
H	[0]	Steueradresse für die Anfahrt zum Wechsellpunkt
		0 alle Koordinaten werden gleichzeitig angefahren
		1 erst in X und dann werden alle anderen Koordinaten angefahren
		2 erst in Z und dann werden alle anderen Koordinaten angefahren
SP	[8200]	Erste Parameternummer der Konfigurationsdaten
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Freifahren

Der Befehl G14 unterstützt ein Freifahren vor der eigentlichen Bewegung zum Werkzeugwechsellpunkt über die Register XT, YT und ZT.

Ein Freifahren kann auch über die Optionen H1 und H2 erreicht werden.

Konfiguration

Für die Programmierung des Befehls G14 sind keine Koordinatenangaben erforderlich, da die Art und Weise, wie der Werkzeugwechsellpunkt anzufahren ist, in den Konfigurationsdaten hinterlegt ist. Die Konfigurationsdaten werden über den Befehl G6 beginnend mit einer ersten Parameternummer (SP) modal hinterlegt.

Der Maschinenhersteller liefert eine sinnvolle Vorbelegung ab P8200 aus. Ein Wechsel der Konfigurationsdaten ist in den meisten Fällen nicht nötig.

G17/G18/G19 - Kreisbogen-Interpolationsebenen

Funktion

Mit dem Befehl G17 oder G18 oder G19 werden in einem kartesischen Koordinatensystem der Achsen X, Y, Z, das in dieser Achsreihenfolge ein Rechtssystem ist, jeweils zwei Koordinatenachsen als erste und zweite Geometrieachse einer Ebene festgelegt in denen die Kreisbogeninterpolation - etwa mit den Befehlen G2 und G3 - und die wichtige Radiuskompensation (als Schneidradius- oder Fräserradiuskompensation) ausgeführt wird. Die dritte Geometrieachse hat dann die Funktion der Zustellachse. Dabei muss die Reihenfolge dieser Achsen so festgelegt werden, dass alle drei möglichen Kombinationen der 3 Achsen X, Y, Z ein Rechtssystem bilden.

NC-Satz

G17/G18/G19

G17	Kreisbogen-Interpolationsebene zwischen X und Y (ohne weitere Adressen)
G18	Kreisbogen-Interpolationsebene zwischen Z und X (ohne weitere Adressen)
G19	Kreisbogen-Interpolationsebene zwischen Y und Z (ohne weitere Adressen)

! Programmierhinweise

Diese drei Möglichkeiten der Kreisbogeninterpolation kennzeichnet man in der DIN-Norm als Kreisbogen-Interpolationsebenen G17, G18 und G19 mit den Achsreihenfolgen eines Rechtssystems mit der 1. Geometrieachse X, der 2. Geometrieachse Y und der 3. Geometrieachse Z.

	1. Geometrieachse	2. Geometrieachse	3. Geometrieachse / Zustellachse	
G17	X	Y	Z	(X Y Z X Y)
G18	Z	X	Y	(X Y Z X Y)
G19	Y	Z	X	(X Y Z X Y)

Diese Kreisbogen-Interpolationsebenen sind modal oder selbsthaltend wirksam und haben nur die Funktion die zwei-dimensionale Kreisbogen-Interpolationsebene mit den Kreisbogenorientierungen und die Zustellachse festzulegen. Dies erfolgt über die Bedingung, dass die drei verschiedenen Achsreihenfolgen jeweils ein Rechtssystem bilden.

Drehwinkel in einer Kreisbogen-Interpolationsebene beziehen sich stets auf die positive erste Geometrieachse.

Fräsmaschinensteuerungen werden beim Einschalten mit G17 initialisiert und Drehmaschinensteuerungen mit G18.

G22 - Unterprogrammaufruf

Funktion

Ein mit dem Befehl G22 aufgerufenes Unterprogramm L wird von der NC abgearbeitet und anschließend das Hauptprogramm nach dem Aufruf fortgesetzt.

Das Unterprogramm endet mit M17 oder sobald die NC-Zeile mit der Endsatznummer verarbeitet wurde.

NC-Satz

G22 L N N H /

Adressen

L		Unterprogramm-Nummer
N		Startsatznummer im Unterprogramm
N		Endsatznummer im Unterprogramm
H	[1]	Anzahl der Wiederholungen
/		Ausblendeebene

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Innerhalb eines Unterprogramms können weitere Unterprogramme aufgerufen werden. Die maximale Verschachtelungstiefe beträgt 10.

Die NC sucht die Startsatznummer vom Programmanfang. Findet sie diese nicht, so wird der Programmablauf mit einer Fehlermeldung abgebrochen. Ohne Angabe einer Startsatznummer beginnt die Programmausführung im Unterprogramm in der ersten NC-Zeile.

Die programmierte Start- und Endsatznummer kann gleich sein. In diesem Fall wird nur ein NC-Satz verarbeitet.

Unterprogrammstruktur

Im Unterprogramm steht in der ersten Spalte der ersten Zeile der Unterprogrammkenbuchstabe L gefolgt von der direkt an L anschließenden Unterprogrammnummer. Die letzte Zeile des Unterprogramms muss den Rücksprung M17 als einzigen Befehl enthalten, damit der Rücksprung ins Hauptprogramm bzw. ins aufrufende Unterprogramm korrekt erfolgt.

Für den Datenaustausch zwischen PAL2019-Softwaresystemen sollten Unterprogramme in zwei Varianten abgespeichert werden können:

- **Globales Unterprogramm**
Ein globales Unterprogramm muss als externe Datei vorhanden sein. Der Dateiname ist der große Buchstabe L gefolgt von der Unterprogrammnummer. Die Dateierweiterung ist 'dnc' für Drehprogramme und 'fnc' für Fräsprogramme.
- **Lokales Unterprogramm**
Ein lokales Unterprogramm wird nach M30 an das Hauptprogramm angehängt und beginnt definitionsgemäß mit dem Unterprogramm Buchstaben L in der ersten Spalte der ersten Unterprogrammzeile gefolgt von der Unterprogrammnummer. Davor oder daran anschließend können weitere lokale Unterprogramme stehen.

Gibt es ein lokales und ein globales Unterprogramm mit dem gleichen Dateinamen, so wird das lokale Unterprogramm verwendet.

Ausblendeebenen im Unterprogramm

Mit Hilfe der Sonderadresse '/' wird die NC veranlasst, bestimmte NC-Sätze des Unterprogramms nicht abzuarbeiten, also 'auszublenden'. Da ein Unterprogramm mehrere Ausblendeebenen enthalten kann, können beispielsweise beim ersten Aufruf des Unterprogramms NC-Sätze ausgespart werden, die wiederum bei einem zweiten Aufruf desselben Unterprogramms abgearbeitet werden. Oder umgekehrt können für den zweiten Aufruf diejenigen NC-Sätze als Ausblendeebenen definiert werden, die nur für die erste Abarbeitung des Unterprogramms bestimmt waren. Die Sonderadresse '/' wird dabei mit der ganzzahligen positiven Nummer der auszublendenden Ebene als Adresswert programmiert.

Die NC-Sätze einer Ausblendeebene im Unterprogramm werden durch die gleiche Sonderadresse '/' mit der Ebenennummer als Adresswert als erste Adresse nach der NC-Satznummer gekennzeichnet. Die Sätze einer Ausblendeebene, die den gleichen Ausblend-Adresswert haben, können im Unterprogramm beliebig verteilt liegen.

Wird ein Unterprogramm mit einer Ausblendeebene angewählt, so werden die NC-Sätze der im Unterprogrammaufruf programmierten Ausblendeebene bei der Unterprogrammausführung übersprungen. Die NC-Sätze anderer Ausblendeebenen und die keiner Ebene zugeordneten NC-Sätze werden ausgeführt.

Soll im Unterprogramm einem Unterprogrammaufruf (verschachtelter Unterprogrammaufruf) eine Ausblendeebene zugeordnet werden, so muss die Sonderadresse '/' direkt nach der NC-Satznummer und damit vor dem G22-Befehl stehen.

G23 - Programmteilwiederholung

Funktion

Mit dem Befehl G23 wird ein Teil eines NC-Programms wiederholt.

NC-Satz

G23 N N H

Adressen

N		Startsatznummer
N		Endsatznummer
H	[1]	Anzahl der Wiederholungen

! Programmierhinweise

Die NC sucht die Startsatznummer vom Programmstart. Findet sie diese nicht, so wird der Programmablauf mit einer Fehlermeldung abgebrochen.

Die programmierte Start- und Endsatznummer kann gleich sein. In diesem Fall wird nur ein NC-Satz wiederholt.

Selbsthaltende Befehle, die in der Programmteilwiederholung programmiert werden, bleiben während und auch nach der Programmteilwiederholung wirksam.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G29 - Programmsprung

Funktion

Der Befehl G29 führt einen bedingten Sprung zu einer gegebenen Satznummer aus. Der Programmsprung erfolgt nur, wenn die Bedingung LA wahr ist. Die Bedingung ist ein beliebiger logischer Ausdruck. Ohne Angabe einer Bedingung erfolgt der Sprung grundsätzlich (unbedingter Programmsprung).

NC-Satz

G29 **N** LA= (<Bedingung>)

Adressen

N		Satznummer
LA	[1]	Bedingung

! Programmierhinweise

Der Adresse LA wird als Bedingung ein logischer Ausdruck zugewiesen. Zwischen Adresse und logischem Ausdruck muss gemäß der PAL-Syntax ein Gleichheitszeichen stehen.

Die NC sucht die Satznummer vom Programmanfang aus und bricht mit einer Fehlermeldung ab, wenn diese Satznummer nicht gefunden wird.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G40 - Abwahl der Fräserradiuskorrektur

Funktion

Mit dem Befehl G40 wird die mit G41 oder G42 eingeschaltete Fräserradiuskorrektur aufgehoben. Die Abwahl der Fräserradiuskorrektur wird in einem eigenen NC-Satz programmiert.

Die NC fährt zunächst auf den Zielpunkt des letzten zuvor programmierten und mit Fräserradiuskorrektur abzufahrenden Konturelementes (siehe G41/G42) und zwar so, dass der Fräser das letzte Konturelement im Endpunkt berührt (gemeinsame Tangente im Berührungspunkt).

Von diesem Punkt verfährt die NC dann linear (G0, G1, G10, G11) unter Berücksichtigung der Koordinaten-Selbthaltefunktion der für diesen Zielpunkt des letzten Konturelementes mit dem Werkzeugmittelpunkt angefahrenen Zielpunktkoordinaten auf die programmierte Abfahrpunktposition X, Y bzw. auf RP, AP/AI oder auf den Zielpunkt einer tangentialen linearen oder kreisbogenförmigen Abfahrbewegung (G45, G46, G47).

Mit den ergänzend möglichen Wegbefehlen G45, G46 oder G47 kann eine tangentielle Abfahrstrategie programmiert werden.

NC-Satz

```
G40 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G40 G0/G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G40 G10/G11 RP AP/AI Z/ZA/ZI ...
G40 G45/G46/G47 ...
```

! Programmierhinweise

Wird G40 allein ohne weiteren Wegbefehl in einem NC-Satz programmiert, so muss G0 oder G1 modal anstehen. Steht G2 oder G3 modal an, führt dies zu einer Fehlermeldung.

Bei der Abwahl der Fräserradiuskompensation mit G40 zusammen mit G1 oder G11 ist die Programmierung einer Fase oder Verrundung mit RN nicht erlaubt.

Wird G40 allein ohne weitere Adresse programmiert, so führt die Selbsthaltefunktion der kompensierten Zielpunktkoordinaten (der mit dem Werkzeugmittelpunkt angefahrenen Koordinaten) des Konturendpunktes X, Y des letzten kompensiert abgefahrenen Konturelementes nach dem Anfahren des Konturendpunktes zu einer Nullbewegung, da das Werkzeug bereits an dieser Stelle steht. Wird nur eine Koordinatenachse programmiert, so wird ausgehend von der Werkzeugposition am Konturendpunkt mit dieser Festlegung der Selbsthaltefunktion eine achsparallele Werkzeugbewegung ausgeführt.

Man beachte folgendes:

Alternativ zu der Koordinaten-Selbthaltefunktion der für den Bearbeitungsendpunkt des letzten kompensierten Konturelementes angefahrenen Werkzeugmittelpunktskoordinaten findet man bei Steuerungen auch die Selbsthaltefunktion für die programmierten (unkompensierten) Zielpunktkoordinaten des letzten Konturelementes. In diesem Fall würde bei G40 ohne weitere Adresse nach dem Anfahren des Konturendpunktes eine Bewegung mit dem Fräsermittelpunkt auf diesen programmierten Zielpunkt erfolgen (wobei die Kontur im Zielpunkt verletzt wird). Die Programmierung von einer Koordinate ergibt dann i.a. eine nicht-achsparallele Bewegung.

G41/G42 - Anwahl der Fräserradiuskorrektur

Funktion

Mit G41/G42 wird die Fräserradiuskorrektur (FRK) - auch Fräserradiuskompensation genannt - angewählt. Danach wird die zu bearbeitende Werkstückkontur programmiert.

Mit eingeschalteter Fräserradiuskompensation (FRK) verfährt der Werkzeugmittelpunkt auf einer rechts (G42) oder links (G41) von der programmierten Kontur liegenden äquidistanten Bahn.

Die Festlegung der Bearbeitungsseite 'links' oder 'rechts' von der Kontur bezieht sich auf die Relativbewegung des Werkzeugs gegenüber dem Werkstück in der Bearbeitungsebene betrachtet in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden dritten Koordinatenachse (3. Geometrieachse oder Zustellachse).

Bei der Berechnung dieser Abstandskontur werden bei Außenecken Ergänzungskreisbögen zwischen verschobenen benachbarten Konturelementen eingefügt, bei Innenecken werden die beiden verschobenen Konturelemente im Schnittpunkt verkürzt und nur bei tangentialen Konturübergängen werden die programmierten Konturteile lokal bis auf die Vergrößerungen oder Verkleinerungen von Kreisbogenradien in die Abstandskontur übernommen. (vereinfachte Beschreibung)

Diese Abstandskontur wird standardmäßig mit einer Vorausschau auf das nächste Konturelement berechnet. Über einen Steuerungsparameter kann die Vorausschau auf mehrere anschließende Konturelemente erhöht werden, um nicht bearbeitbare Abschnürungen/Flaschenhälse zu erkennen. Die Abstandskontur wird auch als die um den Fräserradius kompensierte Kontur bezeichnet.

G41	Fräserradiuskorrektur links von der Kontur
G42	Fräserradiuskorrektur rechts von der Kontur

NC-Satz

G41/G42 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 **G0/G1** X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 **G10/G11** **RP** **AP/AI** Z/ZA/ZI ...
G41/G42 **G45/G46/G47** ...

! Programmierhinweise

Der kompensierte Anfangs- oder Zielpunkt einer Kontur wird nachfolgend mit Bearbeitungsanfangspunkt oder Bearbeitungsendpunkt bezeichnet.

Die NC verfährt linear unter Berücksichtigung der Koordinaten-Selbthaltefunktion auf den mit der Fräserradiuskompensation berechneten Bearbeitungsanfangspunkt des ersten programmierten Konturelementes mit dem Startpunkt X, Y bzw. RP, AP/AI, das dann kompensiert abgefahren wird.

Dieser Bearbeitungsanfangspunkt zu dem Anfangspunkt X, Y bzw. RP, AP/AI des ersten kompensiert abzufahrenden Konturelementes kann erst nach der Programmierung dieses Konturelementes angefahren werden (Vorausschau bei der FRK).

Mit den ergänzend möglichen Wegbefehlen G45, G46 oder G47 kann eine tangentiale Anfahrstrategie auf den Bearbeitungsanfangspunkt programmiert werden.

Wird G41 oder G42 allein ohne weiteren Wegbefehl in einem NC-Satz programmiert, so muss G0 oder G1 modal anstehen. Steht G2 oder G3 modal an, führt dies zu einer Fehlermeldung.

Wird G41 oder G42 allein ohne weitere Adresse programmiert, so führt die Selbthaltefunktion der X- und Y-Koordinaten zu einer Ausgleichsbewegung der Länge gleich Fräserradius auf den mit der Fräserradiuskompensation berechneten Bearbeitungsanfangspunkt des anschließend programmierten ersten Konturelementes, das kompensiert abgefahren wird.

Die programmierte Kontur in der Bearbeitungsebene kann beginnend mit den angegebenen Anwahlbefehlen G41, G42 bis zur Abwahl der FRK mit G40 beliebig aus den Wegbefehlen zusammengesetzt werden (sofern diese untereinander verträglich sind). Verrundungsradien von Innenecken dürfen dabei nicht kleiner als der Fräserradius sein:

G0, G1, G2, G3, G10, G11, G12, G13, G61, G62, G63.

Ein direkter Wechsel von G41 auf G42 und umgekehrt ist nicht erlaubt.

Eine Korrekturwertänderung ist bei aktivem G41 oder G42 nicht erlaubt.

Nach der Anwahl der Fräserradiuskorrektur dürfen die Werkzeugkorrekturwerte, sei durch Korrekturwertmanipulation (TR, TX, TY, TZ) oder Korrekturwertregisteränderung (TC), nicht verändert, das Werkzeug nicht gewechselt und innerhalb der FRK dürfen keine Nullpunktänderungen programmiert werden.

Bei der Anwahl der Fräserradiuskompensation G41 oder G42 zusammen mit G1 oder G11 ist die Programmierung einer Fase oder Verrundung mit RN nicht erlaubt.

Man beachte, dass die Programmierung von G41/G42 ohne eine zusätzliche weitere Wegbedingung stets als implizite Anfahrt die Koordinatenselbsthaltefunktion verwendet. Z.B. in G17: G41/G42 G0/G1 X10 Y10 entspricht G41/G42, wobei bei der Programmierung von G41/G42 G1 die Ausgleichsbewegung im Vorschub und bei G41/G42 G0 im Eilgang durchgeführt wird.

Programmierung der Zustellachse bei der Fräserradiuskompensation

Bei der FRK-Anwahl oder -Abwahl kann optional eine Zustellung Z (Ebene G17) programmiert werden. Die damit programmierte Zustellungsänderung wird linear auf den Anfahr- oder Abfahrweg aufgeteilt, so dass die programmierte Zustellung in dem Bearbeitungsanfangspunkt von G41/G42 bzw. der Abfahrpunktposition von G40 erreicht wird.

Bei eingeschalteter FRK können in dem programmierten Konturverlauf beliebig Zustellungen entweder allein oder kombiniert mit Bewegungen innerhalb der Bearbeitungsebenen programmiert werden.

Wird eine Zustellung allein (ohne Ebenenkoordinaten) innerhalb einer Kontur programmiert, so wird diese am Bearbeitungsendpunkt des kompensierten vorhergehenden Konturelementes vor einem eventuellen FRK-Verrundungskreis bei Außenecken ausgeführt.

Wird eine Veränderung der Zustellung zusammen mit einem Konturelement programmiert, so wird zunächst ein möglicher FRK-Verrundungskreis zum vorhergehenden Konturelement mit dem aktuellen Zustellwert gefahren und dann die programmierte Zustellung auf dem kompensierten Konturelement linear mit der Ebenenbewegung bis zum Erreichen des Bearbeitungsendpunktes dieses Konturelementes (auch im Fall des bei Innenecken verkürzten kompensierten Konturelementes) eingestellt. Eine mögliche FRK Verrundungskreisbewegung zum nächsten Konturelement wird dann wiederum mit dem konstanten Zustellwert des Bearbeitungsendpunktes verfahren.

Sind zwei benachbarte Konturelemente durch eine Verrundung oder Fase miteinander verbunden und wird dabei in einem oder beiden Konturelementen eine Zustellung programmiert, so werden diese beiden Konturelemente wie drei kompensierte Konturelemente aufgefasst:

- Erstes Konturelement mit Zustellung
- Verrundung/Fase ohne Zustellung
- zweites Konturelement mit Zustellung.

Dabei wird die Zustellung des ersten Konturelementes dem ersten und die Zustellung des zweiten dem zweiten Konturelement zugewiesen. Auf der Verrundung oder der Fase bleibt die Zustellung unverändert. Man beachte, dass bei gefasten Außenecken in der kompensierten Kontur zwei Ergänzungskreisbögen eingefügt werden, die dann ebenfalls mit der gleichen Zustellung abgefahren werden.

Sind zwei programmierte Konturelemente durch eine Verrundung oder Fase miteinander verbunden, so wird eine programmierte Zustellung des ersten Konturelementes bereits auf dem Anfangspunkt der Verrundung oder Fase erreicht und die Verrundung oder Fase mit konstanter Zustellung abgefahren. Eine Zustellbewegung des zweiten Konturelementes beginnt am Zielpunkt der Verrundung oder Fase.

Adressen

G41 / G42	Werkzeugradiuskorrektur	
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur

Anfahr- und Abfahrstrategien von Werkzeugen an die Kontur

Mit G45 bis G47 können spezielle Anfahrbedingungen an den Startpunkt von Bearbeitungskonturen oder Abfahrbedingungen von der Kontur programmiert werden, die jeweils mit Fräserradiuskompensation abgefahren werden.

Wird bei einer Anfahrt kein Startpunkt programmiert, so wird die aktuelle Werkzeugposition als Startpunkt verwendet und die kompensierte Anfahrbewegung nicht ausgeführt. Damit steht das Werkzeug unkompensiert im Startpunkt und verletzt beim Einschalten der Radiuskompensation eine dort beginnende Kontur.

Mit dem ersten Kontursatz fährt das Werkzeug dann vom Startpunkt auf die berechnete kompensierte Startpunktposition der Anfahrbewegung.

Nach der kompensierten Abfahrt von der Kontur wird ein programmierter Zielpunkt unkompensiert angefahren.

Die Bearbeitungskontur wird als Anfahrbedingung im Kontur-Startpunkt um

G45	eine tangential anschließende Anfahrstrecke der Länge DL
G46	einen tangential anschließenden Anfahrviertelkreis mit Radius RR
G47	einen tangential anschließenden Anfahrhalbkreis mit Radius RR

und als Abfahrbedingung im Zielpunkt der programmierten Kontur um

G45	eine tangential anschließende Abfahrstrecke der Länge DL
G46	einen tangential anschließenden Abfahrviertelkreis mit Radius RR
G47	einen tangential anschließenden Abfahrhalbkreis mit Radius RR

ergänzt.

Diese An- und Abfahrwege werden über die volle Länge mit Kompensation abgefahren. Die Entscheidung ob An- oder Abfahrt erfolgt über den zusammen mit G45 oder G46 oder G47 bei der Anfahrt mit zu programmierenden Befehl G41 oder G42 und mit G40 bei der Abfahrt. Bei den Kreisbögen legt die Kompensationsseite auch die Kreisbogenorientierung fest: Bei G41 Kreisbögen entgegen dem Uhrzeigersinn und bei G42 im Uhrzeigersinn.

Eine kompensierter Anfahrweg wird bei G45, G46 oder G47 zusammen mit G41 oder G42 nur dann vor dem ebenfalls mit G45, G46 oder G47 programmierten Konturstartpunkt in die Kontur eingefügt, wenn in dem Satz davor G40 selbsthaltend/modal aktiv war.

War die mit G45, G46 oder G47 programmierte Kompensation G41 oder G42 bereits davor eingeschaltet, findet nur eine Bewegung auf den programmierten Startpunkt statt und das Einfügen eines Anfahrweges entfällt. (Ein Wechsel zwischen den Kompensationsseiten G41 und G42 führt dabei zu einer Fehlermeldung.)

Wenn mit G41/G42 kombiniert mit G45, G46 oder G47 eine Anfahrbedingung programmiert wird, so wird mit den Koordinaten X, Y, Z ein Konturstartpunkt in X, Y und eine Zustellung in Z festgelegt. Mit der Programmierung des ersten Konturelementes kann die NC in der XY-Ebene den kompensierten Startpunkt der Anfahrbewegung als Zustellpunkt berechnen und das Werkzeug in der XY-Ebene auf den Zustellpunkt verfahren. Die Anfahrt auf diesen Zustellpunkt in der Ebene erfolgt im Eilgang, wenn dieser modal wirksam ist und andernfalls im Arbeitsgang.

Am Zustellpunkt wird dann im Eilgang auf die optionale Zustell-Koordinate der Sicherheitsebene WV zugestellt. Danach findet eine Verzweigung nach der Steueradresse O statt:

O0	Bei vertikaler Zustellung wird im Vorschub E auf den Z-Wert zugestellt. Anschließend wird der Konturstartpunkt mit Kompensation und Vorschub F auf einer Strecke der Länge DL oder
-----------	--

	<p>einem Viertelkreis oder einem Halbkreis mit Radius RR tangential angefahren.</p> <p>Nach der Zustellung wird der Konturstartpunkt mit Kompensation und Vorschub F auf einer Strecke der Länge DL oder einem Viertelkreis oder einem Halbkreis mit Radius RR tangential an- oder abgefahren.</p>
O1	<p>In diesem Fall wird die Zustellung auf den Z-Wert zusammen mit der tangentialen linearen oder kreisförmigen Anfahrbewegung im Vorschub E als 3D-Bewegung auf den Konturstartpunkt ausgeführt (helikale Bewegung bei Kreisbögen in XY).</p>

Wenn G40 als Abfahrbedingung programmiert wird, wird nach dem Konturendpunkt eine lineare oder kreisbogenförmige tangentiale Abfahrbewegung im Vorschub F in den Alternativen O0 oder O1 ausgeführt.

O0	<p>Unter Beibehaltung der aktuellen Zustellung der Kontur fährt das Werkzeug mit Kompensation vom Konturendpunkt auf einer tangential abgehenden Strecke der Länge DL oder einem Viertelkreis oder einem Halbkreis mit Radius RR weiter. Von dort erfolgt eine Bewegung auf die optional mit Z programmierte Rückzugsposition.</p>
O1	<p>In diesem Fall wird die optionale Rückzugsbewegung auf Z zusammen mit der tangentialen linearen bzw. kreisförmigen kompensierten Abfahrbewegung im Vorschub F als 3D-Bewegung ausgeführt (helikale Bewegung bei Kreisbögen in XY).</p>
	<p>Danach wird in beiden Fällen O0/O1 im Eilgang die mit WV optional programmierte Rückzugsebene in der Zustellachse angefahren und die Kompensation ausgeschaltet.</p> <p>Danach wird der programmierte Zielpunkt in X und Y angefahren.</p>

An- und Abfahrbedingungen sind in Konturen von Zyklen nicht zulässig.

Die neuen PAL-Befehle G45 und G46 ersetzen die alten Befehle G45, G46, G47 und G48 der tangentialen An- und Abfahrt mit einer Strecke oder einem Viertelkreis von PAL2007 und werden mit G47 somit auf die halbkreisförmige tangentiale An- und Abfahrt erweitert.

G45 - Lineares tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur

Funktion

Der Befehl G45 definiert eine Anfahrbewegung oder eine Abfahrbewegung auf einer Tangenten mit definierter Länge. Der Befehl definiert eine Anfahrt, wenn er zusammen mit der Anwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G41 oder G42) programmiert wird, oder eine Abfahrt, wenn er zusammen mit der Abwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G40) programmiert wird. Eine andere Verwendung ist unzulässig.

Die Anfahrbewegung erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Bewegung auf den Startpunkt der Anfahrt ohne Änderung in der Zustellachse
2. Absenken auf die Sicherheitsebene im Eilgang (entfällt ohne Angabe der Sicherheitsebene)
3. Absenken auf den Startpunkt der Anfahrt in der Zustellachse im Vorschub
4. Verfahren der Anfahrt im Vorschub ohne Änderung in der Zustellachse

Mit der Option O1 erfolgen die Schritte 3 und 4 in einer Bewegung. Die Abfahrt erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

NC-Satz

G40/G41/G42 G45 DL WV O X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI F E S M M

Adressen

G40/ G41 / G42		Werkzeugradiuskorrektur
	40	Abwahl
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur
DL		Länge der An-/Abfahrt
WV	[*]	Sicherheitsebene
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Position in der Zustellachse vor der Anfahrt oder Zielpunkt der Bewegung nach der Abfahrt</i>
O	[0]	Zustellbewegung
	0	Zustellbewegung und An-/Abfahrt getrennt
	1	Zustellung und An-/Abfahrt in einer Bewegung
Zielpunkt		
X/ XA/ XI		X-Koordinate
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Y/ YA/ YI		Y-Koordinate
	YA	absolut
	YI	inkrementell

		Y	G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91
Schnittwerte			
F		Vorschub	
E	[F]	Feinvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Maschinenbefehl	

! Programmierhinweise

Mit den Koordinaten X, Y, Z wird bei der Anfahrt der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt ein Freifahrtspunkt nach der Abfahrbewegung programmiert.

G46 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis

Funktion

Der Befehl G46 definiert eine Anfahrbewegung oder eine Abfahrbewegung auf einem tangentialen Viertelkreis mit definiertem Radius. Der Befehl definiert eine Anfahrt, wenn er zusammen mit der Anwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G41 oder G42) programmiert wird, oder eine Abfahrt, wenn er zusammen mit der Abwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G40) programmiert wird. Eine andere Verwendung ist unzulässig.

Die Anfahrbewegung erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Bewegung auf den Startpunkt der Anfahrt ohne Änderung in der Zustellachse
2. Absenken auf die Sicherheitsebene im Eilgang (entfällt ohne Angabe der Sicherheitsebene)
3. Absenken auf den Startpunkt der Anfahrt in der Zustellachse im Vorschub
4. Verfahren der Anfahrt im Vorschub ohne Änderung in der Zustellachse

Mit der Option O1 erfolgen die Schritte 3 und 4 in einer Bewegung. Die Abfahrt erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

NC-Satz

G40/G41/G42 G46 RR WV O X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI F E S M M

Adressen

G40/ G41 / G42		Werkzeugradiuskorrektur
	40	Abwahl
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur
RR		Radius des Viertelkreises Der Radius bezieht sich auf den Schneidenpunkt. Der Viertelkreis an die Kontur ist um den Werkzeugradius größer.
WV	[*]	Sicherheitsebene <i>Voreinstellung: * aktuelle Position in der Zustellachse vor der Anfahrt oder Zielpunkt der Bewegung nach der Abfahrt</i>
O	[0]	Zustellbewegung
	0	Zustellbewegung und An-/Abfahrt getrennt
	1	Zustellung und An-/Abfahrt in einer Bewegung
Zielpunkt		
X/ XA/ XI		X-Koordinate
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Y/ YA/		Y-Koordinate

YI		YA	absolut
		YI	inkrementell
		Y	G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl

! Programmierhinweise

Mit den Koordinaten X, Y, Z wird bei der Anfahrt der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt ein Freifahrtpunkt nach der Abfahrbewegung programmiert.

G47 - Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis

Funktion

Der Befehl G47 definiert eine Anfahrbewegung oder eine Abfahrbewegung auf einem tangentialen Halbkreis mit definiertem Radius. Der Befehl definiert eine Anfahrt, wenn er zusammen mit der Anwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G41 oder G42) programmiert wird, oder eine Abfahrt, wenn er zusammen mit der Abwahl der Werkzeugradiuskorrektur (G40) programmiert wird. Eine andere Verwendung ist unzulässig.

Die Anfahrbewegung erfolgt in den folgenden Schritten:

1. Bewegung auf den Startpunkt der Anfahrt ohne Änderung in der Zustellachse
2. Absenken auf die Sicherheitsebene im Eilgang (entfällt ohne Angabe der Sicherheitsebene)
3. Absenken auf den Startpunkt der Anfahrt in der Zustellachse im Vorschub
4. Verfahren der Anfahrt im Vorschub ohne Änderung in der Zustellachse

Mit der Option O1 erfolgen die Schritte 3 und 4 in einer Bewegung. Die Abfahrt erfolgt in umgekehrter Reihenfolge.

NC-Satz

G40/G41/G42 G47 RR WV O X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI F E S M M

Adressen

G40/ G41 / G42		Werkzeugradiuskorrektur
	40	Abwahl
	41	links von der Kontur
	42	rechts von der Kontur
RR		Radius des Halbkreises Der Radius bezieht sich auf den Schneidenpunkt. Der Halbkreis an die Kontur ist um den Werkzeugradius größer.
WV	[*]	Sicherheitsebene <i>Voreinstellung: * aktuelle Position in der Zustellachse vor der Anfahrt oder Zielpunkt der Bewegung nach der Abfahrt</i>
O	[0]	Zustellbewegung
	0	Zustellbewegung und An-/Abfahrt getrennt
	1	Zustellung und An-/Abfahrt in einer Bewegung
Zielpunkt		
X/ XA/ XI		X-Koordinate
	XA	absolut
	XI	inkrementell
	X	G90/G91
Y/ YA/		Y-Koordinate

YI		YA	absolut
		YI	inkrementell
		Y	G90/G91
Z / ZA / ZI		Z-Koordinate	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91
Schnittwerte			
F		Vorschub	
E	[F]	Feinvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Maschinenbefehl	

! Programmierhinweise

Mit den Koordinaten X, Y, Z wird bei der Anfahrt der Startpunkt der Kontur und bei der Abfahrt ein Freifahrtpunkt nach der Abfahrbewegung programmiert.

G50 - Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen

Funktion

Der Befehl G50 setzt alle inkrementellen Transformationen bestehend aus den Nullpunktverschiebungen, den Drehungen sowie Spiegelungen und Skalierungen zurück. Die aktive Bearbeitungsebene bleibt erhalten.

Anschließend gilt wieder der zuletzt mit einem der Befehle G53 bis G57 festgelegte Nullpunkt.

NC-Satz

G50

! Programmierhinweise

Eine erneute Anwahl des aktiven Nullpunktes (G53 bis G57) hat genau den gleichen Effekt.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G51 - Einstellbare Nullpunkte setzen

Funktion

Der Befehl G51 setzt die Werte einer einstellbaren Nullpunktverschiebungen. Damit lassen sich zum Beispiel gemessene Koordinatenwerte als einstellbare Nullpunkte übernehmen.

Änderungen an den einstellbaren Nullpunkten sind modal wirksam und werden bei Programmstart auf die Werte aus dem Einrichtblatt zurückgesetzt. Das Einrichtblatt wird durch G51 nicht verändert.

Änderungen am aktiven einstellbaren Nullpunkt werden sofort aktiv.

NC-Satz

G51 Q XA/XI YA/YI ZA/ZI

Adressen

Q		Nummer des einstellbaren Nullpunktes (54-57)	
XA / XI	[XIO]	Verschiebung in X	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
YA / YI	[YIO]	Verschiebung in Y	
		YA	absolut
		YI	inkrementell
ZA / ZI	[ZIO]	Verschiebung in Z	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell

! Programmierhinweise

Die absoluten Adressen überschreiben den jeweils aktuellen Eintrag des Nullpunktes. Der Wert der inkrementellen Adressen wird zum jeweils aktuellen Eintrag des Nullpunktes addiert.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G52 - Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten

Funktion

Der Befehl G52 aktiviert die Interpolation in Maschinenkoordinaten nur für den enthaltenden NC-Satz. Der Befehl hat keine Auswirkung auf Folgesätze.

Bei der Interpolation in Maschinenkoordinaten werden der aktive einstellbare Nullpunkt (G54 bis G59) sowie alle Transformationen (G15, G16, G59), Spiegelungen (G66) und Skalierungen (G67) ignoriert. Die Werkzeugkorrektur wird berücksichtigt.

Die Interpolation in Maschinenkoordinaten kann absolut oder inkrementell erfolgen.

NC-Satz

G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D A S H F E S M M T T C T R T X T Y T Z
 G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) F E S M
 M T T C T R T X T Y T Z

Adressen

G		weiterer G-Befehl
Zielpunkt		
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y/ YA/ YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Rundachsen		
A/ AA/ AI		Wert der A-Achse
	AA	absolut
	AI	inkrementell
	A	G90/G91
B/ BA/ BI		Wert der B-Achse
	BA	absolut
	BI	inkrementell
	B	G90/G91

C/ CA/ CI		Wert der C-Achse
	CA	absolut
	CI	inkrementell
	C	G90/G91
Strecke		
D		Länge (positiv) Die Länge wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
AS		Anstiegswinkel Der Anstiegswinkel wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
Lösungsauswahl		
H	[1]	Winkelkriterium
	1	kleinerer Anstiegswinkel
	2	größerer Anstiegswinkel
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Maschinenbefehl
Werkzeug		
T		Werkzeug
TC		Korrekturwertsatz
TR		Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ		Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z

! Programmierhinweise

Die NC erwartet im selben NC-Satz eine Linearbewegung. Wird keine Bewegung explizit programmiert, so gilt die modal aktive Bewegung. Die Interpolation in Maschinenkoordinaten auf einem Kreisbogen beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Die Programmierung von Fasen oder Verrundungen ist ebenfalls unzulässig.

G53 - Maschinennullpunkt

Funktion

Der Befehl G53 aktiviert den Maschinennullpunkt. Die Aktivierung setzt alle inkrementellen Transformationen bestehend aus den Nullpunktverschiebungen, den Drehungen sowie Spiegelungen und Skalierungen zurück. Die aktive Bearbeitungsebene bleibt erhalten.

Der Maschinennullpunkt bleibt aktiv, bis er durch die Anwahl eines einstellbaren Nullpunktes (G54 bis G57) deaktiviert wird.

NC-Satz

G53

! Programmierhinweise

Mit Programmstart ist der Maschinennullpunkt aktiv.

G54-G57 - Einstellbare Nullpunkte

Funktion

Die Befehle G54 bis G57 aktivieren jeweils einen einstellbaren Nullpunkt. Die Aktivierung setzt alle inkrementellen Transformationen bestehend aus den Nullpunktverschiebungen, den Drehungen sowie Spiegelungen und Skalierungen zurück. Die aktive Bearbeitungsebene bleibt erhalten.

Der Nullpunkt bleibt aktiv, bis er durch die Anwahl eines anderen Nullpunktes (G53 bis G57) deaktiviert wird.

Alle einstellbaren Nullpunkte werden bei Programmstart von der NC aus dem Einrichtblatt gelesen.

NC-Satz

G54/G55/G56/G57

Adressen

G54 / G55 / G56 / G57	Nullpunkt	
	54	1. Einstellbarer Nullpunkt
	55	2. Einstellbarer Nullpunkt
	56	3. Einstellbarer Nullpunkt
	57	4. Einstellbarer Nullpunkt

Programmierhinweise

Mit Programmstart ist der Maschinennullpunkt (G53) aktiv.

G58 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung

Funktion

Die Nullpunktverschiebung G58 besteht aus einem Verschiebungsanteil in Polarkoordinaten in der ersten und zweiten Geometrieachse, einer optionalen Verschiebung in der dritten Geometrieachse als Zustellachse und in einer Drehung um die Zustellachse. Die Verschiebung in den ersten beiden Geometrieachs-Koordinaten X, Y erfolgt mit Polarkoordinaten RP, AP und in der Zustellachse durch eine optionale Verschiebung ZA/ZI. Die an die Verschiebung anschließende optionale Drehung um die G17-Zustellachse Z wird mit WA/WI programmiert. Im Fall einer Interpolationsebene mit IP0 als aktuelle Bearbeitungsebene können auch die Nullpunkte aller vorhandenen Dreh- oder Schwenkachsen A oder B oder C der Maschine verändert werden.

Alle Koordinatenangaben im nachfolgenden Programmverlauf beziehen sich solange auf das verschobene und/oder gedrehte Koordinatensystem, bis dieses mit G50 aufgehoben oder mit einem weiteren G58- oder G59-Befehl überschrieben oder ein anderer Einstellbarer Nullpunkt programmiert wird.

NC-Satz

G58 RP AP ZA/ZI WA/WI AA/AI BA/BI CA/CI

Adressen

		Verschiebung	
RP		Polarradius	
AP		Polarwinkel	
ZA / ZI	<i>[ZI0]</i>	Nullpunktverschiebung in Z	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Drehung	
WA / WI	<i>[WI0]</i>	Drehung in der Interpolationsebene	
		WA	absolut
		WI	inkrementell
		Rundachsen	
AA / AI	<i>[AI0]</i>	Verschiebung des A-Achs-Nullpunktes	
		AA	absolut
		AI	inkrementell
BA / BI	<i>[BI0]</i>	Verschiebung des B-Achs-Nullpunktes	
		BA	absolut
		BI	inkrementell
CA / CI	<i>[CI0]</i>	Verschiebung des C-Achs-Nullpunktes	
		CA	absolut
		CI	inkrementell

Programmierhinweise

Die Programmierung der Winkelverschiebungen AA/AI oder BA/BI oder CA/CI ist nur unter den folgenden Voraussetzungen programmierbar:

- Die aktive Bearbeitungsebene ist die Interpolationsebene IPO.
- Die programmierte Drehachse ist auch an der Maschine vorhanden.

Es sind absolute und inkrementelle Koordinaten gemischt programmierbar.

Ein absoluter Koordinatenwert ZA oder absoluter Winkelwert WA bezieht sich auf das Koordinatensystem des aktiven Einstellbaren Nullpunktes.

Ein inkrementeller Koordinatenwert ZI oder inkrementeller Winkelwert WI bezieht sich auf das aktuelle Werkstückkoordinatensystem.

Man beachte, dass ZA in G58 nicht die selbthaltenden/modalen Adresse des aktuellen Werkstückkoordinatensystems sondern eine Verschiebung der Achskoordinate des Koordinatensystems des aktuellen Einstellbaren Nullpunktes ist und ZI keine inkrementelle Adresse zur aktuellen Werkzeugposition sondern eine Verschiebung im aktuellen Werkstückkoordinatensystem ist.

Man beachte weiter, dass AA, BA, CA in G58 nicht die selbthaltenden/modalen Rundachswerte bezogen auf den aktuellen Rundachsnullpunkt sind, sondern absolute Rundachswerte bezogen auf die Rundachs-Referenzwerte sind.

Entsprechend sind AI, BI, CI keine inkrementellen Adressen zu den aktuellen Rundachspositionen sondern Rundachskoordinaten bezogen auf die aktuellen Rundachsnullpunkte.

Nach der Verschiebung wird das verschobene Werkstückkoordinatensystem optional um den Winkel WAWI um die Zustellachse gedreht. Die Winkelangaben beziehen sich auf die positive erste Geometrieachse.

Wichtige Hinweise:

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Eine aktive Spiegelung wird vor der Verschiebung aufgehoben, wenn die absolute Eingabeadresse ZA programmiert ist.

Alle Drehungen werden aufgehoben, wenn mit G15 eine Fräsbearbeitungsebene programmiert wird.

G59 - Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

Funktion

Mit dem Befehl G59 wird mit optionalen Verschiebungsadressen ein Punkt in den Werkstückkoordinaten X, Y, Z des aktuellen Werkstückkoordinatensystems als neuer Werkstücknullpunkt festgelegt und danach das neue Werkstückkoordinatensystem optional um die Zustellachse gedreht.

Im Fall einer Interpolationsebene mit IP0 als aktuelle Bearbeitungsebene können auch die Nullpunkte aller vorhandenen Dreh- oder Schwenkachsen A oder B oder C der Maschine verändert werden.

Alle Koordinatenangaben im nachfolgenden Programmverlauf beziehen sich solange auf das verschobene und/oder gedrehte Koordinatensystem, bis dieses aufgehoben oder mit einem weiteren G59-Befehl überschrieben oder ein anderer Nullpunkt programmiert wird.

NC-Satz

G59 **XA/XI** **YA/YI** **ZA/ZI** **WA/WI** **AA/AI** **BA/BI** **CA/CI**

Adressen

		Verschiebung	
XA / XI	[X10]	Nullpunktverschiebung in X	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
YA / YI	[Y10]	Nullpunktverschiebung in Y	
		YA	absolut
		YI	inkrementell
ZA / ZI	[Z10]	Nullpunktverschiebung in Z	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
Drehung			
WA / WI	[W10]	Drehung in der Interpolationsebene	
		WA	absolut
		WI	inkrementell
Rundachsen			
AA / AI	[A10]	Verschiebung des A-Achs-Nullpunktes	
		AA	absolut
		AI	inkrementell
BA / BI	[B10]	Verschiebung des B-Achs-Nullpunktes	
		BA	absolut
		BI	inkrementell
CA / CI	[C10]	Verschiebung des C-Achs-Nullpunktes	

	CA	absolut
	CI	inkrementell

! Programmierhinweise

Ein absoluter Koordinatenwert XA, YA, ZA oder absoluter Winkelwert WA mit dem Endbuchstaben 'A' bezieht sich auf das Koordinatensystem des aktiven Einstellbaren Nullpunktes. Ein inkrementeller Koordinatenwert XI, YI, ZI oder inkrementeller Winkelwert WI mit dem Endbuchstaben 'I' bezieht sich auf das aktuelle Werkstückkoordinatensystems.

Man beachte, dass XA, YA, ZA in G59 nicht die selbsthaltenden/modalen Adressen des aktuellen Werkstückkoordinatensystems sondern Verschiebungen für Achskoordinaten des Koordinatensystems des aktuellen Einstellbaren Nullpunktes sind und XI, YI, ZI, keine inkrementellen Adressen zur aktuellen Werkzeugposition sondern Verschiebungen im aktuellen Werkstückkoordinatensystem sind.

Man beachte weiter, dass AA, BA, CA in G59 nicht die selbsthaltenden/modalen Rundachswerte bezogen auf den aktuellen Rundachsnullpunkt sind, sondern absolute Rundachswerte bezogen auf die Rundachs-Referenzwerte sind. Entsprechend sind AI, BI, CI keine inkrementellen Adressen zu den aktuellen Rundachspositionen sondern Rundachskoordinaten bezogen auf die aktuellen Rundachsnullpunkte.

Die Programmierung der Winkelverschiebungen AA/AI oder BA/BI oder CA/CI ist nur unter den folgenden Voraussetzungen programmierbar:

- Die aktive Bearbeitungsebene ist die Interpolationsebene IPO.
- Die programmierte Drehachse ist auch an der Maschine vorhanden.

Es sind absolute und inkrementelle Koordinaten gemischt programmierbar.

Die gemischte Programmierung ist aber nicht sinnvoll, wenn das aktuelle Werkstückkoordinatensystem gegenüber dem Maschinenkoordinatensystem um +/-90 Grad gedreht ist, da dann eine inkrementelle Verschiebung in der einen Geometrieachse mit der positiven oder negativen anderen Geometrieachse übereinstimmt.

Nach der Verschiebung wird das verschobene Werkstückkoordinatensystem optional um den Winkel WAWI um die Zustellachse gedreht. Die Winkelangaben beziehen sich auf die positive erste Geometrieachse.

Da bei einem gedrehten (!=0 Grad, !=180 Grad) aktuellen Werkstückkoordinatensystem die Verschiebung des Werkstücknullpunktes in der Bearbeitungsebene mit einer absoluten und einer inkrementellen Bearbeitungsebenenkoordinate von der Reihenfolge dieser beiden Verschiebungen abhängt, wird für G59 eine Reihenfolge festgelegt:

Es werden stets zuerst die inkrementellen Koordinatenverschiebungen - falls vorhanden - ausgeführt und daran anschließend die absoluten Koordinatenverschiebungen.

Soll eine Verschiebung mit einer absoluten und einer inkrementellen Bearbeitungsebenenkoordinate jedoch in umgekehrter Reihenfolge ausgeführt werden (also zuerst die absolute Verschiebung), so muss der G59 Befehl in zwei G59 Befehle aufgeteilt werden:

Beispiel für G17 mit Zustellachse Z

G59 XA/YA ZA/ZI	absolute Verschiebung in einer Bearbeitungsebenenkoordinate X oder Y
G59 YI/XI WAWI	inkrementelle Verschiebung in der anderen Bearbeitungsebenenkoordinate
	Verschiebung in der Zustellachse Z in beliebiger Zeile

Eine aktive Spiegelung wird vor der Verschiebung aufgehoben, wenn eine der absoluten Eingabeadressen XA, YA, ZA programmiert ist.

Alle Drehungen werden aufgehoben, wenn mit G15 eine neue Fräsbearbeitungsebene programmiert wird.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G61 - Linearinterpolation für Konturzüge

Funktion

Der Befehl G61 erzeugt eine Bewegung im Vorschub. Der programmierte Zielpunkt wird linear mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G1 werden erweiterte geometrische Funktionen (Länge, Anstiegswinkel und Übergangswinkel der Strecke) für die Programmierung von Konturzügen unterstützt. Zusätzlich können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt unbestimmt sein.

NC-Satz

G61 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D AT AS RN O H F E S M M

Adressen

		Zielpunkt
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y/ YA/ YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Strecke		
D		Länge (positiv) Die Länge wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
AT		Übergangswinkel im Startpunkt Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung. Insbesondere AT0 tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang.
AS		Anstiegswinkel Der Anstiegswinkel wird in der aktiven Interpolationsebene gemessen.
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius

		<0 Fasenbreite
Lösungsauswahl		
O	[1]	Längenkriterium
		1 kürzere Strecke
		2 längere Strecke
H	[1]	Winkelkriterium
		1 kleinerer Anstiegswinkel
		2 größerer Anstiegswinkel
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion ist für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Das Längenkriterium (O) hat Vorrang gegenüber dem Winkelkriterium (H).

Für das Winkelkriterium werden die Winkel auf den Bereich zwischen 0 Grad und +360 Grad normiert und anschließend verglichen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G62 - Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge

Funktion

Der Befehl G62 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen im Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G2 werden erweiterte geometrische Funktionen (Radius und verschiedene Winkel des Kreisbogens) für die Programmierung von Konturzügen unterstützt. Zusätzlich können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt unbestimmt sein.

NC-Satz

G62 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI I/IA J/JA R AT AS AO AE AP RN O H F
E S M M

Adressen

		Zielpunkt
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y/ YA/ YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Kreisbogen		
I/ IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
J/ JA		Y-Koordinate des Mittelpunktes
	JA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	J	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl
		>0 kürzerer Bogen <0 längerer Bogen

AT		Übergangswinkel im Startpunkt Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung. Insbesondere AT0 tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang.
AS		Tangentenwinkel im Startpunkt
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
AE		Tangentenwinkel im Zielpunkt
AP		Polarwinkel des Zielpunktes
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite
Lösungsauswahl		
O	[1]	Längenkriterium
	1	kürzerer Bogen
	2	längerer Bogen
H	[1]	Winkelkriterium
	1	kleinerer Winkel der Tangente im Startpunkt
	2	größerer Winkel der Tangente im Startpunkt
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Mittelpunktskordinaten programmiert werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion ist für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Das Längenkriterium (O) hat Vorrang gegenüber dem Winkelkriterium (H).

Für das Winkelkriterium werden die Winkel auf den Bereich zwischen 0 Grad und +360 Grad normiert und anschließend verglichen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G63 - Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

Funktion

Der Befehl G63 erzeugt eine Bewegung auf einem Kreisbogen entgegen dem Uhrzeigersinn. Der programmierte Zielpunkt wird auf einem Kreisbogen in der aktiven Interpolationsebene und linear in der Zustellachse mit dem aktiven Vorschub angefahren. Alle Achsen werden interpoliert verfahren, d.h. sie erreichen den jeweiligen Zielwert gleichzeitig.

Im Unterschied zum Befehl G3 werden erweiterte geometrische Funktionen (Radius und verschiedene Winkel des Kreisbogens) für die Programmierung von Konturzügen unterstützt. Zusätzlich können sowohl der Start- als auch der Zielpunkt unbestimmt sein.

NC-Satz

G63 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI I/IA J/JA R AT AS AO AE AP RN O H F
E S M M

Adressen

		Zielpunkt
X/ XA/ XI		X-Koordinate des Zielpunktes
	XA	absolute Koordinate
	XI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	X	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Y/ YA/ YI		Y-Koordinate des Zielpunktes
	YA	absolute Koordinate
	YI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Y	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Z/ ZA/ ZI		Z-Koordinate des Zielpunktes
	ZA	absolute Koordinate
	ZI	inkrementelle Koordinate bezogen auf die aktuelle Werkzeugposition
	Z	absolute oder inkrementelle Koordinate gesteuert durch G90/G91
Kreisbogen		
I/ IA		X-Koordinate des Mittelpunktes
	IA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	I	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
J/ JA		Y-Koordinate des Mittelpunktes
	JA	Mittelpunktskoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
	J	inkrementelle Koordinate zur aktuellen Werkzeugposition
R		Radius des Kreisbogens und Lösungsauswahl >0 kürzerer Bogen

		<0 längerer Bogen
AT		Übergangswinkel im Startpunkt Übergangswinkel im Startpunkt zur vorhergehenden Verfahrbewegung ohne Übergangselement gemessen von der Endrichtung der vorhergehenden Verfahrbewegung. Insbesondere AT0 tangentialer Übergang und AT180 spitzer Tangentenübergang.
AS		Tangentenwinkel im Startpunkt
AO		Öffnungswinkel (positiv) Der Öffnungswinkel wird ohne Vorzeichen programmiert, weil die Orientierung des Kreisbogens über den Befehl festgelegt wird.
AE		Tangentenwinkel im Zielpunkt
AP		Polarwinkel des Zielpunktes
RN	[0]	Übergangselement >0 Verrundungsradius <0 Fasenbreite

Lösungsauswahl

O	[1]	Längenkriterium
		1 kürzerer Bogen
		2 längerer Bogen
H	[1]	Winkelkriterium
		1 kleinerer Winkel der Tangente im Startpunkt
		2 größerer Winkel der Tangente im Startpunkt

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F]	Feinvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

Je nach Ebenenanwahl können nur die zu dieser Ebene gehörigen beiden Mittelpunktskoordinaten programmiert werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Orientierung des Kreisbogens

Die Angabe 'im Uhrzeigersinn' oder 'entgegen dem Uhrzeigersinn' gilt für die Relativbewegung des Werkzeuges gegenüber dem Werkstück bei Blick auf die Interpolationsebene in negativer Richtung der auf dieser Ebene senkrecht stehenden Koordinatenachse (rechtsdrehendes Koordinatensystem).

Selbthaltefunktion

Die Selbsthaltefunktion ist für die ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene ausgesetzt.

Lösungsauswahl

Die NC bestimmt aus allen programmierten Adressen die resultierende Bewegung. Bei unzureichenden oder widersprüchlichen Angaben beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung. Wenn mehr als eine Bewegung den Vorgaben entspricht, erfolgt die Auswahl über die programmierte Lösungsauswahl.

Bei der Programmierung des Radius (R) erfolgt die Lösungsauswahl zusätzlich über das Vorzeichen des Radius nach dem Längenkriterium, falls die Lösungsauswahl (O) nicht explizit vorgegeben wird.

Das Längenkriterium (O) hat Vorrang gegenüber dem Winkelkriterium (H).

Für das Winkelkriterium werden die Winkel auf den Bereich zwischen 0 Grad und +360 Grad normiert und anschließend verglichen.

Übergangselement

Das Übergangselement wird am Übergang zur nächsten Bewegung in der Interpolationsebene eingefügt. Auf dem Übergangselement findet keine Bewegung in der Zustellachse statt. Die gesamte Zustellung ist vorher abgeschlossen.

G66 - Spiegeln

Funktion

Der Befehl G66 definiert eine Spiegelung des Werkstückkoordinatensystems. Die Spiegelung erfolgt in der aktiven Interpolationsebene in den folgenden 4 Varianten:

1. Spiegeln an der X-Achse

Der Befehl G66 X spiegelt die Interpolationsebene an der X-Achse. Die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 wird getauscht.

2. Spiegeln an der Y-Achse

Der Befehl G66 Y spiegelt die Interpolationsebene an der Y-Achse. Die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 wird getauscht.

3. Spiegeln an der X- und Y- Achse gleichzeitig

Der Befehl G66 X Y spiegelt an X- und Y- Achse gleichzeitig. Das entspricht einer Punktspiegelung oder Drehung um 180 Grad. Die Bedeutung der Wegbedingungen G2 und G3 sowie G41 und G42 bleibt erhalten.

4. Keine Spiegelung

Der Befehl G66 (ohne weitere Adressen) hebt alle aktiven Spiegelungen auf. Diese Variante ist die Voreinstellung bei Programmstart.

Dabei steht die X für die 1. Geometrieachse und die Y für die 2. Geometrieachse in der aktiven Interpolationsebene. Eine Spiegelung der Zustellachse ist nicht möglich.

Eine programmierte Spiegelung bleibt modal erhalten, bis sie durch eine erneute Spiegelung überschrieben wird. Mit Programmstart werden alle Spiegelungen zurückgesetzt.

NC-Satz

G66 X Y

Adressen

X	Spiegeln an der X-Achse X ohne Adresswert
Y	Spiegeln an der Y-Achse Y ohne Adresswert

! Programmierhinweise

Der Befehl G66 ohne Adressen hebt alle bestehenden Skalierungen auf.

Die Spiegelungen erfolgen absolut immer vom Ausgangssystem aus. Insbesondere ist damit die aufeinanderfolgende Programmierung von G66 X und G66 Y von G66 X Y verschieden.

Die Auswirkung der Spiegelung hängt von der aktiven Interpolationsebene ab. Die Anwahl einer Interpolationsebene hebt automatisch alle aktiven Spiegelungen auf.

Die in einem gespiegelten Koordinatensystem programmierten Nullpunkte bleiben erhalten.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G67 - Skalieren

Funktion

Der Befehl G67 setzt den Skalierungsfaktor für die Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene. Ein Faktor größer 1 bedeutet eine Vergrößerung um den Faktor gegenüber dem nicht skalierten Werkstückkoordinatensystem, ein Faktor kleiner 1 eine Verkleinerung. Die Skalierung kann für die Zustellachse (Z in G17) unabhängig von der Skalierung in der Interpolationsebene (X, Y in G17) gesetzt werden.

Eine programmierte Skalierung bleibt modal erhalten, bis sie durch eine erneute Skalierung überschrieben wird. Mit Programmstart werden alle Skalierungen auf den Faktor 1 zurückgesetzt.

NC-Satz

G67 **SK** **Q**

Adressen

SK	[1]	Skalierungsfaktor
		SK=1: Zurück zum Originalmaßstab
		SK>1: Vergrößerung um den Faktor SK gegenüber dem nicht skalierten Werkstückkoordinatensystem
		SK<1: Verkleinerung um den Faktor SK gegenüber dem nicht skalierten Werkstückkoordinatensystem
Q	[1]	Achsauswahl
	1	Skalierung aller drei Geometrieachsen (X, Y und Z)
	2	Skalierung der ersten beiden Geometrieachsen der aktiven Interpolationsebene (X und Y in G17)
	3	Skalierung der dritten Geometrieachse (Zustellachse) der aktiven Interpolationsebene (Z in G17)

! Programmierhinweise

Der Befehl G67 ohne Adressen hebt alle bestehenden Skalierungen auf.

Werden über die Achsauswahl nicht alle Achsen skaliert (Q2 und Q3), bleibt die bestehende Skalierung für alle nicht betroffenen Achsen erhalten.

Die Auswirkung der Skalierung hängt von der aktiven Interpolationsebene ab. Für den Fall, dass in Zustellachse und Interpolationsebene unterschiedliche Skalierungsfaktoren aktiv sind, führt ein Wechsel der Interpolationsebene zu unerwartetem Verhalten. Es wird empfohlen die Skalierung in jedem Fall anschließend neu aufzusetzen.

Vorschübe, Schnittgeschwindigkeiten sowie die An- und Abfahrbewegungen der Werkzeugradiuskompensation werden unter anderem nicht skaliert.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G70 - Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)

Funktion

Der Befehl G70 setzt die aktive Maßeinheit auf Zoll (Inch). Alle Positions- und Längenangaben sind nach der Programmierung von G70 im Zollmaß anzugeben.

Ebenso verändern sich die Einheiten der Technologiedaten für:

1. die Vorschubgeschwindigkeit in Inch pro Umdrehung (in/U)
2. die Schnittgeschwindigkeit in Fuß pro Minute (ft/min)

Die Maßeinheit bleibt modal wirksam, bis sie mit G71 umgesetzt wird. Bei Programmstart ist als Voreinstellung immer das metrische Maßsystem aktiv.

NC-Satz

G70

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G71 - Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)

Funktion

Der Befehl G71 setzt die aktive Maßeinheit auf Millimeter (mm). Alle Positions- und Längenangaben sind nach der Programmierung von G71 im metrischen Maßsystem anzugeben.

Ebenso verändern sich die Einheiten der Technologiedaten für:

1. die Vorschubgeschwindigkeit in Millimeter pro Umdrehung (mm/U)
2. die Schnittgeschwindigkeit in Meter pro Minute (m/min)

Die Maßeinheit bleibt modal wirksam, bis sie mit G70 umgesetzt wird. Bei Programmstart ist als Voreinstellung immer das metrische Maßsystem aktiv.

NC-Satz

G71

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G90 - Absolutmaßangabe

Funktion

Der Befehl G90 aktiviert die Absolutmaßangabe. Bei aktiver Absolutmaßangabe beziehen sich alle Koordinatenangaben X, Y, Z auf den Werkstücknullpunkt - im Gegensatz zur Kettenmaßangabe (G91), bei der sich die Koordinatenangaben auf die aktuelle Werkzeugposition beziehen.

Die Absolutmaßangabe bleibt modal wirksam, bis sie mit G91 (Kettenmaßangabe) überschrieben wird. Die Voreinstellung bei Programmstart ist G90.

NC-Satz

G90

G91 - Kettenmaßangabe

Funktion

Der Befehl G91 aktiviert die Kettenmaßangabe. Bei aktiver Kettenmaßangabe beziehen sich alle Koordinatenangaben X, Y, Z auf die aktuelle Werkzeugposition - im Gegensatz zur Absolutmaßangabe (G90), bei der sich die Koordinatenangaben auf den Werkstücknullpunkt beziehen.

Die Kettenmaßangabe bleibt modal wirksam, bis sie mit G90 (Absolutmaßangabe) überschrieben wird. Die Voreinstellung bei Programmstart ist G90.

NC-Satz

G91

G94 - Vorschub in Millimeter pro Minute

Funktion

Der Befehl G94 setzt das aktive Vorschubmaß auf Millimeter pro Minute. Im Vorschubmaß Millimeter pro Minute werden alle Vorschübe (F) und Feinvorschübe (E) in Millimeter pro Minute programmiert. Das Vorschubmaß bleibt modal aktiv, bis es durch G95 umgesetzt wird.

NC-Satz

G94 **F** **E**

Adressen

F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub

Programmierhinweise

Die NC hält getrennte Vorschübe für G94 und G95. Nach einem Wechsel auf G94 ist wieder der zuletzt unter G94 programmierte Vorschub aktiv.

Wenn eine Bewegung im Vorschub programmiert wird, ohne dass vorher ein Vorschub gesetzt wurde, meldet die NC den Fehler 'Kein Vorschub programmiert'.

Für alle PAL-Fräsmaschinen ist G94 die Voreinstellung bei Programmstart.

G95 - Vorschub in Millimeter pro Umdrehung

Funktion

Der Befehl G95 setzt das aktive Vorschubmaß auf Millimeter pro Umdrehung. Im Vorschubmaß Millimeter pro Umdrehung werden alle Vorschübe (F) und Feinvorschübe (E) in Millimeter pro Umdrehung programmiert. Das Vorschubmaß bleibt modal aktiv, bis es durch G94 umgesetzt wird.

NC-Satz

G95 **F** **E**

Adressen

F		Vorschub
E	<i>[F]</i>	Feinvorschub

Programmierhinweise

Die NC hält getrennte Vorschübe für G94 und G95. Nach einem Wechsel auf G95 ist wieder der zuletzt unter G95 programmierte Vorschub aktiv.

Wenn eine Bewegung im Vorschub programmiert wird, ohne dass vorher ein Vorschub gesetzt wurde, meldet die NC den Fehler 'Kein Vorschub programmiert'.

Für alle PAL-Drehmaschinen ist G95 die Voreinstellung bei Programmstart.

G96 - Konstante Schnittgeschwindigkeit

Funktion

Der Befehl G96 schaltet die NC in die Betriebsart Konstante Schnittgeschwindigkeit. In dieser Betriebsart wird im Register S die Schnittgeschwindigkeit in der Einheit Meter pro Minute programmiert. Die NC regelt die aktive Spindel, so dass die programmierte Schnittgeschwindigkeit erreicht und beibehalten wird.

Die NC entscheidet anhand des aktiven Werkzeugs, ob die Schnittgeschwindigkeit am Werkstück gemessen wird (Drehwerkzeuge) oder am Werkzeug (Fräser und Bohrer).

Die Betriebsart bleibt bestehen bis sie mit G97 aufgehoben wird. Mit Programmstart ist als Voreinstellung die Betriebsart Konstante Drehzahl (G97) aktiv.

NC-Satz

G96 S

Adressen

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
----------	---------------------------------

Programmierhinweise

Um beim Drehen mit kleinen X-Koordinatenwerten sicherzustellen, dass die Drehzahl nicht über einen für die Werkstückspannung maximal zulässigen Wert ansteigt, sollte ergänzend mit dem Befehl G92, eine Drehzahlbegrenzung programmiert werden.

G97 - Konstante Drehzahl

Funktion

Der Befehl G97 schaltet die NC in die Betriebsart Konstante Drehzahl. In dieser Betriebsart wird im Register S eine Drehzahl in der Einheit Umdrehungen pro Minute programmiert.

Die Betriebsart bleibt bestehen bis sie mit G96 aufgehoben wird. Mit Programmstart ist als Voreinstellung die Betriebsart Konstante Drehzahl (G97) aktiv.

NC-Satz

G97 S

Adressen

S	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
----------	---------------------------------

Programmierhinweise

Bei einem Wechsel von G96 auf G97 behält die NC die aktuelle Drehzahl bei, sofern keine Drehzahl im selben NC-Satz programmiert wird.

PAL2019-Bearbeitungszyklen

•	Generelle Erweiterungen bei allen PAL2019-Taschen- & Freistellzyklen
G24	Modale Adressen für Fräszyklen
G34	Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren
G35	Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus
G36	Restmaterial-Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus
G37	Schlichttechnologie des Konturtaschenzyklus
G38	Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus
G39	Abschluss Konturtaschenzyklus
G48	Gravieren
G49	Konturfräszyklus
G69	Mehrkantzyklus
G72	Rechtecktaschenzyklus
G73	Kreistaschenzyklus
G74	Nutzenzyklus
G75	Kreisbogennutzenzyklus
G76	Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter
G77	Mehrfachzyklus auf einem Teilkreis
G78	Zyklusaufruf auf einem Punkt in Polarkoordinaten
G79	Zyklusaufruf auf einem Punkt
G80	Zyklusabschluss
G81	Bohrzyklus
G82	Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch
G83	Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren
G84	Gewindebohrzyklus
G85	Reibzyklus
G86	Ausdrehzyklus
G87	Bohrfräszyklus
G88	Innengewindefräszyklus
G89	Außengewindefräszyklus

Generelle Erweiterungen bei allen PAL2019-Taschen- & Freistellzyklen

1. Fasen und angesetzte Stufen

Bei allen PAL-Taschen- und Freistellzyklen können mit der Steueradresse QM die Berandungskanten mit einer Fase oder angesetzten Stufen versehen werden. Im Fall von angesetzten Stufen werden die Kanten nacheinander durch wiederholte Zyklusaufufe gefast. Das Werkzeug und die Fasenbreite müssen so gewählt werden, dass das Fasen kollisionsfrei möglich ist und keine Stufen verletzt werden.

Dazu ist zum Fasen ein erneuter Zyklusaufuf oder eine Zykluswiederholung mit geänderter Steueradresse QM und einem eingewechselten Fas-Werkzeug erforderlich. Z.B. durch Programmteilwiederholung und Parameterwertzuweisungen für QM, T und die Bearbeitungstechnologie.

Zum Fasen können die folgenden Werkzeugtypen verwendet werden:

- Fasenfräser
- Winkelfräser
- Entgrat-Werkzeuge
- Prismenfräser

2. Allgemeine Zustellfolge mit Startzustellung DS und Endzustellung DE

3. Schlichten

Das Schlichten kann in mehreren vertikalen und horizontalen Zustellungen erfolgen.

Optional kann das Schlichten auch durch Leerschnitte zur Verbesserung der Oberfläche ergänzt werden.

4. In-Prozess-Messen

Es können die Berandungen und der Boden einer Zyklusgeometrie als Aufrufvariante mit einem Messtaster gemessen und Verschleißkorrekturwerte gesetzt werden und die Ergebnisse zu einem Messprotokoll zusammengefasst werden.

Generelle Erweiterungen bei allen PAL2019-Taschen- & Freistellzyklen

1. Fasen und angesetzte Stufen

Bei allen PAL-Taschen- und Freistellzyklen können mit der Steueradresse QM die Berandungskanten mit einer Fase oder angesetzten Stufen versehen werden. Im Fall von angesetzten Stufen werden die Kanten nacheinander durch wiederholte Zyklusaufufe gefast. Das Werkzeug und die Fasenbreite müssen so gewählt werden, dass das Fasen kollisionsfrei möglich ist und keine Stufen verletzt werden.

Dazu ist zum Fasen ein erneuter Zyklusaufuf oder eine Zykluswiederholung mit geänderter Steueradresse QM und einem eingewechselten Fas-Werkzeug erforderlich. Z.B. durch Programmteilwiederholung und Parameterwertzuweisungen für QM, T und die Bearbeitungstechnologie.

Zum Fasen können die folgenden Werkzeugtypen verwendet werden:

- Fasenfräser
- Winkelfräser
- Entgrat-Werkzeuge
- Prismenfräser

2. Allgemeine Zustellfolge mit Startzustellung DS und Endzustellung DE

3. Schichten

Das Schichten kann in mehreren vertikalen und horizontalen Zustellungen erfolgen.

Optional kann das Schichten auch durch Leerschnitte zur Verbesserung der Oberfläche ergänzt werden.

G24 - Modale Adressen für Fräszyklen

Funktion

Der Befehl G24 setzt modal wirksame Adressen zum Fräsen von Fasen und Stufen, zum trochoidalen Fräsen (HSC) sowie zur Vorschuboptimierung. Die Adressen werden von allen Fräszyklen, welche die entsprechenden Funktionen unterstützen, verwendet.

NC-Satz

G24 CB CM RD SG OH FR VH DR AA BA WA BB WB BC WC BD WD FM DV

Adressen

		Fasen
CB	[0]	Fasenbreite
CM	[50]	Arbeitsbereich Der Arbeitsbereich legt fest, welcher Bereich vom Werkzeug für die Bearbeitung der Fase verwendet wird. Der Wert ist eine Prozentangabe und bezieht sich immer auf dem maximal zulässigen Arbeitsbereich des jeweils aktiven Werkzeugs. Es gilt: 0%: Oberkante der Fase entspricht der Oberkante des Werkzeugs 100%: Unterkante der Fase entspricht der Unterkante des Werkzeugs
		HSC-Fräsen
RD	[5]	Minimaler Radius bei An- und Abfahrbewegungen ohne Bearbeitung in Prozent des minimalen Radius der trochoidalen Bearbeitung RM (um Eckenfahrten zu vermeiden)
SG	[10]	An- und Abfahrradius mit Bearbeitung an die Kontur und an den minimalen trochoidalen Radius RM in Prozent des minimalen Radius RM
OH	[3]	Schruppsteueradresse 1 Ohne Konturfolgen 2 Mit Konturfolgen 3 Ohne Konturfolgen aber mit abschließendem Konturschnitt 4 Vollkreisbewegung
FR	[9000]	Pseudo-Eilganggeschwindigkeit
VH	[1]	Horizontaler Sicherheitsabstand
DR	[2]	Rückzugshöhe bei der Seitenwechselbewegung
AA	[5]	Abhebewinkel ab Erreichen des horizontalen Sicherheitsabstands bis zur Rückzugshöhe
		Stufen
BA	[0]	Breite der 1. Stufe

WA	[0]	Tiefe der 1. Stufe
BB	[0]	Breite der 2. Stufe
WB	[0]	Tiefe der 2. Stufe
BC	[0]	Breite der 3. Stufe
WC	[0]	Tiefe der 3. Stufe
BD	[0]	Breite der 4. Stufe
WD	[0]	Tiefe der 4. Stufe

Vorschuboptimierung

FM	[150]	<p>Maximaler Vorschub</p> <p>Die Vorschuboptimierung erzeugt keinen Vorschub größer dem maximalen Vorschub.</p> <p>Der maximale Vorschub wird in Prozent des im Zyklus verwendeten Vorschubs festgelegt.</p>
DV	[25]	<p>Minimale Verfahrlänge</p> <p>Die Vorschuboptimierung erzeugt keine Bewegungen kleiner der minimalen Verfahrlänge.</p> <p>Die minimale Verfahrlänge wird in Prozent des im Zyklus verwendeten Werkzeugdurchmessers festgelegt.</p>

! Programmierhinweise

Beim Programmstart werden alle Adressen automatisch mit den Vorgabewerten belegt. Alle Adressen, die nicht programmiert werden, bleiben unverändert. Damit müssen nur die Änderungen programmiert werden.

Die Stufen werden in ihrer Ordnung, beginnend mit der 1. Stufe, gefertigt.

G34 - Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren

Funktion

Der Befehl G34 eröffnet den allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus. Der Konturtaschenzyklus besteht aus einer Eröffnung (G34), der Definition der Technologie (G35, G36 und G37), einer Folge von geschlossenen Taschen- oder Inselkonturen (G38) und dessen Abschluss und Ausführung (G39).

Mit der Eröffnung werden die Taschentiefe und die Aufmaße festgelegt. Zusätzlich gibt es die Möglichkeit die technologischen Daten für ein Vorbohren zu programmieren.

NC-Satz

G34 ZA/ZI RA RI AK AL T TC AB D DR DM U O VB F S M M

Adressen

		Tasche	
ZA/ ZI		Tiefe der Tasche	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell	
RA	[0]	Verrundungsradius für Außenecken	
RI	[0]	Verrundungsradius für Innenecken	
		Aufmaße	
AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur	
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden	
		Vorbohren	
T		Vorbohrwerkzeug	
TC	[1]	Korrekturwertregister	
AB	[0]	Sicherheitsabstand zum Rand Der Sicherheitsabstand wirkt zusätzlich zum Aufmaß (AK).	
D	[0]	Maximale Zustelltiefe <i>Voreinstellung: Bei einer Zustelltiefe von 0 wird in einer Bearbeitung auf Endtiefe gebohrt.</i>	
DR	[0]	Reduzierwert der Zustelltiefe (positiv)	
DM	[*]	Mindestzustellung <i>Voreinstellung: * Werkzeugradius / 2</i>	
U	[1]	Verweilzeit am Bohrgrund	
O	[2]	Verweilzeiteinheit	

		1	Verweilzeit in Sekunden
		2	Verweilzeit in Umdrehungen
VB	[1]	Sicherheitsabstand vom Bohrgrund Der Sicherheitsabstand wirkt zusätzlich zu AL.	
Schnittwerte (Vorbohren)			
F		Vorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	

! Programmierhinweise

Die inkrementelle Taschentiefe bezieht sich auf die Materialoberfläche aus dem Abschluss des Konturtaschenzyklus (G39).

Zusätzlich zur Taschentiefe aus der Eröffnung des Konturtaschenzyklus kann jeder Tasche eine individuelle Tiefe und jeder Insel eine individuelle Höhe zugeordnet werden. Der Zyklus erstellt eine geordnete Folge der Taschentiefen und Inselhöhen. Zu jeder Tiefe werden die zugehörigen sich überlappenden Taschen- und Inselflächen mengentheoretisch vereinigt und dann in absteigender Reihenfolge herausgearbeitet.

Die Positionen für das Vorbohren und die Zustellung beim Schrappen und Schlichten werden automatisch durch den Zyklus berechnet.

Alle verwendeten Werkzeuge werden vom Taschenzyklus automatisch eingewechselt.

Ohne ein positives Aufmaß auf die Kontur entfällt die Schlichtbearbeitung des Randes. Das Gleiche gilt für das Aufmaß und die Schlichtbearbeitung des Bodens.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G35 - Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus

Funktion

Der Befehl G35 ist Bestandteil des allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus. Der Befehl kann in jedem Konturtaschenzyklus einmalig verwendet werden, um die technologischen Daten für den Arbeitsschritt Schruppen zu setzen.

NC-Satz

G35 T TC TR TX TY TZ D DS DE DB V Q O RH DH / AE RM F E S M M OF RA DM

Adressen

		Werkzeug
T		Werkzeugnummer
TC	[1]	Korrekturwertsatz
TR	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z
		Zustellung
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Die verwendete Zustellung $\leq D$ wird so berechnet, dass die mit D zu bearbeitende Gesamtzustelltiefe ein ganzzahliges Vielfaches der verwendeten Zustellung ist. <i>Voreinstellung: * D = Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen) oder D = 3 x Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)</i>
DS	[0]	Erste Zustelltiefe
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe
DB	[*]	Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers <i>Voreinstellung: * 80% (konventionelles Fräsen), 10% (HSC-Fräsen)</i>
		Zyklus
V	[*]	Sicherheitsabstand <i>Voreinstellung: * Sicherheitsabstand aus dem Zyklusabschluss (G39)</i>
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung
	1	Gleichlauf
	2	Gegenlauf

Eintauchen

O	[1]	Zustellbewegung beim Ausräumen	
		1	Senkrechtes Eintauchen
		2	Helikales Eintauchen
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert.	
		<i>Voreinstellung: * 3/4 x Werkzeugradius</i>	
DH		Zustellung pro Helixumdrehung	
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel	

HSC-Fräsen

RM	[*]	Minimalradius der Schruppbewegungen	
		<i>Voreinstellung: * konventionelles Fräsen</i>	

Schnittwerte

F		Vorschub	
E	[F/2]	Eintauchvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	

Optimierung

OF	[0]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.	
		0	Aus
		1	Ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung	
DM	[D/8]	Maximale Zustelländerung, so dass ein Zustellniveau mit einer Inselhöhe zusammenfällt	

! Programmierhinweise

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

HSC-Fräsen

Durch die Programmierung der Adresse RM wird festgelegt, dass die Bearbeitung als HSC-Fräsen erfolgen soll. Weitere Adressen für das HSC-Fräsen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

G36 - Restmaterial-Schrupptechnologie des Konturtafelenzyklus

Funktion

Der Befehl G36 ist Bestandteil des allgemeinen und universellen Konturtafelenzyklus. Der Befehl kann in jedem Konturtafelenzyklus einmalig verwendet werden, um die technologischen Daten für den Arbeitsschritt Restmaterial-Schruppen zu setzen.

Das Schruppen des Restmaterial erfolgt wahlweise nach dem Schruppen. Der Zyklus berechnet das Restmaterial, das beim Schruppen nicht bearbeitet wurde, und räumt dieses mit einem Werkzeug mit kleinerem Durchmesser aus.

NC-Satz

G36 T TC TR TX TY TZ D DS DE DB V Q O RH DH / AE RM F E S M M
OF RA DM

Adressen

		Werkzeug
T		Werkzeugnummer
TC	[1]	Korrekturwertsatz
TR	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z
		Zustellung
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Die verwendete Zustellung $\leq D$ wird so berechnet, dass die mit D zu bearbeitende Gesamtzustelltiefe ein ganzzahliges Vielfaches der verwendeten Zustellung ist. <i>Voreinstellung: * D = Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen) oder D = 3 x Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)</i>
DS	[0]	Erste Zustelltiefe
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe
DB	[*]	Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers <i>Voreinstellung: * 80% (konventionelles Fräsen), 10% (HSC-Fräsen)</i>
		Zyklus
V	[*]	Sicherheitsabstand <i>Voreinstellung: * Sicherheitsabstand aus dem Zyklusabschluss (G39)</i>
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung

		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf
Eintauchen			
O	[1]	Zustellbewegung beim Ausräumen	
		1	Senkrechtes Eintauchen
		2	Helikales Eintauchen
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert.	
		<i>Voreinstellung: * 3/4 x Werkzeugradius</i>	
DH		Zustellung pro Helixumdrehung	
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel	
HSC-Fräsen			
RM	[*]	Minimalradius der Schrubbewegungen	
		<i>Voreinstellung: * konventionelles Fräsen</i>	
Schnittwerte			
F		Vorschub	
E	[F/2]	Eintauchvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	
Optimierung			
OF	[0]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.	
		0	Aus
		1	Ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung	
DM	[D/8]	Maximale Zustelländerung, so dass ein Zustellniveau mit einer Inselhöhe zusammenfällt	

Programmierhinweise

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

HSC-Fräsen

Durch die Programmierung der Adresse RM wird festgelegt, dass die Bearbeitung als HSC-Fräsen erfolgen soll. Weitere Adressen für das HSC-Fräsen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

G37 - Schlichttechnologie des Konturmaschinenzyklus

Funktion

Der Befehl G37 ist Bestandteil des allgemeinen und universellen Konturmaschinenzyklus. Der Befehl kann in jedem Konturmaschinenzyklus mehrfach verwendet werden, um die technologischen Daten für

- den Arbeitsschritt Schlichten (QM1)
- das Fasen der Kanten (QM-1) oder
- das Ansetzen von Stufen (QM-2)

zu setzen.

NC-Satz

G37 **T** **TC** **TR** **TX** **TY** **TZ** **D** **DS** **DE** **V** **DB** **Q** **H** **EC** **QM** **O** **RH** **DH** / **AE** **RM** **F**
E **S** **M** **M** **OF** **VA** **DM**

Adressen

		Werkzeug
T		Werkzeugnummer
TC	[1]	Korrekturwertsatz
TR	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugradiuskorrektur
TX	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in X
TY	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Y
TZ	[0]	Inkrementelle Veränderung Werkzeugkorrektur in Z
		Zustellung
D	[*]	Maximale Zustelltiefe Die verwendete Zustellung $\leq D$ wird so berechnet, dass die mit D zu bearbeitende Gesamtzustelltiefe ein ganzzahliges Vielfaches der verwendeten Zustellung ist. <i>Voreinstellung: * D = Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen) oder D = 3 x Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)</i>
DS	[0]	Erste Zustelltiefe
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe
DB	[*]	Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers <i>Voreinstellung: * 80% (konventionelles Fräsen), 10% (HSC-Fräsen)</i>
		Zyklus
V	[*]	Sicherheitsabstand <i>Voreinstellung: * Sicherheitsabstand aus dem Zyklusabschluss (G39)</i>

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		1 Schlichten
		-1 Fasen
		-2 Stufen
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung
		1 Gleichlauf
		2 Gegenlauf
H	[4]	Bearbeitungsart
		4 Schlichten erst Rand dann Boden
		5 Schlichten erst Boden dann Rand
		6 nur Rand
		7 nur Boden
		8 nur das Schlicht-Restmaterial des Bodens in einem zweiten G37-Aufruf mit kleinerem Schlichtwerkzeug schlichten
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
Eintauchen		
O	[1]	Zustellbewegung beim Ausräumen
		1 Senkrechtes Eintauchen
		2 Helikales Eintauchen
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert.
		<i>Voreinstellung: * $3/4 \times$ Werkzeugradius</i>
DH		Zustellung pro Helixumdrehung
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel
HSC-Fräsen		
RM	[*]	Minimalradius der Schruppbewegungen
		<i>Voreinstellung: * konventionelles Fräsen</i>
Schnittwerte		
F		Vorschub
E	[F/2]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Optimierung

OF	[0]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.
		0 Aus
		1 Ein
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden
DM	[D/10]	Maximale Zustelländerung, so dass ein Zustellniveau mit einer Inselhöhe zusammenfällt

Programmierhinweise

Für die Bearbeitungsauswahl Fasen und Stufen ist als Eingabe nur die Adresse QM und das Werkzeug sowie die Schnittwerte (F, S und M) zu programmieren. Die Geometriedaten für die Fasen und Stufen werden mit G24 festgelegt.

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge gebildet werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

HSC-Fräsen

Durch die Programmierung der Adresse RM wird festgelegt, dass die Bearbeitung als HSC-Fräsen erfolgen soll. Weitere Adressen für das HSC-Fräsen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

G38 - Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus

Funktion

Der Befehl G38 ist Bestandteil des allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus. Der Befehl programmiert eine Tasche mit Taschentiefe oder Insel mit Inselhöhe. Dies kann ein Kreis, ein abgerundetes Rechteck oder eine beliebige geschlossene Kontur sein.

Der Befehl kann mehrfach programmiert werden. Die zugehörigen Taschen und Inseln werden automatisch zusammengefasst, wenn sie sich gegenseitig unter Berücksichtigung der Höhen und Tiefen überlappen.

NC-Satz

- Kreis

G38 H ZA/ZI IA JA R

- Rechteck

G38 H ZA/ZI LP BP IA JA RN AR

- Kontur

G38 H ZA/ZI

Adressen

		Konturbeschreibung
H		Auswahladresse
	1	Tasche
	2	Insel
	3	Tasche in Insel
	4	Loch (Tasche ohne Werkstückmaterial)
ZA / ZI	[*]	Taschentiefe/Inselhöhe
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell zur Materialoberfläche
	<i>Voreinstellung: * Taschentiefe aus G34 für Taschen und Materialoberfläche aus G39 als Inselhöhe</i>	
Setzpunkt		
IA		X-Koordinate des Mittelpunktes (absolut)
JA		Y-Koordinate des Mittelpunktes (absolut)
Kreis		
R		Radius
Rechteck		
LP		Länge

		Die Länge wird in der 1. Geometrieachse der aktiven Interpolationsebene gemessen.
BP		Breite Die Breite wird in der 2. Geometrieachse der aktiven Interpolationsebene gemessen.
RN	[0]	Verrundung
AR	[0]	Drehwinkel

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Konturprogrammierung

Wird außer H und ZA/ZI keine weitere Adresse programmiert, so erwartet die NC die Definition einer Kontur im Anschluss an den Befehl G38.

Die Definition der Kontur erfolgt unter Verwendung von:

- DIN-Sätze G1, G2, G3
- Konturzugbefehle G61, G62, G63
- Programmteiwiederholung G23
- Unterprogrammaufruf G22

Dabei muss der erste Konturpunkt absolut mit G0 oder G1 programmiert werden.

Die Konturdefinition wird mit G80 in einer separaten NC-Zeile abgeschlossen.

Offene Konturen (Zielpunkt ungleich Anfangspunkt) werden mit G80 automatisch durch eine Verbindungslinie vom Zielpunkt zum Startpunkt geschlossen.

Taschentiefe

Für jede Taschenkontur kann die Tiefe individuell programmiert werden. Eine inkrementelle Angabe bezieht sich dabei auf die Materialoberfläche. Damit ist die Erstellung von Konturtaschen mit unterschiedlichen Tiefen möglich. Die Voreinstellung ist die Taschentiefe aus der Eröffnung des Konturtaschenzyklus (G34).

Wenn die individuelle Tiefe unter der Taschentiefe des Zyklus liegt, beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

Inselhöhe

Für jede Inselkontur kann die Höhe individuell programmiert werden. Eine inkrementelle Angabe bezieht sich dabei auf die Materialoberfläche. Damit ist die Erstellung von Konturtaschen mit Inseln in unterschiedlichen Höhen möglich. Die Voreinstellung ist die Materialoberfläche aus dem Zyklusabschluss (G39).

Wenn die individuelle Höhe über der Materialoberfläche des Zyklus liegt, beendet die NC die Programmausführung mit einer Fehlermeldung.

G39 - Abschluss Konturtaschenzyklus

Funktion

Der Befehl G39 schließt den allgemeinen und universellen Konturtaschenzyklus ab und führt den Zyklus aus. Der Konturtaschenzyklus besteht aus einer Eröffnung (G34), der Definition der Technologie (G35, G36 und G37), einer Folge von geschlossenen Taschen- oder Inselkonturen (G38) und dessen Abschluss und Ausführung. Der Zyklus bietet das konturparallele Ausräumen alternativ zum Mäandern.

NC-Satz

G39 **ZA/ZI** **V** **W** **AN** **H** **O** **X/XA/XI** **Y/YA/YI**

Adressen

ZA / ZI		Materialoberfläche	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
Optionen			
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
AN	[0]	Winkel für das mäanderförmige Ausräumen	
H	[1]	Bearbeitungsart	
		1	Schruppen
		2	Planschruppen/Freistellen
		4	Schlichten erst Rand dann Boden
		8	Planschlichten/Freistellen
		14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
O	[1]	Restmaterialschruppen	
		1	mit Restmaterialschruppen
		2	ohne Restmaterialschruppen
		3	nur Restmaterialschruppen
X / XA / XI	[*]	Startposition in X	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
		X	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * wird vom Zyklus optimal berechnet</i>	

Y / YA / YI	[*]	Startposition in Y
	YA	absolut
	YI	inkrementell
	Y	G90/G91
	<i>Voreinstellung: * wird vom Zyklus optimal berechnet</i>	

! Programmierhinweise

Mit dem Aufrufen von G39 werden die mit G38 definierten Taschen- und Inselkonturen geordnet nach Taschentiefen und Inselhöhen zusammengefasst, danach für die zusammengefassten Konturen die Ausräumstrategie für Schruppen, Restmaterialschruppen und Schlichten berechnet und der Zyklus anschließend ausgeführt.

Die Entscheidung über die Bearbeitungsart (konturparallel, mäanderförmig oder HSC) wird in den Aufrufzyklen G35, G36 und G37 getroffen.

Restmaterial

Werden die Konturtaschenwegbefehle nur zum Schruppen oder Schlichten des Restmaterials aufgerufen (G39 O3), so müssen zuvor auch die Wegbefehle G35, G36 oder G37 H7 und die Konturbefehle G38 erneut programmiert werden, um die Taschengeometrie und das Restmaterial erzeugende Vorbearbeitungswerkzeug anzugeben.

G48 - Gravieren

Funktion

Der Befehl G48 definiert einen Gravurzyklus. Der Zyklus graviert beliebige Texte in ein vorgebares Textfeld. Der Text wird automatisch so skaliert, dass er das Textfeld vollständig ausfüllt.

Der Zyklus wird direkt mit der Definition einmalig ausgeführt.

NC-Satz

G48 **LT** **BT** **HT** **DG** **V** **W** **X/XA/XI** **Y/YA/YI** **Z/ZA/ZI** **AR** **EP** **F** **E** **S** **M** **M**

Adressen

		Gravur	
LT		Text	
BT		Breite des Textfeldes	
HT		Höhe des Textfeldes	
DG		Tiefe der Gravur inkrementell ab Materialoberfläche	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
		Optionen	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
X / XA / XI	[*]	Setzpunkt in X	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
		X	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>	
Y / YA / YI	[*]	Setzpunkt in Y	
		YA	absolut
		YI	inkrementell
		Y	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>	
Z / ZA / ZI	[*]	Setzpunkt in Z	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Materialoberfläche liegt um V unter der aktuellen Werkzeugposition.</i>	

AR	[0]	Drehwinkel, um den das Textfeld gedreht wird	
EP	[3]	Setzpunkt am Textfeld	
		0	mittig, links
		1	mittig, mitte
		2	mittig, rechts
		3	unten, links
		4	unten, mitte
		5	unten, rechts
		6	oben, links
		7	oben, mitte
	8	oben, rechts	

Schnittwerte

F		Vorschub
E	[F/2]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

! Programmierhinweise

In der Adresse LT wird ein Text programmiert. In PAL2019 müssen Texte in doppelten Anführungszeichen eingeschlossen sein: G48 LT"Text"

G49 - Konturfräszyklus

Funktion

Der Befehl G49 definiert einen Konturfräszyklus. Mit den Zyklusadressen werden die An- und Abfahrbedingungen an die Kontur sowie die Bearbeitungstechnologie mit den vertikalen und horizontalen Zustellungen und die Aufmaße festgelegt. Die anschließend an G49 programmierte Kontur beginnt mit einer Linearinterpolation (G0 oder G1) und wird mit G80 abgeschlossen. Der Zyklus wird einmalig bei Zyklusabschluss ausgeführt.

NC-Satz

G49 **G40/G41/G42** **Z/ZA/ZI** **ZM** **V** **D** **DS** **DE** **ZB** **OA** **BA** **OE** **BE** **W** **H** **AK** **AL**
F **E** **S** **M** **M** **DF** **EC** **FF** **SF** **RA** **VA**

Adressen

		Zyklus	
Z/ZA/ ZI		Tiefe der Bahn	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell	
	Z	G90/G91	
ZM		Materialoberfläche (absolut)	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
		Zustellung	
D		Maximale Zustelltiefe	
DS	[0]	Erste Zustelltiefe	
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe	
		Werkzeugradiuskorrektur	
G40 / G41 / G42	[40]	Werkzeugradiuskorrektur	
	40	ohne	
	41	links	
	42	rechts	
ZB		Oberkante der Materialbearbeitung (absolut) Mit der Programmierung der Oberkante wird von einer Hinterschneidung ausgegangen, die im Allgemeinen mit Scheiben-, Schlitz- oder T-Nutfräsern gefertigt wird.	
OA	[45]	Anfahrbedingung an die Kontur	
	45	lineare Abfahrt	
	46	Anfahrt im Viertelkreis	
	47	Anfahrt im Halbkreis	

BA	[0]	Länge oder Radius der Anfahrt
OE	[45]	Abfahrbedingung von der Kontur
		45 lineare Abfahrt
		46 Abfahrt im Viertelkreis
		47 Abfahrt im Halbkreis
BE	[0]	Länge oder Radius der Abfahrt
Steueradressen		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>
H	[1]	Bearbeitungsart
		1 Schruppen
		4 Schlichten
		14 Schruppen und Schlichten
Aufmaße		
AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur (nur bei G41/G42)
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden und dem optionalen oberen Rand bei Hinterschneidungen mit ZB<ZM
Schnittwerte (Schruppen)		
F		Vorschub
E	[F/2]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
Schnittwerte (Schlichten)		
DF	[D]	Zustelltiefe Schlichten
		<i>Voreinstellung: für DF0 und ohne Hinterschneidung wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschlichtet</i>
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
Optimierung		
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden

! Programmierhinweise

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge für das Schrappen gebildet werden. Beim Schlichten wird nur die Zustellung für das Schlichten (DF) berücksichtigt. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

Eine An- oder Abfahrt auf einem Viertel- oder Halbkreis ist nur in Verbindung mit einer Werkzeugradiuskorrektur links oder rechts möglich.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G69 - Mehrkantzyklus

Funktion

Der Befehl G69 definiert einen Mehrkantzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Der Zyklus fräst einen Mehrkant unter Berücksichtigung von Aufmaßen über einer zentrisch liegenden Freistellfläche. Der Drehwinkel des Mehrkants wird so festgelegt, dass für den Winkel Null eine Kante senkrecht auf der ersten Geometrieachse steht. Der Setzpunkt ist das Zentrum des Mehrkants.

Der Zyklus kann gesteuert durch QM und H mit unterschiedlichen Werkzeugen zum Schruppen, Schlichten, dem Ansetzen von Stufen oder Fasen aufgerufen werden.

NC-Satz

G69 O DK / LK / DC DT ZA/ZI D V QM RN H W DB Q DS DE F E S M M
AK AL DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

Adressen

Mehrkant und Sicherheitsabstand

O		Anzahl der Kanten (>0)
DK		Schlüsselweite nur für geradzahliges O
LK		Kantenlänge ohne Verrundungen
DC		Umkreisdurchmesser (>0) oder Inkreisdurchmesser (<0) nur für O>2
DT		Durchmesser der Freistellfläche um das Mehrkant-Zentrum
ZA/ ZI		Tiefe der Freistellfläche in der Zustellachse (Z in G17)
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optionen

RN	[0]	Verrundungsradius der Kantenecken
----	-----	-----------------------------------

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten ohne Stufen
	2	Bearbeiten mit Stufen
	-1	Fasen

		-2	Stufen
H	[1]	Bearbeitungsart	
		1	Schruppen
		4	Schlichten erst Rand dann Boden
		5	Schlichten erst Boden dann Rand
		6	nur Rand schlichten
		7	nur Boden schlichten
		14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		15	Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		16	Schruppen und Schlichten nur Rand
		17	Schruppen und Schlichten nur Boden
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
Aufmaße			
AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur	
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden	
Schruppen			
D	[*]	Maximale Zustelltiefe	
		<i>Voreinstellung: * D = Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen) oder D = 3 x Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)</i>	
DS	[0]	Erste Zustelltiefe	
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe	
DB	[80]	Horizontale Zustellung	
		Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers	
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung	
		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf
Schnittwerte (Schruppen)			
F		Vorschub	
E	[F/2]	Eintauchvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	
Schlichten			

DF	[D]	Vertikale Zustelltiefe beim Schlichten
		<i>Voreinstellung: Für DF0 wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschlichtet</i>
DJ	[DB]	Horizontale Zustellung beim Schlichten Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten
		1 Gleichlauf
		2 Gegenlauf
EC	[O]	Anzahl der Leerschnitte
FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
Optimierung		
OF	[O]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.
		0 Aus
		1 Ein
RA	[O]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung
VA	[O]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge für das Schruppen gebildet werden. Beim Schlichten wird nur die Zustellung für das Schlichten (DF) berücksichtigt. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

Definition eines ausgearteten 1- bzw. 2-Kants: Ein 1-Kant kann nur mit seiner Kantenlänge programmiert werden. Beim 2-Kant sind die Kanten zueinander parallel. Beim 1- und 2-Kant werden die Kanten bis zum Rand der Freistellfläche verlängert und über den Rand der Freistellfläche mit einem Kreisbogen verbunden. (Ein 1-Kant entspricht bei dieser Definition einer Kreisfläche mit abgeschnittener Sehnenfläche und ein 2-Kant einer Kreisfläche mit zwei gegenüberliegenden abgeschnittenen Sehnenflächen.)

Nur bei geradzahlgiger Anzahl von Kanten kann die Schlüsselweite oder die Kantenlänge eingegeben werden, bei ungeradzahlgiger Anzahl von Kanten muss die Kantenlänge programmiert werden.

Eine optionale Drehung der Mehrkantflächen um die Z-Achse erfolgt beim Aufruf der Zyklen mit G76, G77, G78 und G79.

G72 - Rechtecktaschenzyklus

Funktion

Der Befehl G72 definiert einen Rechtecktaschenzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Der Rechtecktaschenzyklus unterstützt die folgenden Operationen

1. Rechtecktasche fräsen
2. Rechtecktasche mit Zapfen fräsen
3. Rechteckfläche freistellen
4. Rechteckfläche mit Zapfen freistellen
5. Rechtecktasche/-zapfen fasen
6. Rechtecktasche/-zapfen Stufen ansetzen

Es werden konventionelles Fräsen und Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC) unterstützt. Der Zyklus bietet vielfältige Möglichkeiten der Anpassung und Optimierung.

NC-Satz

G72 LP BP ZA/ZI D V RN LZ BZ RZ HA/HI EP W QM H BS Q O OR AK
AL RH DH/AE DB DS DE RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA
VA

Adressen

Rechtecktasche		
LP		Länge der Tasche in der 1. Geometrieachse
BP		Breite der Tasche in der 2. Geometrieachse
ZA/ ZI		Tiefe der Tasche oder Freistellfläche in der Zustellachse
	ZA	absolut in Werkstückkoordinaten
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche
RN	[0]	Eckenradius der Tasche
Rechteckzapfen		
LZ	[0]	Länge des Zapfens in der 1. Geometrieachse
BZ	[0]	Breite des Zapfens in der 2. Geometrieachse
RZ	[0]	Verrundungsradius des Zapfens
HA/ HI	[*]	Höhe des Zapfens in der Zustellachse
		HA
	HI	inkrementell ab Materialoberfläche

		Voreinstellung: * H10=Taschenrand																
Optionen																		
BS	[0]	<p>Berandungsfestlegung für Planbearbeitung mit H2, H8, H28 (BS = 0, 1, ..., 14) Es sind maximal 3 Berandungen möglich. Mehrere Berandungen werden durch Addition der BS-Werte festgelegt. Für eine Berandung BS1 und eine Berandung BS4 ergibt sich beispielsweise BS5. 0: Planbearbeitung ohne Berandung 1: Berandung in Richtung der positiven 1. Geometrieachse 2: Berandung in Richtung der negativen 1. Geometrieachse 4: Berandung in Richtung der positiven 2. Geometrieachse 8: Berandung in Richtung der negativen 2. Geometrieachse</p>																
EP	[0]	<p>Setzpunktfestlegung</p> <table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>Rechtecktaschenmittelpunkt (=Zentrum)</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Tascheneckpunkt im 1. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Tascheneckpunkt im 2. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>Tascheneckpunkt im 3. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Tascheneckpunkt im 4. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum</td> </tr> </table>	0	Rechtecktaschenmittelpunkt (=Zentrum)	1	Tascheneckpunkt im 1. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum	2	Tascheneckpunkt im 2. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum	3	Tascheneckpunkt im 3. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum	4	Tascheneckpunkt im 4. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum						
0	Rechtecktaschenmittelpunkt (=Zentrum)																	
1	Tascheneckpunkt im 1. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum																	
2	Tascheneckpunkt im 2. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum																	
3	Tascheneckpunkt im 3. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum																	
4	Tascheneckpunkt im 4. Quadranten eines Achsenkreuzes im Zentrum																	
W	[*]	<p>Höhe der Rückzugsebene (absolut)</p> <p>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</p>																
Steueradressen																		
QM	[1]	<p>Bearbeitungsauswahl</p> <table border="1"> <tr> <td>0</td> <td>Überspringen des Zyklus</td> </tr> <tr> <td>1</td> <td>Bearbeiten ohne Stufen</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Bearbeiten mit Stufen</td> </tr> <tr> <td>3</td> <td>HSC-Bearbeiten ohne Stufen</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>HSC-Bearbeiten mit Stufen</td> </tr> <tr> <td>-1</td> <td>Fasen</td> </tr> <tr> <td>-2</td> <td>Stufen</td> </tr> </table>	0	Überspringen des Zyklus	1	Bearbeiten ohne Stufen	2	Bearbeiten mit Stufen	3	HSC-Bearbeiten ohne Stufen	4	HSC-Bearbeiten mit Stufen	-1	Fasen	-2	Stufen		
0	Überspringen des Zyklus																	
1	Bearbeiten ohne Stufen																	
2	Bearbeiten mit Stufen																	
3	HSC-Bearbeiten ohne Stufen																	
4	HSC-Bearbeiten mit Stufen																	
-1	Fasen																	
-2	Stufen																	
H	[1]	<p>Bearbeitungsart</p> <table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Schruppen</td> </tr> <tr> <td>2</td> <td>Planschruppen/Freistellen mit Überfräsen des Randes</td> </tr> <tr> <td>4</td> <td>Schlichten erst Rand dann Boden</td> </tr> <tr> <td>5</td> <td>Schlichten erst Boden dann Rand</td> </tr> <tr> <td>6</td> <td>nur Rand schlichten</td> </tr> <tr> <td>7</td> <td>nur Boden schlichten</td> </tr> <tr> <td>8</td> <td>Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes</td> </tr> <tr> <td>14</td> <td>Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden</td> </tr> </table>	1	Schruppen	2	Planschruppen/Freistellen mit Überfräsen des Randes	4	Schlichten erst Rand dann Boden	5	Schlichten erst Boden dann Rand	6	nur Rand schlichten	7	nur Boden schlichten	8	Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes	14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
1	Schruppen																	
2	Planschruppen/Freistellen mit Überfräsen des Randes																	
4	Schlichten erst Rand dann Boden																	
5	Schlichten erst Boden dann Rand																	
6	nur Rand schlichten																	
7	nur Boden schlichten																	
8	Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes																	
14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden																	

		15	Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		16	Schruppen und Schlichten nur Rand
		17	Schruppen und Schlichten nur Boden
		28	Planschruppen und Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes
OR	[1]		Planfräsrichtung
		1	Planfräsen in Richtung der 1. Geometrieachse
		2	Planfräsen in Richtung der 2. Geometrieachse
Aufmaße			
AK	[0]		Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]		Aufmaß auf den Boden AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche
Schruppen			
D	[*]		Maximale Zustelltiefe <i>Voreinstellung: * D = Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen) oder D = 3 x Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)</i>
DS	[0]		Erste Zustelltiefe
DE	[0]		Letzte Zustelltiefe
DB	[80]		Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
Q	[1]		Bearbeitungsrichtung Schruppen
		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf
		3	Planen im Schrubbetrieb mit bidirektionaler Bearbeitung
Eintauchen			
O	[1]		Zustellbewegung
		1	Senkrecht Eintauchen
		2	Helikales Eintauchen
		3	Pendelndes Eintauchen
		4	Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand zum Aufmaß
RH	[*]		Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert. <i>Voreinstellung: * 3/4 x Werkzeugradius</i>
DH			Zustellung pro Helixumdrehung
AE	[5]		Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen

Schnittwerte (Schruppen)

F		Vorschub
E	[F/2]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
Schlichten		
DF	[D]	Vertikale Zustelltiefe beim Schlichten
		<i>Voreinstellung: Für DF0 wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschlichtet</i>
DJ	[DB]	Horizontale Zustellung beim Schlichten Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten
		1 Gleichlauf
		2 Gegenlauf
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
HSC-Schruppen		
RM	[*]	Minimalradius der Schrubbewegungen
		<i>Voreinstellung: * 3 x Werkzeugdurchmesser</i>
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim HSC-Schruppen Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
Optimierung		
OF	[0]	Vorschuboptimierung
		Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.
		0 Aus
		1 Ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden

! Programmierhinweise

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge für das Schruppen gebildet werden. Beim Schlichten wird nur die Zustellung für das Schlichten (DF) berücksichtigt. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

Werden Fasen oder Stufen programmiert, muss mit RN der Eckenradius der Rechtecktasche angegeben werden. Ist RN nicht programmiert ist der gefertigte Eckenradius gleich dem Radius des Fräswerkzeuges.

Weitere Adressen für HSC-Bearbeitung, Fasen und Stufen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

G73 - Kreistaschenzyklus

Funktion

Der Befehl G73 definiert einen Kreistaschenzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Der Kreistaschenzyklus unterstützt die folgenden Operationen

1. Kreistasche fräsen
2. Kreistasche mit Zapfen fräsen
3. Kreisfläche freistellen
4. Kreisfläche mit Zapfen freistellen
5. Kreistasche/-zapfen fasen
6. Kreistasche/-zapfen Stufen ansetzen

Es werden konventionelles Fräsen und Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC) unterstützt. Der Zyklus bietet vielfältige Möglichkeiten der Anpassung und Optimierung.

NC-Satz

G73 R ZA/ZI D V RZ HA/HI W QM H Q O AK AL RH DH/ AE DB DS DE
RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

Adressen

Kreistasche			
R		Radius der Tasche	
ZA/ ZI		Tiefe der Tasche oder Freistellfläche in der Zustellachse	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
Kreiszapfen			
RZ	[0]	Zapfenradius	
HA/ HI	[*]	Höhe des Zapfens in der Zustellachse	
		HA	absolut
		HI	inkrementell ab Materialoberfläche
<i>Voreinstellung: * H10=Taschenrand</i>			
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
Steueradressen			
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl	

		0	Überspringen des Zyklus
		1	Bearbeiten ohne Stufen
		2	Bearbeiten mit Stufen
		3	HSC-Bearbeiten ohne Stufen
		4	HSC-Bearbeiten mit Stufen
		-1	Fasen
		-2	Stufen
H	[1]		Bearbeitungsart
		1	Schruppen
		2	Planschruppen/Freistellen mit Überfräsen des Randes
		4	Schlichten erst Rand dann Boden
		5	Schlichten erst Boden dann Rand
		6	nur Rand schlichten
		7	nur Boden schlichten
		8	Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes
		14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		15	Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		16	Schruppen und Schlichten nur Rand
		17	Schruppen und Schlichten nur Boden
		28	Planschruppen und Planschlichten/Freistellen mit Überfräsen des Randes
Q	[1]		Bearbeitungsrichtung Schruppen
		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf
Aufmaße			
AK	[0]		Aufmaß auf die Kontur
AL	[0]		Aufmaß auf den Boden AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche
Zustellung			
D	[*]		Maximale Zustelltiefe <i>Voreinstellung: * D = Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen) oder D = 3 x Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)</i>
DS	[0]		Erste Zustelltiefe
DE	[0]		Letzte Zustelltiefe
DB	[80]		Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
Eintauchen			
O	[1]		Zustellbewegung

		1	Senkrechtes Eintauchen
		2	Helikales Eintauchen
		4	Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand zum Aufmaß
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert. <i>Voreinstellung: * 3/4 x Werkzeugradius</i>	
DH		Zustellung pro Helixumdrehung	
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen	
Schnittwerte (Schruppen)			
F		Vorschub	
E	[F/2]	Eintauchvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	
Schlichten			
DF	[D]	Vertikale Zustelltiefe beim Schlichten <i>Voreinstellung: Für DF0 wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschlichtet</i>	
DJ	[DB]	Horizontale Zustellung beim Schlichten Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers	
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten	
		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte	
FF	[F]	Vorschub Schlichten	
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten	
HSC-Schruppen			
RM	[*]	Minimalradius der Schrubbewegungen <i>Voreinstellung: * 3 x Werkzeugdurchmesser</i>	
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim HSC-Schruppen Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers	
Optimierung			
OF	[0]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten	

		Spandicke.	
		0	Aus
		1	Ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung	
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden	

! Programmierhinweise

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge für das Schruppen gebildet werden. Beim Schlichten wird nur die Zustellung für das Schlichten (DF) berücksichtigt. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

Weitere Adressen für HSC-Bearbeitung, Fasen und Stufen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G74 - Nutenzyklus

Funktion

Der Befehl G74 definiert einen Nutenzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Der Nutenzyklus unterstützt die folgenden Operationen

1. Nut fräsen
2. Nut fassen
3. Nut Stufen ansetzen

Es werden konventionelles Fräsen und Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC) unterstützt. Der Zyklus bietet vielfältige Möglichkeiten der Anpassung und Optimierung.

NC-Satz

G74 LP BP ZA/ZI D V EP W QM H Q O OV AK AL RH DH/ AE DB DS DE
RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

Adressen

Nut

LP		Länge der Nut in der 1. Geometrieachse Bedingung LP>=BP
BP		Breite der Nut in der 2. Geometrieachse (Durchmesser Abschlusskreisbögen)
ZA/ ZI		Tiefe der Nut in der Zustellachse
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optionen

OV	[0]	Einseitig oder beidseitig offene Nutseiten Die offene Nutseite wird durch die Verbindungsstrecke der Kreisbogenendpunkte gebildet. Diese Strecke ist eine Freistellkontur (d.h. vor dieser Kontur ist bis zur Nuttiefe kein Material vorhanden). Die Zustellung erfolgt unabhängig von O auf einer offenen Nutseite durch senkrecht zustellen - im Eilgang falls der Werkzeugdurchmesser kleiner als die Nutbreite ist.
	0	Beidseitig durch Halbkreis geschlossene Nut
	1	Nut offen im rechten Abschlusshalbkreis (Richtung der positiven 1. Geometrieachse)
	2	Nut offen im linken Abschlusshalbkreis (Richtung der negativen 1. Geometrieachse)

		3	Nut beidseitig offen
EP	[3]	Setzpunktfestlegung für den Nutzenzyklus	
		0	Nutmittelpunkt
		1	Mittelpunkt des rechten Abschlusshalbkreises (in Richtung der positiven 1. Geometrieachse)
		3	Mittelpunkt des linken Abschlusshalbkreises (in Richtung der negativen 1. Geometrieachse)
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl	
		0	Überspringen des Zyklus
		1	Bearbeiten ohne Stufen
		2	Bearbeiten mit Stufen
		3	HSC-Bearbeiten ohne Stufen
		4	HSC-Bearbeiten mit Stufen
		-1	Fasen
		-2	Stufen
H	[1]	Bearbeitungsart	
		1	Schruppen
		4	Schlichten erst Rand dann Boden
		5	Schlichten erst Boden dann Rand
		6	nur Rand schlichten
		7	nur Boden schlichten
		14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		15	Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		16	Schruppen und Schlichten nur Rand
17	Schruppen und Schlichten nur Boden		
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Schruppen	
		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf

Aufmaße

AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur	
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden	
		AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche	

Zustellung

D	[*]	Maximale Zustelltiefe	
----------	-----	-----------------------	--

		Voreinstellung: * $D = \text{Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen)}$ oder $D = 3 \times \text{Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)}$
DS	[0]	Erste Zustelltiefe
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe
DB	[80]	Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
Eintauchen		
O	[1]	Zustellbewegung
		1 Senkrecht eintauchen
		2 Helikales Eintauchen
		3 Pendelndes Eintauchen
		4 Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand zum Aufmaß
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert. Voreinstellung: * $3/4 \times \text{Werkzeugradius}$
DH		Zustellung pro Helixumdrehung
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen
Schnittwerte (Schruppen)		
F		Vorschub
E	[F/2]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
Schlichten		
DF	[D]	Vertikale Zustelltiefe beim Schlichten Voreinstellung: Für DF0 wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschlichtet
DJ	[DB]	Horizontale Zustellung beim Schlichten Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schlichten
		1 Gleichlauf
		2 Gegenlauf
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte
FF	[F]	Vorschub Schlichten

SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
HSC-Schruppen		
RM	[*]	Minimalradius der Schrubbewegungen
		<i>Voreinstellung: * 3 x Werkzeugdurchmesser</i>
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim HSC-Schruppen Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
Optimierung		
OF	[0]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.
		0 Aus
		1 Ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden

! Programmierhinweise

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge für das Schruppen gebildet werden. Beim Schlichten wird nur die Zustellung für das Schlichten (DF) berücksichtigt. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

Weitere Adressen für HSC-Bearbeitung, Fasen und Stufen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G75 - Kreisbogennutzzyklus

Funktion

Der Befehl G75 definiert einen Kreisbogennutzzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Der Kreisbogennutzzyklus unterstützt die folgenden Operationen

1. Kreisbogennut fräsen
2. Kreisbogennut fäsen
3. Kreisbogennut Stufen ansetzen

Es werden konventionelles Fräsen und Hochgeschwindigkeitsfräsen (HSC) unterstützt. Der Zyklus bietet vielfältige Möglichkeiten der Anpassung und Optimierung.

NC-Satz

G75 BP RP (AN AO) / (AN AP) / (AO AP) ZA / ZI D V EP W QM H Q O OV
 AK AL RH DH / AE DB DS DE RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF
 RA VA

Adressen

Kreisbogennut

BP		Breite der Nut (Durchmesser der Abschlusskreisbögen)
RP		Radius der Nut
AN		Polarer Startwinkel des Nutstartkreismittelpunktes
AO		Polarer Öffnungswinkel
AP		Polarer Endwinkel des Nutabschlusskreismittelpunktes
ZA / ZI		Tiefe der Nut in der Zustellachse
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche

Optionen

OV	[0]	Einseitig oder beidseitig offene Nutseiten Die offene Nutseite wird durch die Verbindungsstrecke der Kreisbogenendpunkte gebildet. Diese Strecke ist eine Freistellkontur (d.h. vor dieser Kontur ist bis zur Nuttiefe kein Material vorhanden). Die Zustellung erfolgt unabhängig von O auf einer offenen Nutseite durch senkrecht zustellen - im Eilgang falls der Werkzeugdurchmesser kleiner als die Nutbreite ist.
-----------	-----	--

		0	Beidseitig durch Halbkreis geschlossene Nut
		1	Nut offen im Anfangshalbkreis der Nut
		2	Nut offen im Endhalbkreis der Nut
		3	Nut beidseitig offen
EP	[0]	Setzpunktfestlegung für den Nutzzyklus	
		0	Nutmittelpunkt
		1	Mittelpunkt des Anfangshalbkreises
		3	Mittelpunkt des Abschlusshalbkreises
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl	
		0	Überspringen des Zyklus
		1	Bearbeiten ohne Stufen
		2	Bearbeiten mit Stufen
		3	HSC-Bearbeiten ohne Stufen
		4	HSC-Bearbeiten mit Stufen
		-1	Fasen
		-2	Stufen
H	[1]	Bearbeitungsart	
		1	Schruppen
		4	Schlichten erst Rand dann Boden
		5	Schlichten erst Boden dann Rand
		6	nur Rand schlichten
		7	nur Boden schlichten
		14	Schruppen und Schlichten erst Rand dann Boden
		15	Schruppen und Schlichten erst Boden dann Rand
		16	Schruppen und Schlichten nur Rand
		17	Schruppen und Schlichten nur Boden
Q	[1]	Bearbeitungsrichtung Schruppen	
		1	Gleichlauf
		2	Gegenlauf

Aufmaße

AK	[0]	Aufmaß auf die Kontur	
AL	[0]	Aufmaß auf den Boden AL negativ: Taschenvertiefung für Durchgangstasche	

Zustellung

D	[*]	Maximale Zustelltiefe <i>Voreinstellung: * $D = \text{Werkzeugdurchmesser (konventionelles Fräsen)}$ oder $D = 3 \times \text{Werkzeugdurchmesser (HSC-Fräsen)}$</i>
DS	[0]	Erste Zustelltiefe
DE	[0]	Letzte Zustelltiefe
DB	[80]	Horizontale Zustellung Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers

Eintauchen

O	[1]	Zustellbewegung
		1 Senkrecht eintauchen
		2 Helikales Eintauchen
		3 Pendelndes Eintauchen
4	Zustellung im Eilgang bis auf Sicherheitsabstand zum Aufmaß	
RH	[*]	Radius der Mittelpunktbahn bei helikaler Zustellung Der Radius wird bei zu kleinen Taschenabmaßen automatisch reduziert. <i>Voreinstellung: * $3/4 \times \text{Werkzeugradius}$</i>
DH		Zustellung pro Helixumdrehung
AE	[5]	Werkzeugeintauchwinkel in Winkelgrad beim helikalen Zustellen

Schnittwerte (Schruppen)

F		Vorschub
E	[F/2]	Eintauchvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Schichten

DF	[D]	Vertikale Zustelltiefe beim Schichten <i>Voreinstellung: Für DF0 wird der Rand mit einer Zustellung in voller Höhe geschichtet</i>
DJ	[DB]	Horizontale Zustellung beim Schichten Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
QS	[Q]	Bearbeitungsrichtung Schichten
		1 Gleichlauf
		2 Gegenlauf
EC	[0]	Anzahl der Leerschnitte

FF	[F]	Vorschub Schlichten
SF	[S]	Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit Schlichten
HSC-Schruppen		
RM	[*]	Minimalradius der Schrubbewegungen
		<i>Voreinstellung: * 3 x Werkzeugdurchmesser</i>
DT	[10]	Horizontale Zustellung beim HSC-Schruppen Angabe in Prozent des Werkzeugdurchmessers
Optimierung		
OF	[0]	Vorschuboptimierung Die Vorschuboptimierung regelt den Vorschub mit dem Ziel einer konstanten Spandicke.
		0 Aus
		1 Ein
RA	[0]	Prozentuale Aufmaßreduzierung der jeweils darüber liegenden Zustellung
VA	[0]	Prozentuale Aufmaßvergrößerung für das Schlichten von Rand und Boden

! Programmierhinweise

Es müssen zwei der drei Winkel programmiert werden.

Durch Angabe einer maximalen Zustelltiefe (D), einer ersten Zustellung (DS) und einer letzten Zustellung (DE) kann eine individuelle Zustelltiefenfolge für das Schruppen gebildet werden. Beim Schlichten wird nur die Zustellung für das Schlichten (DF) berücksichtigt. Für DF0 wird der Rand in voller Höhe in einem Arbeitsgang geschlichtet.

Weitere Adressen für HSC-Bearbeitung, Fasen und Stufen können mit dem Befehl G24 (Modale Zyklusadressen für Fräszyklen) gesetzt werden.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G76 - Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter

Funktion

Der Befehl G76 führt den aktiven Arbeitszyklus mehrfach auf einem Strahl (Halbgerade), einem Rahmen oder einem Gitter aus. Das Bohrbild wird in der aktiven Interpolationsebene definiert. In der Zustellachse wird die Materialoberfläche programmiert.

NC-Satz

G76 D AS O AR W H X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI Q AI DI OI

Adressen

		Punktemuster
Q	[0]	Punktemuster
		0 Halbgerade/Strahl
		1 Rahmen
		2 Gitter
X / XA / XI	[*]	X-Koordinate des Punktes
		XA absolut
		XI inkrementell
		X G90/G91
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>
Y / YA / YI	[*]	Y-Koordinate des Punktes
		YA absolut
		YI inkrementell
		Y G90/G91
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>
Z / ZA / ZI	[*]	Materialoberfläche
		ZA absolut
		ZI inkrementell
		Z G90/G91
		<i>Voreinstellung: * Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Materialoberfläche liegt um V unter der aktuellen Werkzeugposition.</i>
D		Abstand der Zyklusaufpunkte auf dem ersten Strahl
AS		Winkel des Strahls der Zyklusaufpunkte (bezüglich 1. Geometrieachse)
O		Anzahl der Zyklusaufpunkte auf dem ersten Strahl (Zahl der Spalten der Gittermatrix)

Optionen

AR	[0]	Drehwinkel, um den das Zyklusobjekt gedreht wird
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut) <i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>
H	[1]	Rückfahrposition
	1	Die Sicherheitsebene wird nach jeder Zyklusausführung angefahren, nach letzter Aufruf-Position jedoch die Rückzugsebene
	2	Die Rückzugsebene wird nach jeder Zyklusausführung angefahren

Gitter/Rahmen

DI	[D]	Abstand der Zyklusaufrufe auf dem zweiten Strahl
AI	[90]	Inkrementeller Winkel des zweiten Strahls der Zykluswiederholungen bezüglich der Richtung AS des ersten Strahls
OI	[0]	Anzahl der Aufrufpositionen auf dem zweiten Strahl in Richtung (AS+AI) (Zahl der Zeilen der Gittermatrix)

! Programmierhinweise

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

Ohne aktiven Arbeitszyklus wird die Programmausführung mit der Fehlermeldung 'Kein Arbeitszyklus aktiv' beendet.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G77 - Mehrfachzyklus auf einem Teilkreis

Funktion

Der Befehl G77 führt den aktiven Arbeitszyklus mehrfach auf einem Teilkreis oder auf mehreren konzentrischen Teilkreisen aus. Der Teilkreis wird in der aktiven Interpolationsebene definiert. In der Zustellachse wird die Materialoberfläche programmiert.

NC-Satz

G77 R(**AN AI O**) / (**AN AP O**) / (**AI AP O**) / (**AN AI AP**) **RI OI I/IA**
J/JA Z/ZA/ZI AR Q W H FP

Adressen

		Teilkreis
I / IA	[*]	X-Koordinate des Mittelpunktes
		IA X-Mittelpunktcoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
		I X-Koordinatendifferenz zwischen Kreismittelpunkt und aktueller Werkzeugposition
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>
J / JA	[*]	Y-Koordinate des Mittelpunktes
		JA Y-Mittelpunktcoordinate absolut in Werkstückkoordinaten
		J Y-Koordinatendifferenz zwischen Kreismittelpunkt und aktueller Werkzeugposition
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>
Z / ZA / ZI	[*]	Materialoberfläche
		ZA absolut
		ZI inkrementell
		Z G90/G91
		<i>Voreinstellung: * Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Materialoberfläche liegt um V unter der aktuellen Werkzeugposition.</i>
R		Radius des Teilkreises R=0 ist zulässig
AN		Polarer Winkel der ersten Zyklusaufrufposition
AI		Inkrementeller Winkel mit Orientierung (+/-) zwischen zwei benachbarten Zyklusaufrufpositionen
AP		Polarer Winkel der letzten Zyklusaufrufposition
O		Anzahl der Zyklusaufrufe auf dem Teilkreis
Optionen		
AR	[0]	Drehwinkel mit Orientierung (+/-), um den vorab das Zyklusobjekt (Tasche/Nut) um

		die Zustellachsrichtung in seinem Setzpunkt gedreht wird.
Q	[1]	Orientierung der zu bearbeitenden Zyklusgeometrie
	1	Mitdrehen des Objektes: Das Objekt wird ab der zweiten Bearbeitungsposition um den inkrementellen Winkel AI um seinen Setzpunkt gedreht.
	2	feste Orientierung des Objektes
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>
H	[1]	Rückfahrposition
	1	Die Sicherheitsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren, die Rückzugsebene erst nach der letzten Position
	2	Die Rückzugsebene wird zwischen zwei Positionen angefahren
	3	Es wird wie bei H1 verfahren, jedoch wird die nächste Position nicht linear, sondern auf einem Teilkreisbogen angefahren.
FP	[F]	Positioniervorschub in G94 auf dem Teilkreisbogen bei H3
RI	[0]	Radiusinkrement für konzentrische Teilkreise (positiv oder negativ)
OI	[1]	Anzahl der konzentrischen Teilkreise

! Programmierhinweise

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

Ohne aktiven Arbeitszyklus wird die Programmausführung mit der Fehlermeldung 'Kein Arbeitszyklus aktiv' beendet.

Es können die drei Winkel AN, AI oder AP nur dann programmiert werden, wenn die Differenz (AP - AN) ein ganzzahliges Vielfaches von AI ist. Es gilt dann $O = |(AP - AN) / AI| + 1$.

Die Zyklusaufzurufpunkte werden für $AN < AP$ im Gegenuhrzeigersinn und für $AN > AP$ im Uhrzeigersinn angeordnet.

Ein Sonderfall bei G77 ist der Mehrfachaufruf der Kreisbogennut G75 mit Setzpunkt im Kreisbogenmittelpunkt, wenn die Kreisbogennuten auf einem Kreis mit dem Radius der Kreisbogennut liegen sollen. Mit der Voreinstellung Mitdrehen Q1 des Objektes muss auch R0 programmiert werden.

Im Fall eines negativen Inkrements RI muss für das Produkt $ABS(RI) * (OI - 1) < R$ gelten.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G78 - Zyklusaufwurf auf einem Punkt in Polarkoordinaten

Funktion

Der Befehl G78 führt den aktiven Arbeitszyklus einmalig an einem programmierten Punkt aus. Der Punkt wird in Polarkoordinaten in der aktiven Interpolationsebene definiert. In der Zustellachse wird die Materialoberfläche programmiert.

NC-Satz

G78 I/IA **J/JA** **RP** **AP** Z/ZA/ZI **AR** **W**

Adressen

		Zykluspunkt	
RP		Polarradius	
AP		Polarwinkel	
Z / ZA / ZI	[*]	Materialoberfläche	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91
<i>Voreinstellung: * Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Materialoberfläche liegt um V unter der aktuellen Werkzeugposition.</i>			
		Optionen	
AR	[0]	Drehwinkel, um den der Zyklus (z.B. eine Nut) gedreht wird	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene aus Zyklusdefinition</i>	
		Pol	
I / IA	[*]	X-Koordinate des Pols	
		IA	X-Polkoordinate, absolut in Werkstückkoordinaten
		I	X-Koordinatendifferenz zwischen Pol und Startpunkt
<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>			
J / JA	[*]	Y-Koordinate des Pols	
		JA	Y-Polkoordinate, absolut in Werkstückkoordinaten
		J	Y-Koordinatendifferenz zwischen Pol und Startpunkt
<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>			

! Programmierhinweise

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

Ohne aktiven Arbeitszyklus wird die Programmausführung mit der Fehlermeldung 'Kein Arbeitszyklus aktiv' beendet.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G79 - Zyklusaufwurf auf einem Punkt

Funktion

Der Befehl G79 führt den aktiven Arbeitszyklus einmalig an einem programmierten Punkt aus. Der Punkt wird in kartesischen Koordinaten in der aktiven Interpolationsebene definiert. In der Zustellachse wird die Materialoberfläche programmiert.

NC-Satz

G79 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI AR W

Adressen

		Zykluspunkt	
X / XA / XI	[*]	X-Koordinate des Punktes	
		XA	absolut
		XI	inkrementell
		X	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>	
Y / YA / YI	[*]	Y-Koordinate des Punktes	
		YA	absolut
		YI	inkrementell
		Y	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * aktuelle Werkzeugposition</i>	
Z / ZA / ZI	[*]	Materialoberfläche	
		ZA	absolut
		ZI	inkrementell
		Z	G90/G91
		<i>Voreinstellung: * Das Werkzeug steht in der Sicherheitsebene. Die Materialoberfläche liegt um V unter der aktuellen Werkzeugposition.</i>	
		Optionen	
AR	[0]	Drehwinkel, um den der Zyklus (z.B. eine Nut) gedreht wird	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene aus Zyklusdefinition</i>	

! Programmierhinweise

Die Anfahrt der Startposition erfolgt im Eilgang.

Ohne aktiven Arbeitszyklus wird die Programmausführung mit der Fehlermeldung 'Kein Arbeitszyklus aktiv' beendet.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G80 - Zyklusabschluss

Funktion

Der Befehl G80 schließt die Definition eines Zyklus oder einer Kontur ab. Der Zyklus wird mit dem Abschluss einmalig ausgeführt.

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G81 - Bohrzyklus

Funktion

Der Befehl G81 definiert einen einfachen Bohrzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G81 ZA/ZI V W F S M M QM

Adressen

		Bohrung	
ZA / ZI		Tiefe der Bohrung	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
		Optionen	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
		Schnittwerte	
F		Bohrvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	
		Steueradressen	
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl	
		0	Überspringen des Zyklus
		1	Bearbeiten

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G82 - Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch

Funktion

Der Befehl G82 definiert einen Bohrzyklus mit Spanbruch als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G82 ZA/ZI D V W VB DR DM DA U O F E S M M QM

Adressen

		Bohrung	
ZA/ ZI		Tiefe der Bohrung	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche	
D		Maximale Zustelltiefe	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
		Optionen	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
VB	[1]	Rückzugsabstand vom Bohrgrund	
DR	[0]	Reduzierwert der Zustelltiefe (positiv)	
DM	[*]	Mindestzustellung	
		<i>Voreinstellung: * Werkzeugradius / 2</i>	
DA		Anbohrtiefe	
U	[0]	Verweilzeit am Bohrgrund (Spanbruch)	
O	[2]	Verweilzeiteinheit	
		1	Sekunden
		2	Umdrehungen
		Schnittwerte	
F		Bohrvorschub	
E	[F]	Anbohrvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	

M		Kühlmittel
Steueradressen		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G83 - Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren

Funktion

Der Befehl G83 definiert einen Bohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G83 ZA/ZI D V W VB DR DM DA U O FR F E S M M QM

Adressen

Bohrung		
ZA / ZI		Tiefe der Bohrung
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
D		Maximale Zustelltiefe
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche
Optionen		
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)
		Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene
VB	[1]	Rückzugsabstand vom Bohrgrund
DR	[0]	Reduzierwert der Zustelltiefe (positiv)
DM	[*]	Mindestzustellung
		Voreinstellung: * Werkzeugradius / 2
DA		Anbohrtiefe
U	[0]	Verweilzeit am Bohrgrund (Spanbruch)
O	[2]	Verweilzeiteinheit
	1	Sekunden
	2	Umdrehungen
Schnittwerte		
FR	[100]	prozentualer Eilgangreduzierungsfaktor bei der Zustellung zum Bohrgrund
F		Bohrvorschub
E	[F]	Anbohrvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit

M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
Steueradressen		
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		0 Überspringen des Zyklus
		1 Bearbeiten

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G84 - Gewindebohrzyklus

Funktion

Der Befehl G84 definiert einen Gewindebohrzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G84 ZA/ZI F M V W S M QM

Adressen

		Bohrung
ZA/ ZI		Tiefe der Gewindebohrung
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
F		Gewindesteigung
M		Drehrichtung des Werkzeuges beim Eintauchen
	3	Spindel einschalten - Drehrichtung rechts (im Uhrzeigersinn)
	4	Spindel einschalten - Drehrichtung links (im Gegenuhrzeigersinn)
	5	Spindel ausschalten
	13	Spindeldrehung rechts und Kühlmittel ein
	14	Spindeldrehung links und Kühlmittel ein
	15	Spindel und Kühlmittel ausschalten
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche
		Optionen
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>
		Schnittwerte
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Kühlmittel
		Steueradressen
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G85 - Reibzyklus

Funktion

Der Befehl G85 definiert einen Reibzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G85 ZA/ZI V W F E S M M QM

Adressen

		Bohrung
ZA / ZI		Tiefe der Bohrung
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche
		Optionen
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>
		Schnittwerte
F		Bohrvorschub
E	[F]	Rückzugsvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
		Steueradressen
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
		0 Überspringen des Zyklus
		1 Bearbeiten

! Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G86 - Ausdrehzyklus

Funktion

Der Befehl G86 definiert einen Ausdrehzyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G86 **ZA/ZI** **V** **W** **DR** **F** **S** **M** **M** **QM**

Adressen

		Bohrung	
ZA/ ZI		Tiefe der Bohrung	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
		Optionen	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)	
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
DR	[*]	Freifahrlänge in der Bearbeitungsebene	
		<i>Voreinstellung: * 1/20 des Ausdrehwerkzeugdurchmessers</i>	
		Schnittwerte	
F		Bohrvorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Drehrichtung	
M		Kühlmittel	
		Steueradressen	
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl	
		0	Überspringen des Zyklus
		1	Bearbeiten

Programmierhinweise

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G87 - Bohrfräszyklus

Funktion

Der Befehl G87 definiert einen Bohrfräszyklus als Arbeitszyklus. Der Zyklus fräst eine Bohrung durch helikales Zustellen des Fräswerkzeuges. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

NC-Satz

G87 ZA/ZI R D V W BG F S M M QM

Adressen

		Bohrung
ZA/ ZI		Tiefe der Bohrung
	ZA	absolut
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche
R		Radius der Bohrung
D		Helikale Zustelltiefe
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche
		Optionen
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut)
		<i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>
BG	[2]	Bearbeitungsrichtung
	2	im Uhrzeigersinn
	3	entgegen dem Uhrzeigersinn
		Schnittwerte
F		Bohrvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel
		Steueradressen
QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten

! Programmierhinweise

Die Bearbeitung wird durch eine Kreisbewegung ohne Zustellung abgeschlossen.

Die Abfahrbewegung erfolgt tangential auf einem Kreis und endet im Mittelpunkt.
Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G88 - Innengewindefräszyklus

Funktion

Der Befehl G88 definiert einen Innengewindefräszyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Mit der Gewindetiefe und der Gewindesteigung wird die Zahl der Gewinderillen bestimmt. Mit der Zahl der Werkzeugrillen ergibt sich die Zahl der ganzen Helixumdrehungen, die mit dem Versatz $D \cdot Q$ einzeln mit An- und Abfahrbewegungen ausgeführt werden. Nur bei Q1 werden alle Helixumdrehungen hintereinander mit nur einer An- und Abfahrbewegung ausgeführt.

Wenn die Zahl der Gewinderillen kein ganzzahliges Vielfaches von Q ist, wird die Restzahl der Gewinderillen-Luftschnitte über der Materialoberfläche ausgeführt, so dass der Sicherheitsabstand gegebenenfalls automatisch vergrößert wird.

NC-Satz

G88 ZA/ZI DN D Q V W BG F S M M QM

Adressen

		Gewinde	
ZA/ ZI		Tiefe des Gewindes	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche	
Metrisches ISO-Gewinde			
DN D		Regelgewinde Reihe 1 (Mutter)	
DN D		Feingewinde (Mutter)	
benutzerdefiniertes Gewinde			
DN		Nenndurchmesser	
D		Gewindesteigung >0 Bearbeitung von oben nach unten <0 Bearbeitung von unten nach oben	
Q		Gewinderillenzahl des Werkzeugs	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
Optionen			
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut) <i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
BG	[2]	Bearbeitungsrichtung	
		2	im Uhrzeigersinn
		3	entgegen dem Uhrzeigersinn

Schnittwerte

F		Bohrvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten

! Programmierhinweise

Die An- und Abfahrbewegung erfolgt vom Zentrum weg bzw. zum Zentrum des Gewindes hin. Die Bearbeitung wird mit dem Erreichen der Zustelltiefe abgeschlossen. **Aber:** Der Zyklus führt An- und Abfahrbewegungen in der Bearbeitungsebene aus, denen eine zum Kreissektorwinkel proportionale Zustellung überlagert wird, um den Gewindeeinlauf und -auslauf nicht zu verletzen. Dies bedingt am Gewindestartpunkt (Materialoberfläche) und am Gewindeendpunkt Überlaufzustellwege, die bei Bohrungstiefen zu berücksichtigen sind. Der Zyklus benötigt einen Kreissektor von je 90 Grad um die An- und Abfahrbewegung durchzuführen. Dies erfordert einen beidseitigen Gewindeüberlaufweg von einem Viertel der Gewindesteigung D.

Die Gewindedrehrichtung ergibt sich aus dem Vorzeichen von D und der Bewegungsrichtung BG.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

G89 - Außengewindefräszyklus

Funktion

Der Befehl G89 definiert einen Außengewindefräszyklus als Arbeitszyklus. Die Ausführung des Zyklus erfolgt mit den Befehlen G76 bis G79. Arbeitszyklen bleiben modal aktiv, bis sie durch eine weitere Zyklusdefinition überschrieben werden.

Mit der Gewindetiefe und der Gewindesteigung wird die Zahl der Gewinderillen bestimmt. Mit der Zahl der Werkzeugrillen ergibt sich die Zahl der ganzen Helixumdrehungen, die mit dem Versatz $D \cdot Q$ einzeln mit An- und Abfahrbewegungen ausgeführt werden. Nur bei Q1 werden alle Helixumdrehungen hintereinander mit nur einer An- und Abfahrbewegung ausgeführt.

Wenn die Zahl der Gewinderillen kein ganzzahliges Vielfaches von Q ist, wird die Restzahl der Gewinderillen-Luftschnitte über der Materialoberfläche ausgeführt, so dass der Sicherheitsabstand gegebenenfalls automatisch vergrößert wird.

NC-Satz

G89 ZA/ZI DN D Q V W BG F S M M QM

Adressen

		Gewinde	
ZA/ ZI		Tiefe des Gewindes	
	ZA	absolut	
	ZI	inkrementell ab Materialoberfläche	
		Metrisches ISO-Gewinde	
DN D		Regelgewinde Reihe 1 (Bolzen)	
DN D		Feingewinde (Bolzen)	
		benutzerdefiniertes Gewinde	
DN		Kerndurchmesser	
D		Gewindesteigung >0 Bearbeitung von oben nach unten <0 Bearbeitung von unten nach oben	
Q		Gewinderillenzahl des Werkzeugs	
V		Sicherheitsabstand von der Materialoberfläche	
		Optionen	
W	[*]	Höhe der Rückzugsebene (absolut) <i>Voreinstellung: * Rückzugsebene gleich Sicherheitsebene</i>	
BG	[2]	Bearbeitungsrichtung	
		2	im Uhrzeigersinn
		3	entgegen dem Uhrzeigersinn

Schnittwerte

F		Bohrvorschub
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit
M		Drehrichtung
M		Kühlmittel

Steueradressen

QM	[1]	Bearbeitungsauswahl
	0	Überspringen des Zyklus
	1	Bearbeiten

! Programmierhinweise

Der Radius der An- und Abfahrbewegung wird in Abhängigkeit vom Gewindekerndurchmesser, der Steigung und dem Werkzeugdurchmesser von der NC berechnet. Die Bearbeitung wird mit dem Erreichen der Zustelltiefe abgeschlossen. **Aber:** Der Zyklus führt An- und Abfahrbewegungen in der Bearbeitungsebene aus, denen eine zum Kreissektorwinkel proportionale Zustellung überlagert wird, um den Gewindeeinlauf und -auslauf nicht zu verletzen. Dies bedingt am Gewindestartpunkt (Materialoberfläche) und am Gewindeendpunkt Überlaufzustellwege, die bei Bohrungstiefen zu berücksichtigen sind. Der Zyklus benötigt einen Kreissektor von je 90 Grad um die An- und Abfahrbewegung durchzuführen. Dies erfordert einen beidseitigen Gewindeüberlaufweg von einem Viertel der Gewindesteigung D.

Die Gewindedrehrichtung ergibt sich aus dem Vorzeichen von D und der Bewegungsrichtung BG.

Der Befehl muss allein in einem NC-Satz stehen.

Bearbeitungsebenen

G15	Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebenenwahl
G15 IP0	Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung
G15 IP1-IP4	Rundachs-Interpolation kartesischer Koordinaten auf Stirnseiten und abgewickelten Mantelflächen - Allgemeiner Fall
G15 IP5	Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl mit kartesischem Koordinatensystem
G15 IP5	Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenwahl
G15 IP5	Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenwahl
G15 IP5	Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenwahl
G15 IP5	Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene
G15 IP5	Basis- und Zustellvektor zur Ebenenwahl
G16	Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

G15 - Allgemeine Fräs-Bearbeitungsebenenwahl

für Mehrseitenbearbeitung und Sonderbearbeitungsebenen für Polar-, Zylinderkoordinaten- und Mantelflächen-Programmierung und Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Positionieraufgaben

Der PAL2007-G15-Befehl der freien Programmierung aller NC-Achsen wird erweitert zu einem universellen Bearbeitungsebenenwahlbefehl für alle Bearbeitungsebenen beim Fräsen und beim Drehen.

G15 IP0	Direkte Programmierung aller NC-Achsen, Realisierung von Polar-, und Zylinderkoordinaten mit einer Rundachse
G15 IP1 ... IP4	Kartesische Stirnseiten- und Mantelflächenprogrammierung
G15 IP5	Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl IP5 ist der Voreinstellungswert.

Der Befehl G15 hebt alle programmierten Drehungen des Koordinatensystems und alle Nullpunktverschiebungen in den vorhandenen Drehachsen A, B, C auf.

Anmerkung

G15 IP0 ersetzt den Befehl der simultanen 5-Achsbearbeitung der PAL2007-Frässteuerung G17/G18/G19 A B / A C / B C / A / B / C

G15 IP0 - Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung

Funktion

Mit der Sonderbearbeitungsebenenwahl G15 IP0, aktiviert aus einer beliebigen Bearbeitungsebene heraus, kann danach mit den Befehlen G0 und G1 die direkte Programmierung aller in einem Bearbeitungskanal einer Maschine vorhandenen NC-Achsen unter ihren Adressnamen in Maschinenkoordinaten ausgeführt werden.

Insbesondere können in Kombination einer Rundachse mit einer Linearachse Polarkoordinaten oder Zylinderkoordinaten programmiert werden.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G18** **IP0** **FL** **FW** **F** **S** **M** **M**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene	
		17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene	
	19	YZ-Ebene	
Schnittwerte			
FL	[500]	Vorschub in den nicht kartesischen Linearachsen (Zusatzachsen) in mm/min	
FW	[720]	Vorschub der Rundachsen in Winkelgrad/min	
F		Vorschub	
S		Drehzahl/Schnittgeschwindigkeit	
M		Maschinenbefehl	

Programmierhinweise

Mit dem Befehl G15 IP0 werden folgende Aktionen ausgeführt und es gelten die folgenden Beschränkungen:

1. Die Abarbeitung von G0/G1 ist von der Maschinenkinematik und deren Achsbezeichnungen abhängig.
2. Der in der Standardebene aktive Einstellbare Nullpunkt der Linearachsen X, Y, Z und die inkrementellen Nullpunktverschiebungen mit G58 und G59 bleiben erhalten, Drehungen werden aufgehoben.
3. Alle NC-Achsen können nur mit den G-Befehlen G0, G1 mit ihren Achswerten und mit den Adressen FL, FW, F, S, M programmiert werden.
4. Beim Einschalten von G15 werden die aktuellen Achspositionen der vorhandenen Achsen nicht verändert.
5. Das Programmieren einer Bearbeitungsebene G15 IP5 beendet die Sonderbearbeitungsebene IP0 und aktiviert die zu der aktiven Kreisbogen-Interpolationsebene G17, G18 oder G19 gehörige Standardbearbeitungsebene. Mit der

Programmierung von G15 IP5 mit zusätzlichen, zulässigen PAL-Bearbeitungsebenenwahladressen kann aus der aktuellen Bearbeitungsebene mit deren Kreisbogen-Interpolationsebene heraus, direkt eine beliebige Bearbeitungsebene zu dieser Kreisbogen-Interpolationsebene der Mehrseitenbearbeitung angewählt werden. In Kombination von G17/G18/G19 mit G15 kann dabei auch die Kreisbogen-Interpolationsebene gewechselt werden.

6. Mit G15 IP1/IP2/IP3/IP4 wird die Sonderbearbeitungsebenen ebenfalls verlassen und die entsprechende Kartesische Stirnseiten- oder Mantelflächen-Programmierung aktiviert.

G15 IP1-IP4 - Rundachs-Interpolation kartesischer Koordinaten auf Stirnseiten und abgewickelten Mantelflächen - Allgemeiner Fall

Funktion

Mit G15 IP1 bis IP4 werden spezielle Bearbeitungsebenen angewählt bei denen eine der ersten beiden Geometrieachsen einer Standardbearbeitungsebene mit Hilfe der Interpolation mit einer zentrischen Rundachse gebildet wird.

Beim Drehen kann mit IP1 und beim Fräsen mit IP1 oder IP2 eine Mantelflächenbearbeitung eines zentrisch auf einer Rundachse eingespannten Werkstücks durchgeführt werden - zum Beispiel in G17 mit einem (einachsigen) NC-Teilapparat oder einer horizontal eingeschwenkten C-Rundachse oder in G19 mit einer vertikalen C-Achse und einer B-Achse im Werkzeugkopf.

NC-Satz

G15 G17/G18/G19 IP1/IP2 DM
G15 G17/G18/G19 IP3/IP4

Adressen

G17 / G18 / G19	Interpolationsebene	
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
IP	1	Kartesische Mantelflächen-Interpolation mit einer virtuellen 1. Geometrieachse und der 2. Geometrieachse als Mantelflächenkoordinaten durch Abwicklung eines Zylinders um eine in der 2. Geometrieachse und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse und Zustellung in der 3. Geometrieachse. Anwendung Drehen mit G19: Programmierung der zum Durchmesser DM abgewickelten Mantelfläche im G19 Koordinatensystem YZX mit virtueller Y-Achse durch die Interpolation der C-Achse und Zustellung in X.
	2	Kartesische Mantelflächen-Interpolation mit einer virtuellen 2. Geometrieachse und der 1. Geometrieachse als Mantelflächenkoordinaten durch Abwicklung eines Zylinders um eine in der 1. Geometrieachse und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse und Zustellung in der 3. Geometrieachse.
	3	Umrechnung der kartesischen Koordinaten der ersten und zweiten Geometrieachse in Polarkoordinaten, deren Winkelwert mit einer in der Zustellachse liegenden und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse eingestellt wird und deren Radius mit der 1. Geometrieachse eingestellt wird (Stirnseitenbearbeitung mit rotierendem Koordinatensystem). Anwendung Drehen mit G17: Programmierung der Stirnseite im G17 Koordinatensystem XYZ mit virtueller Y-Achse durch Interpolation der C- und X-Achse und Zustellung in Z.
	4	Umrechnung der kartesischen Koordinaten der ersten und zweiten Geometrieachse in Polarkoordinaten, deren Winkelwert mit einer in der Zustellachse liegenden und durch den Nullpunkt gehenden Rundachse eingestellt wird und deren Radius mit der 2. Geometrieachse eingestellt wird (Stirnseitenbearbeitung mit rotierendem Koordinatensystem).
DM	Durchmesser der Mantelfläche Obligate Adresse für IP1 und IP2	

Die Anwahl dieser Rundachs-Interpolationsebenen mit IP1 bis IP4 setzt das Vorhandensein einer entsprechenden Rundachse und das zentrische Einspannen des Werkstücks auf dieser Rundachse voraus.

In diesen Bearbeitungsebenen darf die verwendete Rundachse nicht direkt programmiert und auch deren Nullpunkt nur auf der Rundachse verschoben werden. Bis auf diese Einschränkungen sind alle Befehle der Programmieranleitung Fräsen verwendbar.

G15 IP5 - Standard- und Mehrseiten-Bearbeitungsebenenwahl mit kartesischem Koordinatensystem

Die geringfügigen Veränderungen der Bearbeitungsebenenwahl bei Drehen und Fräsen haben zwei Gründe: Zum einen eine einheitliche Programmierung der Bearbeitungsebenen bei Drehen und Fräsen und zum anderen die Wiederherstellung der Kreisbogen-Interpolationsebenenbefehle G17, G18 und G19 entsprechend zur DIN 66025.

Die Anwahl der Mehrseiten-Bearbeitungsebenen erfolgt aus der aktiven Kreisinterpolations-Standardebene G17 oder G18 oder G19 heraus mit dem Befehl G15 IP5 oder nur mit G15, da der Adresswert 5 der Mehrseitenbearbeitung die Voreinstellung für IP ist. G15 kann auch zusammen mit der Anwahl einer Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 programmiert werden.

Aufrufvarianten:

G15 G15 IP5 G15 G17 G15 G18 G15 G19

Siehe die ausführlichen Erläuterungen in Anwahl kartesischer Bearbeitungsebenen der Mehrseitenbearbeitung.

Differenzbeschreibung PAL2019 zu PAL2007

Alle Bearbeitungsebenenwahlbefehle der PAL2007 werden in der neuen PAL2019-Befehlskodierung wie folgt nur in der Nummer des G-Befehls geändert:

In den PAL2007-Bearbeitungsebenenwahlbefehlen wird mit dem Voreinstellungswert IP5 der Adresse IP

G17 oder **G18** oder **G19** ersetzt durch **G15 G17** oder **G15 G18** oder **G15 G19**

oder mit Übernahme der jeweils modalen Kreisbogen-Interpolationsebene G17 oder G18 oder G19 nur durch **G15**

Die Vereinfachung der zweiten Zeile ergibt sich aus dem Sachverhalt, dass die Kreisbogen-Interpolationsebenen G17, G18, G19 selbsthaltend (modal) sind und als Einschaltzustand der Maschine nicht programmiert werden müssen, sowie in der Regel auch nicht im NC-Programm verändert werden.

Die unterschiedlichen weiteren Adressen der Bearbeitungsebenenwahl für maschinenfeste oder inkrementelle Winkeleingaben, Schnittwinkel, 3-Punkte-Form, Basis- und Zustellvektor bleiben alle unverändert.

Nachstehend sind alle Varianten der Bearbeitungsebenen-Programmierung angegeben.

G15 IP5 - Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl

Funktion

Ausgehend von der am Werkstück eingestellten Standardbearbeitungsebene erfolgt das Einschwenken der zur aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 gehörigen Standardbearbeitungsebene durch aufeinanderfolgende Drehungen des Koordinatensystems mit der programmierten Winkelauswahl um die festen Maschinenkoordinatensystem-Achsrichtungen und zwar mit AM um die X-Achse, mit BM um die Y-Achse und mit CM um die Z-Achse in der mit IR festgelegten Reihenfolge. Da das Ergebnis i.a. von der Reihenfolge der Drehungen anhängig ist, muss bei mehr als einem programmierten Drehwinkel zusätzlich eine Reihenfolge-Adresse IR programmiert werden, wenn von der Vorgabereihenfolge der Winkel abgewichen werden soll. Diese Winkelausgaben werden von der NC auf die in der Maschinenkinematik vorhandenen Rund-/Schwenkachsen umgerechnet und mit Q eine der i.a. zwei Lösungen ausgewählt.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AM** | **BM** | **CM**) **XI** **YI** **ZI** **IR** **H** **DS** **Q**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene	
	17	XY-Ebene	
	18	ZX-Ebene	
	19	YZ-Ebene	
Maschinenfeste Raumwinkel			
AM	[0]	Drehwinkel um die X-Achse des Maschinenkoordinatensystems	
BM	[0]	Drehwinkel um die Y-Achse des Maschinenkoordinatensystems	
CM	[0]	Drehwinkel um die Z-Achse des Maschinenkoordinatensystems	
Verschiebung			
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X	
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y	
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z	
Schwenkverhalten			
IR	[123]	Drehwinkelreihenfolge (Siehe Programmierhinweise)	
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten	
		1	Einschwenken der Drehachsen
		2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
3	Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen		
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2 Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende	

		Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl
	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung

Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Drehwinkelreihenfolge

IR ist eine ein-, zwei- oder dreistellige Zahl gebildet aus den drei verschiedenen Ziffern 1, 2 und 3, die nicht doppelt vorkommen dürfen. Dabei wird der Ziffer 1 eine Drehung um die X-Achse, der Ziffer 2 eine die Drehung um die Y-Achse und der Ziffer 3 eine Drehung um die Z-Achse zugeordnet.

Beginnend mit der ersten links stehenden Ziffer werden die Drehungen in absteigender Ziffern-Reihenfolge durchgeführt. Bei nur einem programmierten Drehwinkel kann die Angabe von IR entfallen, bei zwei angegebenen Drehwinkeln ist eine einstellige Zahl mit der Ziffer der die erste Drehachse festlegenden Zahl ausreichend, wenn für diese Achse auch ein Winkel programmiert ist.

Ist ein Drehwinkel zu einer Ziffer im Bearbeitungsebenenaufruf nicht programmiert worden, so wird diese Ziffer ignoriert und zur nachstehenden Ziffer übergegangen.

G15 IP5 - Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl

Funktion

Das Einschwenken der zur aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 gehörigen Standardbearbeitungsebene erfolgt hier durch aufeinanderfolgende Drehungen des Koordinatensystems mit der programmierten Winkelauswahl und Winkelreihenfolge um die programmierte Achse des bereits mit dem vorausgehenden Winkel weitergedrehten Werkstückkoordinatensystems und zwar mit AR um die X-Achse, mit BR um die Y-Achse und mit CR um die Z-Achse in der mit IR festgelegten Reihenfolge. Bei der ersten Drehung stimmt die Drehachsrichtung noch der Maschinenkoordinatensystemachsrichtung überein. Da das Ergebnis i.a. von der Reihenfolge der Drehungen anhängig ist, muss bei mehr als einem programmierten Drehwinkel zusätzlich eine Reihenfolge-Adresse IR programmiert werden, wenn von der Vorgabereihenfolge der Winkel abgewichen werden soll. (Die inkrementellen Winkel entsprechen den EULER-Winkeln.)

Diese Winkeleingaben werden von der NC auf die in der Maschinenkinematik vorhandenen Rund-/Schwenkachsen umgerechnet und mit Q eine der i.a. zwei Lösungen ausgewählt.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AR** | **BR** | **CR**) **XI** **YI** **ZI** **IR** **H** **DS** **Q**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Inkrementelle Raumwinkel		
AR	[0]	Drehwinkel um die X-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
BR	[0]	Drehwinkel um die Y-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
CR	[0]	Drehwinkel um die Z-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
Schwenkverhalten		
IR	[123]	Drehwinkelreihenfolge (Siehe Programmierhinweise)
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
		1
	2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung

		3	Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]		<p>Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2</p> <p>Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt.</p> <p>Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.</p>
Q	[1]		Lösungsauswahl
		1	Voreingestellte Einschwenklösung
		2	Alternative Einschwenklösung

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Drehwinkelreihenfolge

IR ist eine ein-, zwei- oder dreistellige Zahl gebildet aus den drei verschiedenen Ziffern 1, 2 und 3, die nicht doppelt vorkommen dürfen. Dabei wird der Ziffer 1 eine Drehung um die X-Achse, der Ziffer 2 eine die Drehung um die Y-Achse und der Ziffer 3 eine Drehung um die Z-Achse zugeordnet.

Beginnend mit der ersten links stehenden Ziffer werden die Drehungen in absteigender Ziffern-Reihenfolge durchgeführt. Bei nur einem programmierten Drehwinkel kann die Angabe von IR entfallen, bei zwei angegebenen Drehwinkeln ist eine einstellige Zahl mit der Ziffer der die erste Drehachse festlegenden Zahl ausreichend, wenn für diese Achse auch ein Winkel programmiert ist.

Ist ein Drehwinkel zu einer Ziffer im Bearbeitungsebenenaufruf nicht programmiert worden, so wird diese Ziffer ignoriert und zur nachstehenden Ziffer übergegangen.

G15 IP5 - Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenanwahl

Funktion

In dieser Programmiervariante der Bearbeitungsebenenwahl werden die Winkel der Schnittlinien der Bearbeitungsebene mit parallel zu der aktuellen Kreisbogen-Interpolationsebenen G17/G18/G19 liegenden Standardebenen-Schnittflächen einer Seitenansicht oder einer Aufsicht des Werkstückes zu einer in der jeweiligen Schnittfläche/Ansicht liegenden Standardbearbeitungsebenenachse herangezogen.

Anmerkung: Aus Konsistenzgründen sollte diese Standardbearbeitungsebenenachse eigentlich stets die erste Geometrieachse der Kreisbogen-Interpolationsebenen-Schnittfläche sein. Heidenhain und Siemens folgend wird für BS in der G18-Schnittfläche aber die zweite Geometrieachse X und nicht die erste Geometrieachse Z als Winkelbezugsachse verwendet.

Es müssen zwei der drei Schnittwinkel programmiert werden.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** (**AS** **BS**) / (**AS** **CS**) / (**BS** **CS**) **XI** **YI** **ZI** **O** **H** **DS** **Q**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Schnittwinkel		
AS	[0]	Drehwinkel um die X-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
BS	[0]	Drehwinkel um die Y-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
CS	[0]	Drehwinkel um die Z-Achse des jeweils aktuellen Koordinatensystems
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
O	[1]	Achsrichtungsauswahl (Siehe Programmierhinweise)
	1	Die erste Bearbeitungsebenenachse (erste Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
	2	Die zweite Bearbeitungsebenenachse (zweite Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
	3	unterscheidet nach den anderen Standardebenen
	4	unterscheidet nach den anderen Standardebenen
Schwenkverhalten		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten

		1	Einschwenken der Drehachsen
		2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
		3	Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2 Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.	
Q	[1]	Lösungsauswahl	
		1	Voreingestellte Einschwenklösung
		2	Alternative Einschwenklösung

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Dabei verstehen wir unter Schnittwinkel in einer Standardebenen-Schnittfläche (G17 oder G18 oder G19) den Winkel der Schnittgeraden von der Bearbeitungsebene mit dieser Standardschnittfläche bezüglich der angegebenen Standardebenenachse (Y oder X) dieser Schnittfläche. Das Vorzeichen des Schnittwinkels wird gemäß dem Drehsinn des Rechtssystems (Rechte-Hand-Regel) um die Zustellachse dieser Schnittfläche (X oder Y oder Z) bestimmt und der Drehachsbuchstabe (A oder B oder C) der jeweiligen Zustellachse ergänzt um S als Winkeladresse dieses Schnittwinkels zugeordnet.

Achsrichtungsauswahl

Es wird die Schnittlinie der neuen Bearbeitungsebene mit einer Standard-Bearbeitungsebene des XYZ-Ausgangs-Koordinatensystems mit der Adresse O ausgewählt. Das neue Koordinatensystem wird dabei so um die Zustellachse gedreht, dass eine der beiden Bearbeitungsebenenachsen (Auswahl mit O) des neuen Koordinatensystems (X'Y'Z') parallel zu dieser Schnittlinie liegt.

O1	Die erste Bearbeitungsebenenachse (erste Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
O2	Die zweite Bearbeitungsebenenachse (zweite Geometrieachse der Ebene) liegt in der Ausgangsbearbeitungsebene (G17/G18/G19)
O3/ O4	unterscheiden nach den anderen Standardebenen

Auswahltabelle (X', Y', Z' sind Achsen der Bearbeitungsebene):

G17	O1	X' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
	O2	Y' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
	O3	X' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)
	O4	Y' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
G18	O1	Z' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)
	O2	X' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)
	O3	Z' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)

	O4	X' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
G19	O1	Y' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
	O2	Z' liegt in der YZ-Ebene (parallel G19)
	O3	Y' liegt in der XY-Ebene (parallel G17)
	O4	Z' liegt in der ZX-Ebene (parallel G18)

G15 IP5 - Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene

Funktion

Festlegung der Bearbeitungsebenen durch Vorgabe der Koordinaten von drei Punkten in dem zur Kreisbogen-Interpolationsebene G17/G18/G19 gehörigen Standardbearbeitungsebenenkoordinatensystem.

Dies entspricht der klassischen mathematischen Definition: Eine Ebene ist geometrisch durch drei Raumpunkte allgemeiner Lage eindeutig festgelegt (allgemeiner Lage bedeutet, dass die drei Punkte nicht alle auf einer Geraden liegen).

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** **XD** **YD** **ZD** **XE** **YE** **ZE** **XF** **YF** **ZF** **XI** **YI** **ZI** **H** **DS** **Q**

Adressen

G17 /		Interpolationsebene
G18 /	17	XY-Ebene
G19	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Drei-Punkte-Definition		
XD		X-Koordinate des 1. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YD		Y-Koordinate des 1. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZD		Z-Koordinate des 1. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
XE		X-Koordinate des 2. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YE		Y-Koordinate des 2. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZE		Z-Koordinate des 2. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
XF		X-Koordinate des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
YF		Y-Koordinate des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
ZF		Z-Koordinate des 3. Ebenenpunktes in Werkstückkoordinaten
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
Schwenkverhalten		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken der Drehachsen
	2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung

		3	Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2 Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.	
Q	[1]	Lösungsauswahl	
		1	Voreingestellte Einschwenklösung
		2	Alternative Einschwenklösung

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Die Koordinatensystemrichtung wird durch die Reihenfolge der drei Punkte bestimmt: Die Verbindungslinie von Punkt P1 mit den Koordinaten XD, YD, ZD zu Punkt P2 mit den Koordinaten XE, YE, ZE legt die Richtung der ersten Ebenenachse fest. Die von dieser ersten Ebenenachse senkrecht auf P3 mit den Koordinaten XF, YF, ZF zeigende Richtung legt die zweite Bearbeitungsebenenachse fest, so dass sich die Zustellrichtung aus der Rechte-Hand-Regel ergibt.

G15 IP5 - Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl

Funktion

Im zur Kreisbogen-Interpolationsebene G1A gehörigen Standardbearbeitungsebenenkoordinatensystem wird mit einem Basisvektor mit den Komponenten XB, YB, ZB die Richtung der ersten Geometrieachse der Bearbeitungsebene festgelegt und mit einem Zustellvektor mit den Komponenten XN, YN, ZN wird die Richtung der Zustellachse festgelegt (mathematisch die Normalenrichtung der Bearbeitungsebene). Mit diesen beiden Koordinatenrichtungen ist das Rechtssystem der Bearbeitungsebene festgelegt.

NC-Satz

G15 **G17/G18/G19** **IP5** **XB** **YB** **ZB** **XN** **YN** **ZN** **XI** **YI** **ZI** **H** **DS** **Q**

Adressen

G17 / G18 / G19		Interpolationsebene
	17	XY-Ebene
	18	ZX-Ebene
	19	YZ-Ebene
Basis- und Zustellvektor		
XB		Komponente des Basisvektors in X-Richtung
YB		Komponente des Basisvektors in Y-Richtung
ZB		Komponente des Basisvektors in Z-Richtung
XN		Komponente des Zustellvektors in X-Richtung
YN		Komponente des Zustellvektors in Y-Richtung
ZN		Komponente des Zustellvektors in Z-Richtung
Verschiebung		
XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z
Schwenkverhalten		
H	[1]	Ebenen-Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken der Drehachsen
	2	Einschwenken der Drehachsen mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein automatisches Einschwenken der Drehachsen
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2 Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch

		Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl
	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung

Programmierhinweise

Die Verschiebungen X_I , Y_I , Z_I werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Der Zustellvektor mit den Komponenten X_N , Y_N , Z_N darf kein Vielfaches des Basisvektors mit den Komponenten X_B , Y_B , Z_B sein und sollte senkrecht auf dem Zustellvektor stehen. Andernfalls wird seine Projektion auf die Zustellachse vektoriell abgezogen, so dass die Vektordifferenz senkrecht auf der ersten Ebenenachse steht.

Die Richtung der zweiten Ebenenachse ergibt sich durch die Rechte-Hand-Regel.

Diese Ebenenanwahl wird in der Regel von CAD/CAM-Systemen verwendet.

G16 - Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

Funktion

Die inkrementelle Drehung wird dann verwendet, wenn eine bereits aktive geschwenkte Bearbeitungsebene vom Typ G15 IP5 oder G16 um eine weitere Drehung in einer Rundachse des Werkstückkoordinatensystems geschwenkt werden soll.

NC-Satz

G16 AR/BR/CR XI YI ZI H DS Q HW

Adressen

Drehung

AR		Drehung um die X-Achse
BR		Drehung um die Y-Achse
CR		Drehung um die Z-Achse

Verschiebung

XI	[0]	Nullpunktverschiebung in X
YI	[0]	Nullpunktverschiebung in Y
ZI	[0]	Nullpunktverschiebung in Z

Einschwenken

H	[1]	Einschwenkverhalten
	1	Einschwenken
	2	Einschwenken mit Werkzeugausgleichsbewegung
	3	Kein Einschwenken
DS	[0]	Verschiebung der virtuellen Schwenkposition, nur bei H2 Es wird die virtuelle Schwenkposition auf der im Werkzeug liegende Zustellachse durch Verschieben des Werkzeugschneidenpunktes um DS festgelegt. Diese Position bleibt beim Einschwenken bezüglich des Werkstückes durch Ausgleichsbewegungen in X, Y und Z erhalten.
Q	[1]	Lösungsauswahl
	1	Voreingestellte Einschwenklösung
	2	Alternative Einschwenklösung
HW	[1]	Werkzeugrichtung (bei Revolvermaschinen)
	1	Vertikales Werkzeug
	2	Horizontales Werkzeug

! Programmierhinweise

Die Verschiebungen XI, YI, ZI werden vor der Ebenenanwahl ausgeführt.

Die Bearbeitungsebene kann mehrfach inkrementell mit G16 gedreht werden. Ein erneuter G16-Befehl setzt auf der aktuellen Bearbeitungsebene auf.

Ein G16-Befehl ohne Winkeladressen stellt die zuvor mit G15/G17/G18/G19 erzeugte Ausgangsebene wieder her - auch dann, wenn G16 mehrfach programmiert wurde.

Eine neue Bearbeitungsebenenwahl mit G15 hebt eine inkrementelle Bearbeitungsebenenendrehung wieder auf.

Parameterprogrammierung und Systemparameter

•	Parameterprogrammierung
•	Systemparameter
•	Rechenoperationen
•	Mathematische Funktionen
•	Arithmetische und logische Ausdrücke

Parameterprogrammierung

Es wird zwischen zwei Arten von Parametern unterschieden:

- **Benutzerparameter**
- **Systemparameter**

Benutzerparameter

Die Benutzerparameter werden mit der Adresse P und dem ganzzahligen Adresswert von 1 bis 9999 programmiert. Führende Nullen in dem Adresswert können weggelassen werden. Die Parameter mit den Nummern 1 bis 5000 stehen dem Benutzer zur Verfügung. Die Parameter mit den Nummern größer als 5000 werden für interne Berechnungen verwendet. Der Wert des Parameters P0 hat die spezielle Bedeutung eines noch nicht durch eine Zuweisung definierten Parameters (undefined).

Die Wertzuweisung bei Benutzerparametern erfolgt durch Gleichheitszeichen nach dem Adresswert von P, z.B.

P4711=-100.00

Als Wert kann ein berechenbarer arithmetischer Ausdruck zugewiesen werden - im einfachsten Fall eine Zahl, wie in dem obigen Beispiel.

Es können mehrere Parameterzuweisungen in einem NC-Satz programmiert werden.

Einer NC-Adresse kann der Wert eines Benutzerparameters zugewiesen werden, in dem der Parameter mit vorangestelltem Gleichheitszeichen an die Adressbuchstabenkombination angehängt wird, z.B.

X=P4711

Auch ist es möglich, einer Adresse mit Gleichheitszeichen den Wert eines arithmetischen Ausdruckes zuzuordnen.

Systemparameter

Über Systemparameter kann auf aktuelle Achswerte und Setzungen des CNC-Steuerungssystems lesend zugegriffen werden, die z.B. beim Schreiben von Unterprogrammen benötigt werden.

Diese Systemparameteradressen beginnend mit dem Buchstaben P und haben keinen Adresswert, sondern nur eine an P angehängte Buchstabenkombination, z.B. (aktueller Nullpunkt in X)

PNX

Man beachte: Den Systemparametern kann kein Wert zugewiesen werden.

Die Systemparameter werden beim Programmablauf dynamisch verändert und haben beim Abruf stets den aktuellen Wert.

Systemparameter

der Makro- und Zyklusprogrammierung bei Drehen & Fräsen

Parameter	Bedeutung	Werte
PDM	Radius/Durchmesserprogrammierung	0=Radius, 1=Durchmesser, 2=Durchm. abs, Radius inkr.
PXA	Aktuelle X-Koordinate (absolut)	
PYA	Aktuelle Y-Koordinate (absolut)	
PZA	Aktuelle Z-Koordinate (absolut)	
PAA	Aktuelle A-Achsposition (absolut)	
PBA	Aktuelle B-Achsposition (absolut)	
PCA	Aktuelle C-Achsposition (absolut)	
PG	Modaler G-Befehl	0=G0, 1=G1, 2=G2, 3=G3
PAI	Endpunktkoordinaten absolut/inkremental	90=G90, 91=G91
PNR	Angewählte einstellbare Nullpunktverschiebung	54=G54, 55=G55, 56=G56, 57=G57
PNX	Aktueller Werkstücknullpunkt in X	
PNY	Aktueller Werkstücknullpunkt in Y	
PNZ	Aktueller Werkstücknullpunkt in Z	
PMX	Einstellbare Nullpunktverschiebung in X	
PMY	Einstellbare Nullpunktverschiebung in Y	
PMZ	Einstellbare Nullpunktverschiebung in Z	
PFM	Millimeter-/Umdrehungsvorschub	94=G94, 95=G95
PF	Aktueller Vorschub	
PSM	Konstante Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit	96=G96, 97=G97
PS	Aktuelle Drehzahl / Schnittgeschwindigkeit	
PSG	Grenzdrehzahl	
PM	Aktuelle Drehrichtung	3=M3, 4=M4, 5=M5
PT	Aktuelle Werkzeugnummer	
PTC	Aktuelle Korrekturwertregisternummer	
PCR	Schneidenradius	
PCL	Längenkorrektur	
PCX	Korrekturwert in X	
PCY	Korrekturwert in Y	
PCZ	Korrekturwert in Z	
PCQ	Quadrant	
PD	Einstechmeißelbreite / Bohrerdurchmesser	

Rechenoperationen

+	<p>Addition</p> <p>Eine Addition wird mit dem Zeichen '+' (Plus) programmiert.</p>
-	<p>Subtraktion</p> <p>Eine Subtraktion wird mit dem Zeichen '-' (Minus) programmiert.</p>
*	<p>Multiplikation</p> <p>Eine Multiplikation wird mit dem Zeichen '*' (Stern) programmiert.</p>
/	<p>Division</p> <p>Eine Division wird mit dem Zeichen '/' (Schrägstrich) programmiert.</p>
+ -	<p>Vorzeichenangabe</p> <p>Durch die Vorzeichenangabe '+' (Plus) oder '-' (Minus) können Werte als reelle Zahlen mit bis zu vier Nachkommastellen verwendet werden. Werte ohne Vorzeichen werden als positive Zahlen interpretiert.</p>
()	<p>Klammern</p> <p>Mit den angeführten Rechenarten ist auch die Verwendung von Klammern zur Steuerung der Abarbeitungsreihenfolge möglich. Als Zeichen werden hierfür '(' (Klammer auf) und ')' (Klammer zu) verwendet.</p>

Für die Reihenfolge der Ausführungen gilt die Punkt-vor-Strich-Regel (* / vor + -), die festlegt, dass zuerst die Multiplikation und Division vor Addition oder Subtraktion durchgeführt werden.

Mathematische Funktionen

Zur Programmierung steht eine Liste von Funktionen zur Verfügung. Eine Funktion ordnet ihrem in Klammern stehenden Argument, das ein arithmetischer Ausdruck sein kann, einen Funktionswert zu. Eine Funktion kann auch zwei durch Komma getrennte Argumente haben (MOD und ATAN2). Der Funktionswert wird mit dem Funktionsnamen und den angehängten Argumenten in Klammern programmiert. Ein Funktionswert kann in einem arithmetischen Ausdruck wie eine Zahl oder ein Parameter verwendet werden.

In der nachstehenden Funktionsaufstellung steht F für eine beliebige positive oder negative Gleitkommazahl und I für eine ganze Zahl (positiv oder negativ).

ABS(F/I)	Absolutbetrag Berechnet den Absolutbetrag des Argumentes als Funktionswert.
INT(F)	IntegerWert Schneidet die Nachkommastellen des Argumentes ab und hat als Funktionswert eine ganze Zahl.
MOD(I1,I2)	Modulo-Funktion Restbetrag IR einer ganzzahligen Division. Der Rest $IR = I1 - (I1 / I2) * I2$ ist betragsmäßig kleiner als I2.
CEIL(F)	Aufrunden Bestimmt die kleinste ganze Zahl, die größer oder gleich dem Argument ist.
FIX(F)	Absolutwert abrunden Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
FLOOR(F)	Abrunden Bestimmt die größte ganze Zahl, die kleiner oder gleich dem Argument ist.
FUP(F)	Absolutwert aufrunden Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
ROUND(F)	Runden Aufrunden und Abrunden auf eine ganze Zahl.
SGN(F)	Vorzeichen Bei negativen Argument = -1, bei positiven Argument = +1.
SIN(F)	Sinus Sinusfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
COS(F)	Kosinus Kosinusfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
TAN(F)	Tangens Tangensfunktion mit der Argumenteinheit Winkelgrad.
ASIN(F)	Arcussinus Arcussinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.

ACOS(F)	<p>Arcuskosinus</p> <p>Arcuskosinusfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.</p>
ATAN(F)	<p>Arcustangens</p> <p>Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad.</p>
ATAN2(F1,F2)	<p>ATAN2(F1,F2)</p> <p>Die Arcustangensfunktion mit dem Funktionswert Winkelgrad. Die Funktion entspricht der Tangensfunktion mit dem Argument $F1/F2$ für $F2$ ungleich 0 und $ATAN2(F1,0)=90$ Grad für $F1>0$ $ATAN2(F1,0)=-90$ Grad für $F1<0$.</p>
SQRT(F)	<p>Quadrat-Wurzel</p> <p>Quadratwurzelfunktion</p>
EXP(F)	<p>Exponentialfunktion</p> <p>Die Exponentialfunktion ist die Potenz e hoch F und wird mit der Eulerschen Konstanten $e = 2,71828$ berechnet.</p>
LN(F)	<p>natürlicher Logarithmus</p> <p>Als Umkehrfunktion zur obigen Exponentialfunktion kann mit 'LN' der Logarithmus zur Basiszahl e berechnet werden.</p>

Arithmetische und logische Ausdrücke

Arithmetische Ausdrücke

Ein arithmetischer Ausdruck wird aus Parametern, Zahlenwerten und Funktionswerten zusammen mit den arithmetischen Operationen +, -, *, / und Klammerungen () gebildet, wobei die üblichen Algebra-Regeln über die Klammerung und 'Punkt-vor-Strich-Rechnung' gültig sind. Innerhalb eines arithmetischen Ausdrucks wird ein Parameter oder eine Funktion wie eine Zahl behandelt.

Ein arithmetischer Ausdruck muss mit dem Zeichen '(' (runde Klammer auf) eröffnet und mit dem Zeichen ')' (runde Klammer zu) abgeschlossen werden. Arithmetische Teilausdrücke eines arithmetischen Ausdrucks innerhalb der äußeren Klammern können ebenfalls durch runde Klammern eingeschlossen werden.

Besteht ein arithmetischer Ausdruck nur aus einer Zahl oder nur aus einem Parameter muss der Ausdruck nicht eingeklammert werden.

Vor seiner Verwendung in einem arithmetischen Ausdruck muss der Benutzerparameter P im NC-Programm bereits definiert sein.

Zuweisung

Der Begriff der Zuweisung ist hier beschränkt auf die Zuweisung des Wertes eines arithmetischen Ausdrucks per Gleichheitszeichen zu einem Parameter P oder zu einer NC-Adresse, die zusammen ein NC-Wort aus Adresse und Adresswert bilden, $P1=(arithm. \text{ Ausdruck})$ oder $X=(arithm. \text{ Ausdruck})$.

P1=(arithm. Ausdruck)	weist dem Parameter P1 den Wert des arithmetischen Ausdrucks zu
P(arithm. Ausdruck)	ist der Parameter mit der Parameternummer gleich dem Wert des arithmetischen Ausdrucks

Logische Ausdrücke

Ein logischer Ausdruck (oder auch logische Bedingung genannt) besteht aus einem zweibuchstabigem Vergleichsoperator zwischen zwei arithmetischen Ausdrücken. Diese drei Angaben werden jeweils durch ein Leerzeichen getrennt und durch runde Klammern eingefasst. Ein arithmetischer Ausdruck kann hier auch nur aus einer Zahl oder einem Parameter bestehen.

((arithmetischer Ausdruck 1) Vergleichsoperator (arithmetischer Ausdruck 2))

Vergleichsoperatoren

Die Vergleichsoperatoren bestehen aus zwei Buchstaben und werden benutzt, um im Vergleich zweier Zahlenwerte festzustellen, ob dieser Vergleich der beiden Zahlenwerte richtig oder falsch ist.

EQ	gleich	(EQUAL)
NE	ungleich	(NOT EQUAL)
GT	größer als	(GREATER THAN)
GE	größer gleich	(GREATER or EQUAL)
LT	kleiner als	(LESS THAN)
LE	kleiner gleich	(LESS or EQUAL)

Logische Ausdrücke haben damit entweder den Wahrheitswert wahr oder falsch.

Diesem Wahrheitswert eines logischen Ausdrucks werden die folgenden Zahlenwerte zugeordnet:

1	für wahr und
0	für falsch

In einem sinnvollen logischen Ausdruck ist in einem arithmetischen Ausdruck mindestens ein Parameter enthalten, dessen Wert die Entscheidung zwischen richtig und falsch verändern kann.

weitere Programmiermöglichkeiten

- Geometrieprogrammierung
- Konturzugprogrammierung mit G61, G62 und G63

Geometrieprogrammierung

Die Winkel und Längenangaben beziehen sich sämtlich auf den Bewegungsanteil in der Bearbeitungsebene. Bei 3D-Bewegungen in allen drei Geometrieachsen wird folglich nur die Projektion des Verfahrweges in die Bearbeitungsebene bei den Winkeln und Längen berücksichtigt (d. h. eine Bewegung in der Zustellachse wird in der Berechnung bei Strecken und bei Kreisbögen ignoriert).

Bei Fasen und Verrundungen in 3D-Bewegungen wird wie folgt verfahren:

Sind zwei programmierte Konturelemente durch eine Verrundung oder Fase miteinander verbunden, so wird eine programmierte Zustellung des ersten Konturelementes bereits auf dem Anfangspunkt der Verrundung oder Fase erreicht und die Verrundung oder Fase mit konstanter Zustellung abgefahren. Eine Zustellbewegung des zweiten Konturelementes beginnt am Endpunkt der Verrundung oder Fase.

Kreisbogenprogrammierung mit G2 / G3 und Konturzugprogrammierung mit G62 / G63

Die Erweiterung der Kreisbogenprogrammierung mit G2, G3 auf die von der DIN 66025 auch zugelassenen folgenden Geometrieadressen mit einer automatischen Endpunkt- oder Mittelpunktberechnung bei der Programmierung von nur drei Geometrieadressen muss eine Lösungsauswahl für den Kreisbogen zulassen:

R	Kreisradius
AO	Öffnungswinkel

Diese Lösungsauswahl ist insbesondere bei Konturzügen erforderlich, da es z.B. bei drei beliebigen Geometrieadressen schon keine, eine, zwei, drei oder vier Kreisbogenlösungen geben kann.

Diese Auswahl kann mit den beiden folgenden Auswahlsteueradressen getroffen werden:

O	Bogenlängenkriterium
H	Startwinkelkriterium

Beim Bogenlängenkriterium wählt man unter zwei möglichen Lösungen den Kreisbogen mit der kleineren oder größeren Bogenlänge aus.

Das Bogenlängenkriterium kann auf zwei Arten programmiert werden:

- Als Vorzeichen des Kreisradius R

R+	Auswahl des kürzeren Kreisbogens
R-	Auswahl des längeren Kreisbogens

- Mit der Steueradresse O

O1	Auswahl des kürzeren Kreisbogens (Voreinstellung)
O2	Auswahl des längeren Kreisbogens

Wird R programmiert, so hat dies eine höhere Priorität als die Programmierung von O.

Dieses Bogenlängenkriterium ist ausreichend, wenn es zwei Lösungen mit unterschiedlicher Bogenlänge gibt. Haben die zwei Lösungskreisbögen die gleiche Länge, so können sie wegen der mit G2 oder G3 vorgegebenen Kreisorientierung keinen gemeinsamen Kreismittelpunkt haben. Die Auswahl des zugehörigen Kreises mit seinem Mittelpunkt erfolgt dann mit dem Startwinkelkriterium im Startpunkt des Kreisbogens.

Das Winkelkriterium verwendet den Winkel des parallel zur Kreistangente im Startpunkt liegenden Strahls in Bewegungsrichtung zur positiven ersten Ebenenachse. Das Kriterium wählt entweder den Kreisbogen mit dem kleineren oder größeren Startwinkel aus.

Das Startwinkelkriterium wird mit der Steueradresse H programmiert:

H1	Auswahl des kleineren Startwinkels (Voreinstellung)
H2	Auswahl des größeren Startwinkels.

Haben Kreisbogenlösungen einen gemeinsamen Mittelpunkt, so bleibt das Startwinkelkriterium ohne Auswahlfunktion.

Das Bogenlängenkriterium hat Vorrang vor dem Winkelkriterium:

Im Fall einer eindeutigen Lösung für den Kreisbogen sind die Auswahladressen H, O oder das Vorzeichen von R bedeutungslos und werden ignoriert.

Kompatibilitätsbedingung bei G2 und G3

Die Anwendung dieser Auswahlkriterien kann in G2 oder G3 bei der Programmierung mit dem Öffnungswinkel oder den 4 Geometrieadressen des Kreismittelpunktes und der beiden Endpunktadressen entfallen. Die Programmierung der letzten vier Geometrieadressen schränkt wegen der Überbestimmtheit im allgemeinen die Lösungsvielfalt auf eine oder keine Lösung ein (Kreisformfehler bei der Mittel- und Endpunkteingabe G2/G3 X Y I K der 'klassischen' überbestimmten Kreisbogenprogrammierung).

Linearbewegung mit G1

Die Programmierung einer Strecke mit G1 wird um die folgenden Geometrieadressen erweitert:

AS	Winkel zur positiven ersten Geometrieachse
D	Länge der Strecke

Entsprechend ist eine Strecke durch die Programmierung von zwei beliebigen Geometrieadressen (bis auf Sonderfälle bei ebenenachsp parallelen Richtungen) berechenbar. Bei der Längenprogrammierung mit der Adresse D und einer Geometrieadresse erfolgt die Lösungsauswahl mit dem Winkelkriterium angewandt auf die Richtung der Strecke.

Verrundungen und Fasen als Übergangselemente zwischen zwei Konturelementen

Beim Einfügen einer Verrundung oder Fase wird geprüft, ob diese sich überhaupt einsetzen lässt.

Beim Fasen von Kreisbögen wird die Sekantenlänge des abgeschnittenen Kreisbogenstückes für die Berechnung zugrunde gelegt.

Bei der Berechnung des Übergangselementes Fase oder Verrundung zwischen zwei Konturelementen wird dieses ohne Berücksichtigung von möglichen Bewegungen in der Zustellachse nur in der (2D-)Bearbeitungsebene berechnet (Projektion der Bewegung in die Bearbeitungsebene). Bei der Berechnung der symmetrischen Fase wird bei Kreisbögen die Länge des abgeschnittenen Bogenstückes zur Bestimmung verwendet.

Bei Bewegungen in der Zustellachse bei einem oder beiden Konturelementen werden dann die Zustellachswerte in den Übergangselement-Endpunkten berechnet und diese dem Übergangselement zugeordnet. Auf diese Weise entsteht bei Fasen eine lineare 3D-Bewegung in allen drei Achsen und bei Verrundungen eine 3D-Helixbewegung.

Konturzugprogrammierung mit G61, G62 und G63

Die gegenüber G1, G2 und G3 erweiterten Wegbedingungen G61, G62 und G63 ermöglichen eine Konturzugprogrammierung mit offenen, noch unbestimmten Konturelementen und tangentialen Übergängen oder Übergangswinkeln zwischen Konturelementen.

Unter einem Konturzug ist eine gerichtete Folge aus den Konturelementen Strecke und Kreisbogen zu verstehen, welche eine Werkstückkontur beschreiben. Neben den Angaben der Anfangs- und Endpunktkoordinaten bzw. der Mittelpunktskoordinaten können z.B. Längen, Winkel, tangentiale Übergangswinkel, Verrundungen, Fasen, die zur eindeutigen geometrischen Festlegung notwendig sind, eingegeben werden. Auf diese Weise ist die Konturprogrammierung direkt nach den Maßangaben der Zeichnung ohne Hilfsberechnungen möglich.

Insbesondere können noch nicht vollständig beschriebene Konturelemente unbestimmt (offen) programmiert werden.

Die fehlenden Angaben werden durch Schnittpunkte, Übergangswinkel von den nachfolgenden Konturelementen zurück übertragen (Rückwärtsrechnung).

Die Winkel und Längenangaben beziehen sich wie auch bei 3D-Bewegungen mit G1, G2 und G3 sämtlich auf den Bewegungsanteil in der Bearbeitungsebene. Bei 3D-Bewegungen in allen drei Geometrieachsen wird folglich nur die Projektion des Verfahrenweges in die Bearbeitungsebene bei den Berechnungen mit Winkeln und Längen berücksichtigt. (siehe auch Geometrieprogrammierung)

Wegbedingungen der Konturzugprogrammierung:

G61	Geradeninterpolation (entsprechend zu G1)
G62	Kreisinterpolation rechts (entsprechend zu G2)
G63	Kreisinterpolation links (entsprechend zu G3)

Man beachte: Die Wegbedingungen G61, G62 und G63 und deren Adresswerte sind nicht selbsthaltend.

Um die riesige Vielfalt bei der Eingabe der geometrischen Maßangaben zu strukturieren und komplexe Konturzüge aus mehreren Elementen (Strecken G61, Kreisbögen rechts G62, Kreisbögen links G63) zu gliedern, wird der folgende Begriff eines abgeschlossenen Mehrpunktekonturzuges verwendet, der den Grad der Rückrechnung festlegt:

Definition: Unter einem abgeschlossenen N-Punkte-Konturzug verstehen wir eine Folge von N-1 vielen Elementen mit N Punkten ausgehend von einem bekannten Anfangspunkt P1 bis zu dem Endpunkt PN, dessen Koordinaten entweder gegeben sind oder aus den Angaben des N-Punkte-Konturzuges von der PAL2019-Steuerung berechnet werden können. Die Maßangaben zu dem (N-1)-ten als dem letzten Konturelement sind erforderlich, um das vorhergehende Element mit seinen Endpunktkoordinaten berechnen zu können. Rekursiv gilt dies bis zum ersten Element; so dass auch der Endpunkt des ersten Elementes erst mit den Angaben des oder der nächsten Elemente bestimmt werden kann.

Die vor dem letzten liegenden Elemente nennt man offen.

Ein Konturelement heißt abgeschlossen, wenn es ganz (einschließlich seines Endpunktes) berechnet werden kann.

Das letzte Element eines Mehr-Punkte-Konturzuges oder ein Zwei-Punkte-Konturzug ist folglich abgeschlossen.

Ein beliebiger Konturverlauf besteht somit aus der Aneinanderreihung von N-Punkte-Konturzügen (Mehrpunktezügen) verschiedener Länge und von elementaren DIN-Konturelementen.

Abgeschlossene Konturelemente können beim Übergang auf DIN-Konturelemente G1, G2 oder G3 mit der Programmierung von RN durch eine Verrundung oder Fase verbunden werden.

Gleiches gilt beim Übergang von einem DIN-Konturelement auf ein Konturzugelement G61, G62 oder G63.

Definition: Ein N-Punkte-Konturzug heißt offen, wenn das letzte Element in seiner Größe und geometrischen Lage bestimmt ist, aber der Endpunkt auf diesem Element aus den bisher gemachten Eingaben nicht berechnet werden kann.

Da bei Mehrpunkt-Konturzügen die Umschaltung G90/G91 auf nur schwer nachvollziehbare Konturfehler führen könnte, werden nur festprogrammierte absolute oder inkrementelle Koordinatenadressen zugelassen. Die inkrementellen Koordinaten XI, I, YI, J sind nur dann zugelassen, wenn das vorausgehende Konturelement abgeschlossen ist.

Die häufigsten vorkommenden Mehrpunktezüge sind:

- **Zwei-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus dem Konturelement Strecke G61 oder Kreisbogen G62/G63
- **Drei-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus zwei Konturelementen in 4 Varianten
 - Strecke G61 in Strecke G61
 - Strecke G61 in Kreisbogen G62/G63
 - Kreisbogen G62/G63 in Strecke G61
 - Kreisbogen G62/G63 in Kreisbogen G62/G63
- **Vier-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus drei Elementen in 8 Varianten mit tangentialen Übergängen zwischen den Elementen
- **Fünf-Punkte-Konturzüge**
bestehend aus vier Elementen mit tangentialen Übergängen zwischen den Elementen (von den 16 Element-Reihenfolgevarianten und fast beliebig vielen Eingabe-Adressvarianten werden nur einige an den aktuellen CNC-Steuerungen verbreitete Kombinationen exemplarisch herausgegriffen)
- **Offene Mehr-Punkte-Konturzüge**

Da bei der Ausgestaltung einer Konturzugprogrammierung mit Mehrpunktezügen sehr schnell eine riesige Fülle von Eingabevarianten entsteht, kann dies im einzelnen nicht bis ins Detail festgelegt werden. Vielmehr werden Minimalanforderungen vorgegeben, deren Programmierung möglich sein muss. Die Lösungsauswahl erfolgt bei mehreren Lösungen mit den Auswahlkriterien:

- Bei Strecken G61 mit dem Längen- und Winkelkriterium
- Bei Kreisbögen G62, G63 mit dem Bogenlängen- und Winkelkriterium

Konturzug-Minimalanforderungen **KM1 - KM5 und KMO**

KM1	Alle Adresskombinationen sind bei der Programmierung eines Zwei-Punkte-Konturzuges G61, G62 oder G63 möglich.
KM2	Beim Drei-Punkte-Konturzug aus zwei Strecken sind ebenfalls alle Adresskombinationen zugelassen mit Ausnahme des Übergangswinkels AT beim zweiten Element.
KM3	Drei-Punkte-Konturzüge ohne die Adresse AT im zweiten Konturelement
KM3-AT0/180	Drei-Punkte-Konturzüge mit dem Adresswert AT0 oder AT180 im zweiten Konturelement für tangentiale AT0 oder spitz-tangentiale AT180 Übergänge
KM4	Vier-Punkte-Konturzüge für verschiedene Element-/Adresskombinationen
KM5	Fünf-Punkte-Konturzüge für verschiedene Element-/Adresskombinationen
KMO	Offene Konturzüge für verschiedene Element-/Adresskombinationen

Befehlsübersicht

G0	Linearinterpolation im Eilgang
G1	Linearinterpolation im Vorschub
G2	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn
G3	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn
G4	Verweildauer
G5	Werkzeugverschleiß
G6	Modale Adressen der Werkzeugwechselfunktanfahrt
G9	Genauhalt
G10	Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten
G11	Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten
G12	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten
G13	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten
G14	Werkzeugwechselfunkt anfahren
G15 IP0	Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung
G15 IP5	Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl
G15 IP5	Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl
G15 IP5	Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenanwahl
G15 IP5	Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene
G15 IP5	Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl
G16	Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse
G17/ G18/ G19	Kreisbogen-Interpolationsebenen
G22	Unterprogrammaufruf
G23	Programmteilwiederholung
G24	Modale Adressen für Fräszyklen
G29	Programmsprung
G34	Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren
G35	Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus
G36	Restmaterial-Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus
G37	Schlichttechnologie des Konturtaschenzyklus
G38	Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus

G39	Abschluss Konturtaschenzyklus
G40	Abwahl der Fräserradiuskorrektur
G41 / G42	Anwahl der Fräserradiuskorrektur
G45	Lineares tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur
G46	Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis
G47	Tangenciales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis
G48	Gravieren
G49	Konturfräszyklus
G50	Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen
G51	Einstellbare Nullpunkte setzen
G52	Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten
G53	Maschinennullpunkt
G54- G57	Einstellbare Nullpunkte
G58	Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung
G59	Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung
G61	Linearinterpolation für Konturzüge
G62	Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge
G63	Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge
G66	Spiegeln
G67	Skalieren
G69	Mehrkantzyklus
G70	Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)
G71	Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)
G72	Rechtecktaschenzyklus
G73	Kreistaschenzyklus
G74	Nutzenzyklus
G75	Kreisbogennutzenzyklus
G76	Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter
G77	Mehrfachzyklus auf einem Teilkreis
G78	Zyklusaufruf auf einem Punkt in Polarkoordinaten
G79	Zyklusaufruf auf einem Punkt
G80	Zyklusabschluss
G81	Bohrzyklus

G82	Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch
G83	Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren
G84	Gewindebohrzyklus
G85	Reibzyklus
G86	Ausdrehzyklus
G87	Bohrfräszyklus
G88	Innengewindefräszyklus
G89	Außengewindefräszyklus
G90	Absolutmaßangabe
G91	Kettenmaßangabe
G94	Vorschub in Millimeter pro Minute
G95	Vorschub in Millimeter pro Umdrehung
G96	Konstante Schnittgeschwindigkeit
G97	Konstante Drehzahl

Syntaxübersicht

- Linearinterpolation im Eilgang

G0 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI A/AA/AI B/BA/BI C/CA/CI G F S M M T TC
TR TX TY TZ

- Linearinterpolation im Vorschub

G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI D AS RN H G F E S M M T TC TR TX TY
TZ

G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) G F E S M M
T TC TR TX TY TZ

- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn

G2 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (I/IA | J/JA | AO) / R RN O G F E S M M

- Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn

G3 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI (I/IA | J/JA | AO) / R RN O G F E S M M

- Verweildauer

G4 U O

- Werkzeugverschleiß

G5 T TC VR VX VY VZ RK XK YK ZK

- Modale Adressen der Werkzeugwechsellpunktanfahrt

G6 SP LO XT YT ZT AT BT CT DT HT IT JT KT XO YO ZO AO BO CO
VO DO XP YP ZP AP BP CP XW YW ZW AW BW CW

- Genauhalt

G9

- Linearinterpolation im Eilgang in Polarkoordinaten

G10 RP AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI G F S M M T TC TR TX TY TZ

- Linearinterpolation im Vorschub in Polarkoordinaten

G11 RP AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI RN G F E S M M T TC TR TX TY TZ

- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

G12 AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI RN G F E S M M

- Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn in Polarkoordinaten

G13 AP/AI I/IA J/JA Z/ZA/ZI RN G F E S M M

- Werkzeugwechsellpunkt anfahren

G14 XT YT ZT H SP M M

- Direkte Programmierung aller NC-Achsen für Sonderbearbeitungen, Polar- und Zylinderkoordinaten-Programmierung

G15 G17/G18/G18 IP0 FL FW F S M M

- Maschinenfeste Raumwinkel AM, BM und CM zur Ebenenanwahl

G15 G17/G18/G19 IP5 (AM | BM | CM) XI YI ZI IR H DS Q

- Inkrementelle Raumwinkel AR, BR und CR zur Ebenenanwahl

G15 G17/G18/G19 IP5 (AR | BR | CR) XI YI ZI IR H DS Q

- Schnittwinkel AS, BS und CS zur Ebenenanwahl

G15 G17/G18/G19 IP5 (AS BS) / (AS CS) / (BS CS) XI YI ZI O H DS Q

- Drei-Punkte-Definition einer Bearbeitungsebene

G15 G17/G18/G19 IP5 XD YD ZD XE YE ZE XF YF ZF XI YI ZI H DS Q

- Basis- und Zustellvektor zur Ebenenanwahl

G15 G17/G18/G19 IP5 XB YB ZB XN YN ZN XI YI ZI H DS Q

- Inkrementelle Drehung der Bearbeitungsebene um eine Koordinatenachse

G16 AR/BR/CR XI YI ZI H DS Q HW

- Kreisbogen-Interpolationsebenen

G17/G18/G19

- Unterprogrammaufruf

G22 L N N H /

- Programmteiwiederholung

G23 N N H

- Modale Adressen für Fräszyklen

G24 CB CM RD SG OH FR VH DR AA BA WA BB WB BC WC BD WD FM DV

- Programmsprung

G29 N LA= (<Bedingung>)

- Eröffnung Konturtaschenzyklus mit Vorbohren

G34 ZA/ZI RA RI AK AL T TC AB D DR DM U O VB F S M M

- Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus

G35 T TC TR TX TY TZ D DS DE DB V Q O RH DH / AE RM F E S M M
OF RA DM

- Restmaterial-Schrupptechnologie des Konturtaschenzyklus

G36 T TC TR TX TY TZ D DS DE DB V Q O RH DH/ AE RM F E S M M
OF RA DM

- Schlichttechnologie des Konturtaschenzyklus

G37 T TC TR TX TY TZ D DS DE V DB Q H EC QM O RH DH/ AE RM F
E S M M OF VA DM

- Konturbeschreibung des Konturtaschenzyklus

G38 H ZA/ZI IA JA R
G38 H ZA/ZI LP BP IA JA RN AR
G38 H ZA/ZI

- Abschluss Konturtaschenzyklus

G39 ZA/ZI V W AN H O X/XA/XI Y/YA/YI

- Abwahl der Fräserradiuskorrektur

G40 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G40 G0/G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G40 G10/G11 RP AP/AI Z/ZA/ZI ...
G40 G45/G46/G47 ...

- Anwahl der Fräserradiuskorrektur

G41/G42 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 G0/G1 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 G10/G11 RP AP/AI Z/ZA/ZI ...
G41/G42 G45/G46/G47 ...

- Lineares tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur

G40/G41/G42 G45 DL WV O X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI F E S M M

- Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Viertelkreis

G40/G41/G42 G46 RR WV O X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI F E S M M

- Tangentiales An- oder Abfahren an eine Kontur im Halbkreis

G40/G41/G42 G47 RR WV O X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI F E S M M

- Gravieren

G48 LT BT HT DG V W X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI AR EP F E S M M

- Konturfräszyklus

G49 G40/G41/G42 Z/ZA/ZI ZM V D DS DE ZB OA BA OE BE W H AK AL
F E S M M DF EC FF SF RA VA

- Aufheben von inkrementellen Nullpunktverschiebungen und Drehungen

G50

- Einstellbare Nullpunkte setzen

G51 Q XA/XI YA/YI ZA/ZI

- Satzweise Interpolation in Maschinenkoordinaten

G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZI/ZI D A S H F E S M M T T C T R T X T Y T Z

G52 G X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZI/ZI (A/AA/AI | B/BA/BI | C/CA/CI) F E S M
M T T C T R T X T Y T Z

- Maschinennullpunkt

G53

- Einstellbare Nullpunkte

G54/G55/G56/G57

- Inkrementelle Nullpunktverschiebung in Polarkoordinaten und Drehung

G58 R P A P Z A/ZI W A/WI A A/AI B A/BI C A/CI

- Inkrementelle Nullpunktverschiebung und Drehung

G59 X A/XI Y A/YI Z A/ZI W A/WI A A/AI B A/BI C A/CI

- Linearinterpolation für Konturzüge

G61 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZI/ZI D A T A S R N O H F E S M M

- Kreisinterpolation im Uhrzeigersinn für Konturzüge

G62 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZI/ZI I/IA J/JA R A T A S A O A E A P R N O H F
E S M M

- Kreisinterpolation entgegen dem Uhrzeigersinn für Konturzüge

G63 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZI/ZI I/IA J/JA R A T A S A O A E A P R N O H F
E S M M

- Spiegeln

G66 X Y

- Skalieren

G67 S K Q

- Mehrkantzyklus

G69 O D K / L K / D C D T Z A/ZI D V Q M R N H W D B Q D S D E F E S M M
A K A L D F D J Q S E C F F S F O F R A V A

- Umschaltung auf Maßeinheit Zoll (Inch)

G70

- Umschaltung auf Maßeinheit Millimeter (mm)

G71

- Rechtecktaschenzyklus

G72 LP BP ZA/ZI D V RN LZ BZ RZ HA/HI EP W QM H BS Q O OR AK AL RH DH/ AE DB DS DE RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

- Kreistaschenzyklus

G73 R ZA/ZI D V RZ HA/HI W QM H Q O AK AL RH DH/ AE DB DS DE RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

- Nutenzyklus

G74 LP BP ZA/ZI D V EP W QM H Q O OV AK AL RH DH/ AE DB DS DE RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

- Kreisbogennutzenzyklus

G75 BP RP (AN AO) / (AN AP) / (AO AP) ZA/ZI D V EP W QM H Q O OV AK AL RH DH/ AE DB DS DE RM DT F E S M M DF DJ QS EC FF SF OF RA VA

- Bohrbild Strahl, Rahmen, Gitter

G76 D AS O AR W H X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI Q AI DI OI

- Mehrfachzyklus auf einem Teilkreis

G77 R (AN AI O) / (AN AP O) / (AI AP O) / (AN AI AP) RI OI I/IA J/JA Z/ZA/ZI AR Q W H FP

- Zyklusaufwurf auf einem Punkt in Polarkoordinaten

G78 I/IA J/JA RP AP Z/ZA/ZI AR W

- Zyklusaufwurf auf einem Punkt

G79 X/XA/XI Y/YA/YI Z/ZA/ZI AR W

- Bohrzyklus

G81 ZA/ZI V W F S M M QM

- Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch

G82 ZA/ZI D V W VB DR DM DA U O F E S M M QM

- Tieflochbohrzyklus mit Spanbruch und Entleeren

G83 ZA/ZI D V W VB DR DM DA U O FR F E S M M QM

- Gewindebohrzyklus

G84 ZA/ZI F M V W S M QM

- Reibzyklus
G85 **ZA/ZI** **V** **W** **F** **E** **S** **M** **M** **QM**
- Ausdrehzyklus
G86 **ZA/ZI** **V** **W** **DR** **F** **S** **M** **M** **QM**
- Bohrfräszyklus
G87 **ZA/ZI** **R** **D** **V** **W** **BG** **F** **S** **M** **M** **QM**
- Innengewindefräszyklus
G88 **ZA/ZI** **DN** **D** **Q** **V** **W** **BG** **F** **S** **M** **M** **QM**
- Außengewindefräszyklus
G89 **ZA/ZI** **DN** **D** **Q** **V** **W** **BG** **F** **S** **M** **M** **QM**
- Absolutmaßangabe
G90
- Kettenmaßangabe
G91
- Vorschub in Millimeter pro Minute
G94 **F** **E**
- Vorschub in Millimeter pro Umdrehung
G95 **F** **E**
- Konstante Schnittgeschwindigkeit
G96 **S**
- Konstante Drehzahl
G97 **S**