

## FEATURESMETHODE UND CAD/CAM SYSTEME

**Kurzfassung.** In dieser Arbeit wurde eine Methode für den Datenfluß in den Konstruktions- und Herstellungsprozessen vorgestellt und eine Methode zur Bildung einer einheitlichen Datenbank für alle diese Prozesse, mit Berücksichtigung der Möglichkeiten der angewendeten Software CAD und CAM.

Vorgestellt wurden auch die Begriffsbestimmung und die Einteilung der grundlegenden Objekte (features) und Methoden ihrer Nutzung. Die Inanspruchnahme der Methode "Bildung" neuer Elemente auf der Basis früher gebildeten "features", wird am Beispiel eines drehsymmetrischen Hydraulikzylinders, vorgestellt.

### 1. Einführung

Die Hauptaufgabe eines Konstruktions- und Projektionsprozeß sowie des Herstellungsprozeß ist der Übergang vom Bedürfnis zur Befriedigung dieses Bedürfnis, über die Ausarbeitung eines neuen Mittels. Dieser Prozeß kann in drei Phasen eingeteilt werden:

- 1) die projektive - Ausarbeitung einer Konzeption,
- 2) die geometrische - die Ideen erhalten die reale Form einer fertigen Konstruktion,
- 3) die Herstellung eines technischen Mittels.

Es gibt viele Programme, die den Entwurf- und Konstruktionsprozeß unterstützen: von AutoCAD, über LogoCAD, ME10, ME30, Solid Designer und viele andere. Diese Programme, anfangs auf der Ebene, später schon im Raum, (z.B. AutoCAD und Solid Designer), ermöglichen die Registrierung von geometrischen Konstruktionen, die die Bemessung, die Berechnung der Festigkeit unterstützen. Sie können auch mit Normsätzen, Katalogen von Fertigerzeugnissen und anderen Funktionen, die den Entwurfprozeß erleichtern und beschleunigen, ausgerüstet werden. Alle diese Programme haben jedoch einen grundsätzlichen Mangel, sie behandeln ein Bild als eine Menge von Punkten und Linien, die im Raum oder auf einer Fläche, in einer strengen Weise verteilt sind. Sie können die einzelnen registrierten Teile der Konstruktionsgeometrie, nicht unterscheiden und können somit nicht die funktionellen Einschränkungen (die z.B. durch die Verschiebung eines Teiles gegen das andere entstehen), ohne ein unterstützendes Programm, sowie die technologischen Einschränkungen, die im Herstellungsprozeß entstehen, berücksichtigen. Es wurde auch eine Reihe von Programmen entwickelt, die den Vorbereitungsprozeß der Herstellung unterstützen, z.B. Progo,

KSP-OSN, Mastercam, GNC Plus. Diese Programme enthalten des öfteren Module für Drehen, Fräsen, Ausbrennen, elektroerosive Bearbeitung.

## 2. Beziehung zwischen der Konstruktion von Elementen und dem Herstellungsprozeß

Für ein, in einem bestimmten Betrieb, auf der Grundlage einer Dokumentation, hergestelltem Element, besteht eine endliche Menge von Werkzeugmaschinen und Werkzeuge. Bei der Herstellung unterscheidet man drei Phasen eines rechnerunterstützten Projektions- und Konstruktionsprozeß:

1. Erkennung der Konstruktion eines Elements und ihr Vergleich mit anderen Konstruktionen in der Datenbank.
2. Zuordnung einer Reihe von technologischen Operationen zu der Konstruktion eines Elementes.
3. Zuordnung von entsprechenden Werkzeugmaschinen zu den gegebenen Operationen.

Diese Unterstützung verlangt die Realisierung folgender Vorbereitungsstufen:

- Analyse der vorhandenen technischen Dokumentation in Hinsicht auf die Rechnerunterstützung,
- Aufzeichnung des ausgewählten Dokumentationsteiles in der CAD-Technik,
- Ordnen der technologischen Prozesse die den gewählten Dokumententeil betreffen,
- Anlegen einer Datenbank über die angewendeten Technologien, Werkzeugmaschinen und Werkzeuge.

Der technologische Prozeß, seine Struktur und die Anzahl der Operationen, hängt im großen Masse von dem, im gegebenen Betrieb zugänglichen Maschinenpark sowie vom, den Prozeß bearbeitendem Technologen. Die Abhängigkeit der technologischen Prozeßstruktur vom Technologen ist vor allem mit seiner Erfahrung verbunden. Aus diesem Grunde sind einzelnen technologischen Operationen und ganze Prozesse für ähnliche Elemente, sogar in einem Betrieb, sehr verschieden. Seit langem schon sind die Technologen bemüht die technologischen Prozesse zu vereinheitlichen. Hier sind zwei Vorgehensweisen möglich. Die erste ist die Nutzung eines Programms, das aus der Datenbank die ähnlichste Konstruktionseigenschaften für ein gegebenes Element aussucht. Für diese Elemente bestehen schon ausgearbeitete komplexe technologische Prozesse, auf deren Grundlage wird, über ein Editorprogramm, ein neuer technologischer Prozeß geschaffen. Falls der geprüfte Teil der Dokumentation geordnet ist, z.B. in einem Modulsystem, ist auch eine teilweise technologische Parametrisation möglich.

Das zweite Verfahren ist eine Definition der Grundhandlungen, auf deren Basis die technologischen Prozesse für neue Elemente gebildet werden. Ein spezielles Verfahren zur Nutzung der Herstellungstätigkeiten ist ihre Anwendung zur Bildung von elementaren Objekten, weiter features genannt. Diese elementare Objekte (features) können in drei Formen genutzt werden:

- als parametrische Aufzeichnung der geometrischen Form (nur in CAD-Programmen)
- als parametrische Aufzeichnung der Technologie (nur in CAM-Programmen)
- oder als eine Kombination beider Formen der Aufzeichnung.

Die features können auch als Mengen, die den Anfangs- und den Endzustand der konstruktiven Form und die Fertigungstätigkeiten die einen Zustand in den anderen transformierten, beinhalten [1, 2, 3, 4, 5]. In der Entwurfsphase müssen bestimmte Parameter zugänglich sein, z.B. die für ein features erreichbare Ausführungsgenauigkeit. Dies kann mit Hilfe eines Modells erreicht werden, das die Genauigkeit "kennt" und mit der gegebenen Maschine den features ausführen kann. Dieses Modell speichert auch die Information wie so ein features, nach seiner Technologie, ausgeführt wird.

Das wesentlichste Problem ist die Ausführungsweise der Operation auf dem features. In Abhängigkeit von der gewählten Software, und insbesondere ihr Operationsbereich im zwei- oder dreidimensionalen Raum können zwei Verfahren der geometrischen Aufzeichnung eines features ausgedeutet werden: das Umrissverfahren und das Blockverfahren. Das Umrissverfahren beruht in der Aufzeichnung der Featureskonstruktion nur als ein Bearbeitungsumriss und ist schon per Annahme, nur auf Bearbeitung auf einer Drehbank, begrenzt. Das Blockverfahren hat diese Beschränkung nicht, es ist universell. Es kann an die Bedingung angelehnt werden (und das hängt von der Bauweise des dreidimensionalen Blocks im 3D-Programm, ab), daß ein zusammengesetzter Block aus einfachen Objekten besteht ist, mit streng bestimmter gegenseitiger Lage im Raum und mit seinen Umwandlungen. Auf diese Weise entsteht ein Gebilde, das als "Baum der räumlichen geometrischen Konstruktion" bezeichnet werden kann. Das Wort Baum in dieser Bezeichnung bedeutet, daß die Aufzeichnung auch die Struktur des gefertigten Objekts umschließt. Die Darstellung mit Hilfe der Raumgeometrie unterscheidet den Anfangszustand und die Umgestaltung die zum Erreichen des Endzustandes des bearbeiteten Elements, angewendet wird. Folglich kann der Baum der Raumgeometrie für das Generieren eines Herstellungsprozessplanes, angewendet werden. Es wird somit zum Skelett dieses Planes.

Wie schon angeführt wurde, besteht ein features aus zwei geometrischen Formen: dem Anfangs- und dem Endzustand mit einer Menge von Herstellungsprinzipien. Diese Prinzipien bestimmen ob ein features ausgeführt werden kann. Zum Ziel der weiteren Realisation der Aufgabe in der Featuresmenge sollten folgende Daten enthalten sein:

- Volumenabnahme. Die Differenz zwischen vorangehenden und dem nächsten geometrischen Zustand. Das abgenommene Material wird als Volumenabnahme bezeichnet (Bild 1)
- Lage des features.
- Toleranzanforderungen.

Die Volumenabnahme soll durch entsprechende Werkzeuge und ihre Bewegungen gegen das bearbeitete Material ausgeführt werden. Diese Abnahme wird in der Entwurfsphase der Herstellung als ein logisches Produkt (der gemeinsame Teil) des das Material schneidenden Werkzeugs und dieses Materials, erfasst. Das Volumen des schneidenden Werkzeugs entspricht dem Volumen eines oder mehreren Schneidwerkzeugen. Das Volumen des Schneidwerkzeugs ist eine Funktion des Werkzeugs und seiner Bewegung. Die in der Entwurfsphase angenommene Herstellungstoleranz wird mit der Menge der verfügbaren Werkzeuge verglichen. Die

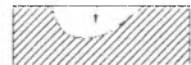


Bild 1. Die Volumenabnahme

Möglichkeiten des gegebenen Werkzeugs bestimmen seine Brauchbarkeit. Jedes Werkzeug besitzt sein Modell der Herstellermaschinen, das die Herstellungstechnologie und die erreichbare Genauigkeit, bestimmt. Diese ist auch vom Material, aus dem der features gefertigt wurde, abhängig. Wie schon früher erwähnt wurde, ist es noch nicht möglich die Eigenschaften zu bestimmen, die die Abnahme erfüllen muss, um ausgeführt zu werden. Die Transformation der Abnahme für die Schneidwerkzeugsform ist eine nicht eindeutige Funktion. Der features und das Maschinenmodell implizieren konkrete Ausführungen der gegebenen Abnahme. Bild 2 zeigt einige Featuresbeispiele.



Bild 2. Featuresbeispiele in 3D

### 3. Klassifizierung der features

Für eine, im geometrischen Sinne, weitere Analyse der oben angeführten Probleme ist eine Klassifizierung der features unumgänglich. Nahezu 90 % der Arbeit eines Technologen beruht nicht auf der Bildung von gänzlich neuen technologischen Prozessen, sondern auf der Anpassung von bestehenden Prozessen an die eigenen Bedürfnisse. Der Technologe oder der Konstruktor muss entscheiden, ob die gegebene Konstruktion der Elemente identisch oder ähnlich mit der Konstruktion der Elemente, für die dieser technologische Prozeß ausgearbeitet wurde, ist. Um das in einem konventionellen Konstruktionsbüro oder in einem Technologenarbeitszimmer festzustellen, muß man eine vielbändige Dokumentation durchsehen. Auf diesem Gebiet kann der Rechner eine ausgezeichnete Hilfe sein. Er muß jedoch mit einer Datenbank der Elemente (features), mit entsprechend geordneten Klassifizierungscode ausgerüstet sein.

Die Eigenschaften, auf denen eine Klassifizierung angelehnt werden kann, ist folgende:

- die geometrische Form,
- das Material,
- die quantitativen Eigenschaften.

Zusätzliche Eigenschaften, die die Basis einer Klassifizierung in Hinsicht auf den technologischen Prozeß, sein können:

- die Toleranz der Herstellung,
- die Einschränkungen des Maschinenparks,
- die Einschränkungen des Werkzeugparks,
- die Materialeigenschaften.

Die Erstellung der Qualifiziercode und der Datenbank ist nur ein Teil des Problems, das die Ausarbeitung eines möglichst reibungslosen Übergang aus der Konstruktionsphase in die Produktionphase, ist. Eine gemeinsame Datenbank für den Konstruktor und Technologen ist für eine integrierte Herstellung unentbehrlich.

In den gegenwärtig angewendeten Systemen ist eine Diskrepanz zwischen den CAD- und CAM-Daten eine der größte Problemquellen bei ihrem Zusammenschluß.

Im nächsten Stadium wird eine Optimierung der aus der Menge der bestehenden und schon geprüften Formvarianten, gewählten Konstruktionsformen durchgeführt. Die gewählten Formen werden modifiziert. Die Bewertung und die Wahl der besten möglichen oder zulässigen Lösungen ist im allgemeinen Fall schwierig. Die Notwendigkeit einer Analyse vieler Daten, die die Lösungen charakterisieren und beschreiben, ihre Bewertung bei unvollständigen und unsicheren Daten (bei fehlender Möglichkeit einer präzisen Bestimmung der qualitativen Eigenschaften) bewirken, daß die Anwendung eines Rechners als Werkzeug zur Unterstützung der Bewertung und der Auswahl, unumgänglich wird [6].

Die Fertigung einer separaten konstruktiven Aufzeichnung für jedes produzierte Element in der Form einer Ausführungszeichnung und einer technologischen Dokumentation, selbst bei der Anwendung von Unterstützungsprogrammen CAD-CAM ist aufwendig und ist mit den oben beschriebenen Fehlern behaftet. Dieser Prozeß kann durch die Anwendung einer Parametrisation der konstruktiven und technologischen Aufzeichnung, rationalisiert werden. Dies ist in den oben genannten graphischen Programmen möglich, oder bei der Anwendung von:

- 1) in Lisp (Solid Designer) geschriebene Programme,
- 2) Ausarbeitung von Varianten (Logocad),
- 3) Ausarbeitung von Makroprogrammen mit Nutzung der inneren in den Programmen CAD-CAM gebrauchten Rechnersprache.

#### **4. Die qualitativen und quantitativen Eigenschaften im konstruktiven Integrationsprozeß mit der Herstellungsvorbereitung**

Im Konstruktionsprozeß sowie bei der Produktionsvorbereitung treten Umwandlungen der

qualitativen und quantitativen Eigenschaften auf.

Die qualitativen Haupteigenschaften einer Konstruktion sind:

- die geometrische Form der Konstruktion, die die äußere Struktur des zukünftigen Produkts bestimmt,
- die Materialform der Konstruktion, die die innere Struktur des zukünftigen Produkts bestimmt, die im allgemeinen als Materialbezeichnung angegeben wird.

Die quantitativen Haupteigenschaften der Konstruktion sind:

- das Maßsystem,
- die Materialmasse, hierzu gehören die stereomechanischen, physikalischen, und chemischen usw. Eigenschaften.

Auch bei der Aufzeichnung der technologischen Dokumentation, werden die qualitativen und quantitativen Eigenschaften registriert. Die qualitativen Eigenschaften sind:

- die geometrische Form des Halbfabrikats,
- die Beschreibung der technologischen Operationen,
- die geometrische Form des Elements in den einzelnen Abnahmebearbeitungsphasen,
- der Werkzeugmaschinentyp,
- der Werkzeugtyp,
- der Typ der zusätzlichen Einrichtungen.

Die quantitativen Eigenschaften sind:

- die Halbfabrikatabmessungen,
- die Parameter der spanabhebenden Bearbeitung,
- Die Abmessungen des Elementes in den einzelnen Bearbeitungsphasen,
- die charakteristischen Abmessungen der Werkzeugmaschine,
- die charakteristischen Abmessungen des Werkzeugs,
- die charakteristischen Abmessungen der Einrichtungen.

Zur praktischen Realisation der Registriermethode und der Zusammensetzung der features, wurde das ME10-Programm und seine Innensprache (für die 2D-Aufzeichnung der Konstruktion) und das Program Solid Designer (für die 3D-Aufzeichnung der Konstruktion), angewendet.

Die geometrische Form der Konstruktion wird mit Hilfe der CAD Befehle registriert mit gleichzeitiger Nutzung der Befehle in der Programmsprache für das Erstellen von Softwarevarianten. Der Vorteil solcher Registrierung der Elementenform ist eine leichte Durchführung von Änderungen sowohl der geometrischen Form als auch der Abmessungen. Für einen gegebenen Betrieb mit seinem Maschinenpark und seinem Produktionsprofil kann eine Gruppe von charakteristischen features, für verschiedene Produkte, ausgesondert werden. Eine Änderung des Herstellungsprofils oder seine Erweiterung um andere Elemente kann schnell geschehen, bei der Annahme, daß die Ähnlichkeitsform sich in dem Katalog früher vorbereiteten features befindet. Das Fehlen einer Ähnlichkeit in neuen, zur Herstellung vorbereiteten Erzeugnissen macht eine Erweiterung der Vorhandenen features nötig. Für das angeführte Beispiel von Elementen der Hydraulikzylindern, wurden folgende features für eine Gruppe von Stopfbuchselementen, ausgesondert (Bild 3). Die Featuresform wurde im Solid Designerprogramm, als ein 3D-Objekt

eingeführt. Die Featuresstruktur der für bestimmte Elemente angewendeten features, ist in einer Baumform (Bild 4) geordnet, wo an einem einzelnen Ast eine technologische Operationsserie angegeben wird. Die Beispielfeatures setzen sich zusammen aus der parametrisierten Form und der parametrisierten Technologie (Bild 5).

Das vorgeschlagene Verfahren zur Nutzung so vorbereiteten features, beruht auf dem Aufruf vom Niveau des Solid Designer Programm, einen Featureskörper (oder aus den Profilen des ME10-Programms), und nachfolgend, durch Zugeben oder Abnehmen oder Auffinden von gemeinsamen Teilen, erhalten wir die Endform des Elements. Für jede Zusammenstellung der zum entwerfenden Element gehörenden features wird eine Befehlskarte mit einer Zeichnung, für die Aufstellung des Werkzeugs und für die Abmessungskontrolle, angelegt.

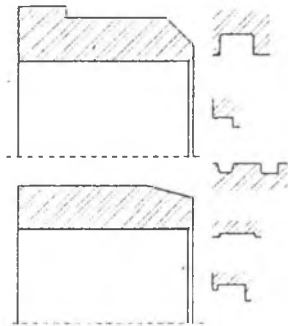


Bild 3. Featuresbeispiele - Konstruktion

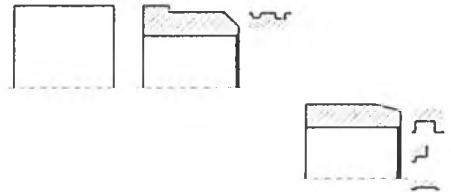


Bild 4. Struktur des Konstruktionsfeatures



Bild 5. Konstruktions- und Technologiefeatures

## 5. Zusammenfassung

Die vorgestellte Lösung ist ein Versuch das Konstruieren als ein Zusammenfügen der Erzeugnisse aus schon bestehenden Elementen, die bestimmte Eigenschaften besitzen und durch bestimmten Herstellungstechniken gefertigt werden, zu betrachten. So eine Betrachtung ermöglicht die Ausarbeitung einer Software, die zum Erkennen, zur Analyse der Elementen und später auch zum

automatischen Erstellen einer Technologie für ein gegebenes Element, fähig wäre. Diese Vorgehungsweise, gewöhnlich "Featuretechnologie" genannt, wird in vielen Forschungszentren der Welt, angewendet. Bei der Bearbeitung, großer Datenmengen ist ein schneller Zugriff zu ihnen und ihre leichte Bearbeitung, wichtig. Zu diesem Zweck muß ein entsprechendes Datensuchverfahren angewendet werden. Dies kann z.B. durch eine entsprechende Betreiberschittstelle, die mit dem Programm zusammenarbeitet oder über ein Codiersystem, geschehen. Wichtig ist ein gemeinsames Codiersystem für die Konstruktion und für die Technologie.

## 6. Literatur

- [1] David D. Bedworth, Mark R. Henderson, Philip M. Wolfe: Computer Integrated Design and Manufacturing. Mcgraw Hill International Editions 1991.
- [2] J.Tymowski: Technologia Budowy Maszyn. WNT, 1989.
- [3] L.Y.Zhang, J.Y.Zhu, Q.Y.Zhu: A New System for Automatic Understanding Engineering Drawing. Annals of the CIRP, Vol.41/1/1992.
- [4] S.Tilley: Integration of CAD/CAM and Production Control For Sheet Metal Components Manufacturing. Annals of the CIRP, Vol.41/1/1992.
- [5] T.Hanada, T.Hoshi: Block Like Component CAD/CAM System for Full Automated CAM Processing. Annals of the CIRP, Vol.41/1/1992.
- [6] R. Knosala: Objektivierung des Bewertungsprozesses beim Konstruieren. Konstruktion 43 (1991), S. 344-352.

Gutachter: Jan Szadkowski