

Daß die 2D-Zeichnung nicht mehr zeitgemäß ist, erkannten zahlreiche deutsche Gesenkschmied bereits vor zehn Jahren und schlossen sich im Industrieverband Deutscher Schmieden e.V. (IDS) zu einer Arbeitsgemeinschaft CAD/CAM

zusammen. Denn wer konkurrenzfähig sein und überleben wollte, mußte die Produktivität erhöhen. Die CAD/CAM-„Lanze“ für Deutschlands Schmieden zu brechen und ein System so zu gestalten, daß es mit seinen schmiedespezifischen Feinheiten der ganzen Branche wirtschaftliche Vorteile einbringt, hatte sich

damals der Arbeitskreis auf die Fahne geschrieben. Heute liegen die Ergebnisse auf dem Tisch: CAD/CAM hat inzwischen auch für Deutschlands Schmieden einen hohen Stellenwert.

Schmiedeteilkonstruktion mit CAD/CAM

Schmiedeverband setzt auf neue Technologien

Heike Friedrich, Glattbrugg/Schweiz

Heike Friedrich, M.A., Jahrgang 1961, Studium der Germanistik an der Universität Erlangen-Nürnberg, seit 1991 Mitarbeiterin im Produktmarketing „Technische Informationssysteme“ der Firma strässle, Zürich/Stuttgart. Hier ist sie unter anderem verantwortlich für Produktinformation, Pressearbeit und Kommunikation.

Selbstverständlich war es 1985 nicht, daß sich das Gros der Gesenkschmieden innerhalb des Industrieverbands Deutscher Schmieden (IDS) zu einer CAD/CAM-Arbeitsgruppe zusammenschloß. Schließlich gehört das Schmieden seit je her zu den wirtschaftlichsten und technologisch flexibelsten Möglichkeiten, Bauteile herzustellen. Und die sind nicht nur bei den Automobilherstellern und Zulieferern gefragt: wegen ihrer Belastbarkeit und Sicherheit in der Anwendung, wegen ihrer Maß- und Formgenauigkeit sowie wegen der nahezu unbegrenzten Möglichkeiten bei der Werkstoffauswahl. Beim Schmieden kann ein Werkstück optimal an den Verwendungszweck angepaßt werden, **Bild 1**. Dies gilt für das Bauteil mit den höchsten Ansprüchen genauso wie für das weniger hoch belastete Teil, das „nur“ preisgünstig ausgeführt werden muß.

Ausgangssituation

Wie jede andere Branche ist auch die Schmiedebranche seit langem – trotz der Produktstärken – dem Verdrängungskampf ausgesetzt. Zudem fordern moderne Werkstoffe entsprechende moderne Fertigungsmethoden. Know-how-Gewinn ist ein Muß.

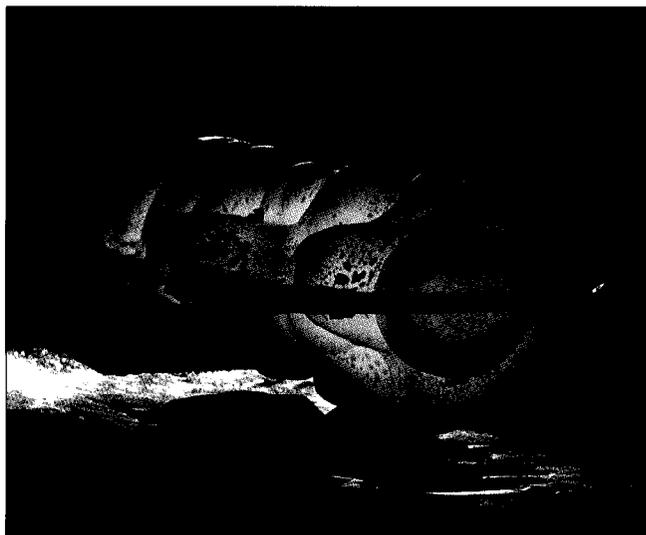


Bild 1 | Kurbelwelle beim Schmiedeprozess.

Im Jahr 1985 hatte nur eine kleine Minderheit der deutschen Schmieden Erfahrungen im computerunterstützten Freiformflächenmodellieren mit einem CAD/CAM-System. Für die meisten war die Zeichnung – in der Regel nicht in CAD erstellt – das Maß aller Dinge. Auf ihrer Basis wurde beispielsweise das Holzmodell gefräst oder die Gesenkschablone gepaust, die als Abtastvorlage für den Kopierfräser diente. Die Problematik dieser Verfahren liegt auf der Hand: Fehler summierten sich, Toleranzen konnten nur mit erheblichem Aufwand eingehalten werden. Weder die Wirtschaftlichkeit der Herstellung noch die Qualität der Produkte reichte aus, um langfristig auf dem internationalen Markt bestehen zu können. Die Verantwortlichen erkannten, daß erst mit einem exakten dreidimensionalen Modell die notwendige Genauigkeit, oft von einem Zehntelmillimeter, erreicht wird, um die Funktionalität der Schmiedeteile zu verbessern und die Kosten für die Werkzeuge zu verringern. Und nur mit einem exakten 3D-Modell, dessen Daten durchgängig bis zur NC-Programmierung genutzt werden können, sinken die Bearbeitungszeiten. Was lag näher, als die Erfahrungen der CAD/CAM-Welt zu nutzen und in Kooperation mit dem Ausbau maßgeschneiderter Programmbausteine zu beginnen! Das in der Folgezeit entwickelte Modulpaket steht den Anwendern nun komplett zur Verfügung.

Anforderungen an ein CAD/CAM-System zur Schmiedeteilkonstruktion

Der Schmiedeprozess stellt hohe Anforderungen an ein CAD/CAM-System, denn er basiert auf einer komplexen Geometrie. Das gilt vor allem für die Auslegung der Werkzeugform (Gravur). Die Form muß modelliert werden, und die Werkzeugform muß so ausgelegt sein, daß das Werkstück nach dem Schmieden problemlos entnommen werden kann. Zudem besteht das Schmiedeteil – im Gegensatz zum bearbeiteten Endprodukt – aus vielfältigen Elementen wie Schrägen, Radien und aufwendigen Freiformen. Ecken oder zu kleine Radien dürfen nicht entstehen, da sonst die Gravur nicht voll ausschmiedbar ist. Und last not least wünschten sich Deutschlands Schmieden ein System, mit dem nicht nur Geometrien erzeugt und komplexe Freiformflächen bearbeitet, sondern auch technologische Fragen wie Fließspannungsermittlung, Kräfteberechnung, Gratspaltgeometrie oder Temperaturberechnung beantwortet werden können.

Als Basis-CAD/CAM-System wurde EUKLID V 4 von Fides in Zürich ausgewählt. Heute liegen die Produktrechte an diesem System bei der strässle Informationssysteme in Stuttgart. EUKLID V 4 gehörte schon 1985 zu den führenden Flächenmodellierprogrammen, mit dem Werkzeuge und Gesenke konstru-

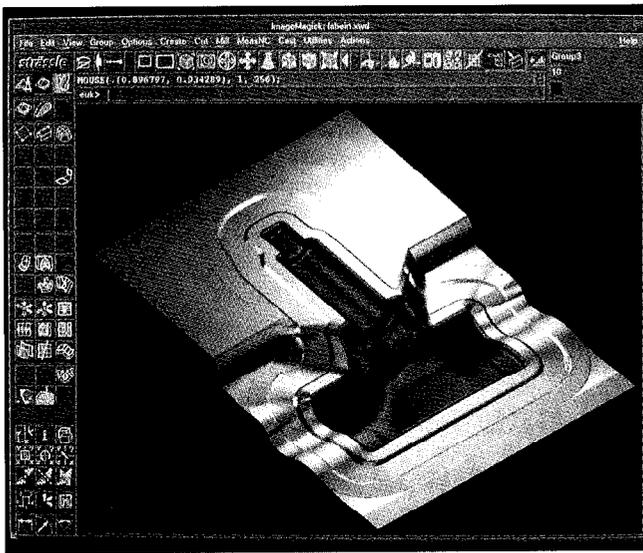


Bild 2 | Mit dem CAD/CAM-System EUKLID V 4 berechnete Werkzeugform für einen Achsschenkel. Die konstruierte Gratbahn stellt das Abfließen des Schmiedematerials sicher.

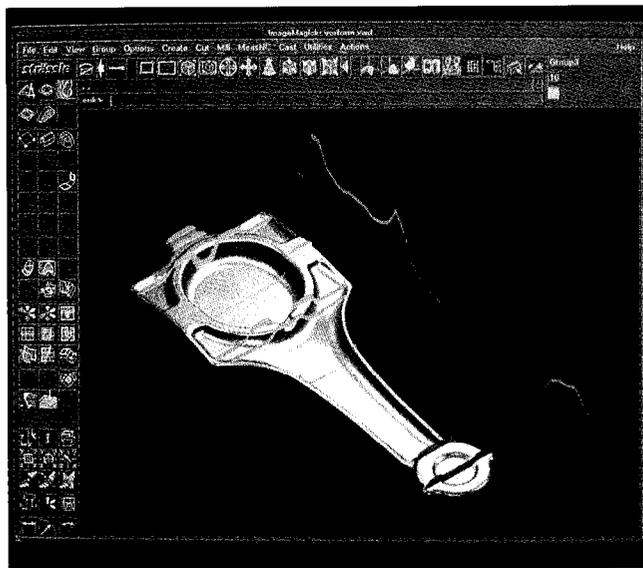


Bild 3 | Pleuel mit Massenverteilungsschaubild, bei dem die Rohteilgeometrie und die Materialmassen exakt auf die Vor- und die spätere Fertigform abgestimmt wurden.

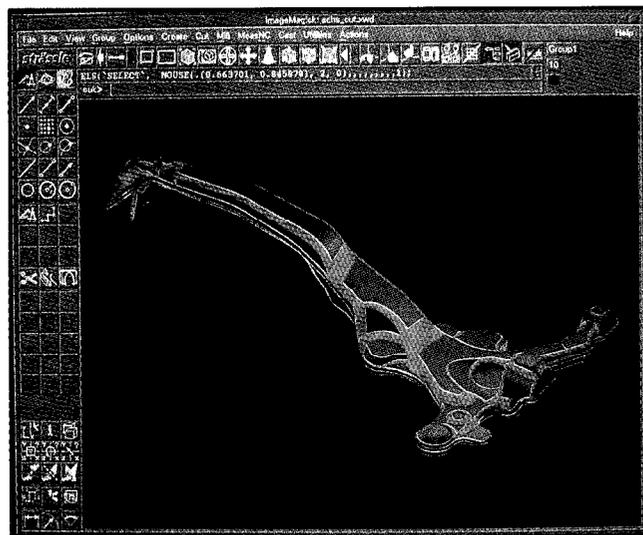


Bild 4 | Mit EUKLID V 4 vollständig berechneter Querlenker. Die Rundungsflächen sind zur besseren Übersicht unterschiedlich schattiert.

iert und Geometriedaten automatisiert für die NC-Bearbeitung aufbereitet werden konnten. Durch die ausgereiften Funktionalitäten zur Flächenerstellung, durch die speziell auf Geometrieerstellung ausgerichtete Makrosprache und durch die Programmierschnittstelle war das System sehr gut geeignet für den anwenderspezifischen Systemausbau. Neben den zuvor genannten technologischen Informationen wurden dabei im wesentlichen CAD/CAM-Funktionserweiterungen zur Erstellung und optimalen Auslegung von Gravuren sowie ein Zusatzmodul zur Formauslegung und für Folgewerkzeuge, zum Beispiel für die Optimierung der Frästechnik, vorgesehen.

Beispiele für die Systemanforderungen

Bei der Gestaltung des Werkzeugs ist die Auftrennung in Ober- und Unterteil (Stempel und Matrize) besonders aufwendig. Dabei ist eine Kurve zu definieren, die die beiden Gesenkhälften genau trennt. Dieser Arbeitsgang ist sehr komplex, denn nur bei einer exakten Trennung kann das Werkstück nach dem Schmieden aus dem Werkzeug gelöst und das überschüssige Material vom Werkstück abgetrennt werden. Die Trennung des Gesenkes ist schwierig, weil die Trennkurve je nach Art des Schmiedeteils frei im Raum liegt. Das System bietet dem Anwender an dieser Stelle entscheidende Unterstützung. Zwischen der Trennkurve und der jeweiligen Gesenkhälfte werden Entformungsschragen vorgesehen. Deren Auszugswinkel kann variabel definiert werden. Auf diese Weise wird ohne großen Aufwand die Flucht zwischen den Werkzeugteilen definiert, bis sie exakt übereinstimmen.

Auch das Abfließen des Schmiedematerials muß bereits in der Konstruktionsphase berücksichtigt werden. Der Schmiedeprozess sieht hierfür die Konstruktion einer Gratbahn vor, die technologisch anspruchsvoll ist und durch das CAD/CAM-System unterstützt werden kann, **Bild 2**. Ausgangspunkt für die Berechnung der Gratbahn ist wieder die Trennkurve. Um diese optimal auszulegen, bezieht das System alle vom Konstrukteur vorgegebenen Parameter wie Querschnittsform, Lage und Dimensionierung in die Berechnung mit ein. Auf diese Weise lassen sich in kurzer Zeit komplexe Gratbahnflächen mit versprungenem Teilungsverlauf erzeugen. Will der Anwender ganze Flächen ändern, neue Zwischenprofile definieren oder diese umpositionieren, berechnet das System die entsprechende Gratfläche neu. Zusätzlich stehen interaktive Manipulationsfunktionen zur Verfügung, mit denen die Gratfläche partiell optimiert werden kann.

Im letzten Arbeitsgang, dem Abgraten, wird das überschüssige Material, der Grat, vom Werkstück entfernt. Hierfür kann mit dem „Schmiedemodul“ ein Abgratwerkzeug mit den Werkzeugkomponenten Schnittplatte, Ober- und Unterstempel sowie Niederhalter aus der Teileumrißkontur abgeleitet werden. Wie bei der Gratflächenerzeugung ermöglicht das System auch bei der Definition des Abgratwerkzeugs, Profile variabel vorzugeben. Zusätzlich bestimmt das System die Daten der Führungskurven für das Drahterodieren des Werkzeugs.

Der Schmiedeprozess

Beim Schmieden sollten die Werkzeuge so ausgelegt sein, daß der Rohling möglichst schnell seine Endform erhält. Hier-

für durchläuft das Teil mitunter mehrere Umformphasen, für die jeweils ein eigenes Werkzeug notwendig ist. Die Auslegung der Werkzeuge hängt insbesondere von der Maschine, vom Werkstoff und von der Schmiedeteilgröße ab. Das Schmiedemodul unterstützt den Anwender bei der Formauslegung und der Definition der Folgewerkzeuge. Dabei werden sowohl die Massenverteilung, **Bild 3**, als auch das Abkühlungsverhalten des Schmiedeteils berücksichtigt. Die Materialmassen sollten genau auf die Vorform und die spätere Fertigform abgestimmt sein. Darum kann mit dem System die Rohteilgeometrie an charakteristischen Stellen, zum Beispiel hohe Stege oder Absätze, erfaßt und ein Massenverteilungsschaubild erstellt werden. Die Querschnitte können so lange verändert oder ummodelliert werden, bis Masse und Form auf die Vorformoperationen abgestimmt sind.

Da das Werkstück – je nach Geometrie – in Teilbereichen verschieden schnell abkühlen kann, ergeben sich unterschiedliche Schwundmaße. Der Anwender sollte daher auch die Schrumpfung partiell verschieden vorkompensieren. Eine spezielle Funktion im System erlaubt die Ableitung der Warmteilgeometrie aus der Kaltteilgeometrie und umgekehrt: Mit einer Trennfunktion kann der Anwender die Kaltteilgeometrie in Teilbereiche gliedern und mit unterschiedlichen Dehnfaktoren versehen. Dann werden automatisch die gedehnten Teilbereiche unter Berücksichtigung der Nachbarbereichsdehnungen ausgerechnet. Außerdem gibt ein spezielles Technologiepaket bereits während der Konstruktion Auskunft über die Fließspannungen, die Kräfte am Schmiedestück, die Gestaltung der Gratspaltgeometrie oder die mittlere Gesenkteperatur. Diese Informationen sind die Grundlage für den gesamten Konstruktionsentscheid.

Wurden alle Umformphasen durchlaufen, geht es an den „letzten Schlag“. Dieser hat beim Schmieden besondere Bedeutung: Nach ihm muß alles maßgerecht bis auf den Zehntelmillimeter sein. Auch im CAD/CAM-System wird diesem Schlag, man nennt ihn „Kalibrieren“, besonderer Wert beigemessen: Nur noch bestimmte Geometriebereiche dürfen geprägt werden, andere dagegen müssen kontaktfrei bleiben. Das System erledigt diese Aufgabe mit Hilfe flächenübergreifender Trennfunktionen. Die Ausgangsgeometrie wird in Teilbereiche gegliedert, die der Anwender dann unabhängig voneinander manipulieren kann. So kann das Kalibrierwerkzeug mit den gewünschten Partien in Kontakt gebracht oder von ihnen freigelegt werden. **Bild 4** zeigt einen Querlenker als Beispiel für ein fertig berechnetes Schmiedeteil.

Fräsbearbeitung der Schmiedeteile

Die CAD/CAM-unterstützte Schmiedeteiloptimierung ist ohne Berücksichtigung der Bearbeitung nicht vollständig. Daher ließ der CAD/CAM-Arbeitskreis des IDS auch Ergebnisse aus dem Themenumfeld „Bearbeitung“ in das System einfließen. Nach Projektende stehen den Schmieden jetzt drei Fräsarten in Ergänzung zu den Standardfräsfunktionen des Basissystems zur Verfügung:

- das ebenenparallele Schruppen mit Ausräumen von Taschen zum Fräsen in Schmiedestahl,
- das flächenübergreifende Schlichten mit Kollisionskontrolle, das unter anderem bei aufgeschweißten Gesenken zum Einsatz kommt,

- Strategien für das Hochgeschwindigkeitsfräsen mit 20 000 bis 50 000 U/min und Vorschüben bis zu 10 m/min für verschleißfeste Werkzeuge aus CBN oder titanbeschichtetem Hartmetall.

Das Schruppen des Formteils geschieht vollautomatisch durch das System. Allerdings hat der Anwender die Möglichkeit, bei Bedarf einzelne Fräsbahnen zu steuern. Gefräst wird entweder durch das Abtragen positiver oder durch das Ausräumen negativer Formen mit verschiedenen Eintauchstrategien. Die Fräsbahnen liegen konturparallel. Restflächen werden erkannt und wie Inseln automatisch vom System behandelt. Eine Besonderheit des Programmbausteins ist das flächenübergreifende Schlichten mit Kollisionskontrolle. Der Anwender definiert bei dieser Fräsart nur noch den Fräser, die restlichen Arbeitsgänge übernimmt das System. Es untersucht alle Flächen und teilt Schritt für Schritt in zwei Gruppen auf: Die eine enthält die zu bearbeitenden, die andere die nicht zu bearbeitenden Flächen. Der Anwender gibt die gewünschte Oberflächengüte und die geforderte Genauigkeit ein, dann ermittelt das System automatisch den richtigen Abstand der Fräsbahnen. Als Ergebnis kann mit sehr kleinen Toleranzwerten gearbeitet werden, Nachbearbeitungen sind kaum mehr notwendig. Übergänge zwischen den Einzelflächen sind kaum noch sichtbar.

Effizienz ist beim Hochgeschwindigkeitsfräsen von Stahl sehr wichtig. Wegen der hohen Drehzahlen und der geringen Vorschübe dürfen nur kleine Schnittiefen gefahren werden. Dadurch entstehen kleine Späne, die die Wärme optimal abführen, Abkühlungszeiten entfallen. So hat das Werkstück einen reduzierten Ausdehnungsfaktor. Die Oberflächen der gefrästen Teile sind sehr glatt. Der Aufwand für die Nachbearbeitung der Formen und Gesenke reduziert sich erheblich. Die Untersuchungsergebnisse zeigen erste beachtliche Erfolge: Im Gegensatz zu herkömmlichen Methoden mit den Einzelschritten Fräsen, Vergüten und Erodieren wird bei der computerunterstützten Fräsbearbeitung eine Zeitreduktion von bis zu 80% erreicht.

Ausblick

Obwohl nicht alle Pläne realisiert wurden – die Definition einer Bibliothek für konstruktive Formelemente wurde zum Beispiel wieder aufgegeben, weil das Basissystem bereits standardmäßig Flächenfunktionen wie Rippen, Augen und Auszugschragen hatte und weitere notwendige Formelemente in der Regel firmenindividuell definiert werden müssen –, hat sich in den Jahren des Projektverlaufs viel getan. Die Systembausteine wurden funktional und technologisch so ausgestattet, daß sie den Schmiedebetrieben ein gutes Rüstzeug bieten. Das Konzept ging bisher auf. Mehr als 45 Schmiede- und Formbauunternehmen arbeiten derzeit in Deutschland mit dem Spezialsystem auf der Basis von EUKLID V 4. Und auch im Ausland können Erfolge vorgewiesen werden: so in Japan, wo die meisten unabhängigen Schmieden auf die CAD/CAM-Lösung aus Deutschland vertrauen.