

Virtuelle Prozesskette von der Umformung bis zur Strukturanalyse.

Bilder: Simufact

Neue Potenziale durch die Prozesskettensimulation am Beispiel einer Crashbox

Durchgehende Simulation

Von Dr. Hendrik Schafstall, Dr. Ingo Neubauer, Julian Litzkow Die Megatrends in der Fertigungsindustrie sind der Leichtbau, die Energieeffizienz und Ressourcenverfügbarkeit sowie die Nachhaltigkeit. Zudem müssen die Bauteile und Baugruppen bei hoher Qualität wirtschaftlich herstellbar sein.

Generell sind Leichtbaulösungen das Ergebnis von Gewichtseinsparungen im stofflichen, konstruktiven und/oder fertigungstechnisch/konzeptionellen Bereich. Dabei sollten Lösungen aus allen Bereichen aufeinander abgestimmt sein, um die jeweiligen Vorteile und wechselseitigen Beeinflussungsmöglichkeiten zu nutzen. So wäre es möglich, im Sinne des „designed as manufactured“ in der Bauteilgestaltung lokale Eigenschaften wie Gefüge, Festigkeit oder Eigenspannungen zu berücksichtigen, die erst im Fertigungsprozess in das Bauteil eingebracht werden.

Dafür allerdings ist es notwendig, die in der Fertigung wirkenden Mechanismen im Design einzubeziehen. Dies gilt insbesondere bei neuen Werkstoffen oder Materialmixen, die veränderte Fertigungsverfahren, angepasste Wärmebehandlungsmaßnahmen oder andere Fügeverfahren zum Assemblieren der Baugruppe erfordern.

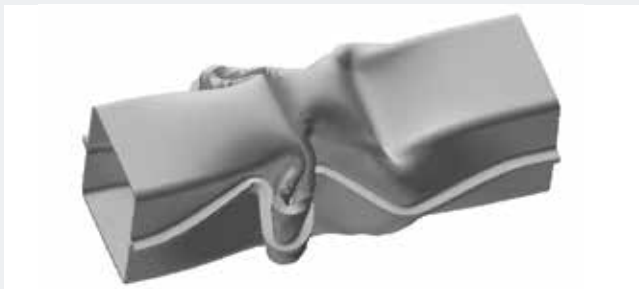
Simulation der Prozesskette

In der Regel werden Bauteile heute mit Hilfe von Simulationsprogrammen ausgelegt und optimiert. Die Simulation bildet den realen Fertigungsprozess unter Annahme aller notwendigen Detailkenntnisse möglichst genau virtuell ab. Bisher werden dazu meist CAD-basierte Einzelsimulationen durchgeführt, die mögliche Wechselwirkung unterschiedlicher Fertigungsschritte nicht darstellen. Erst die Verkettung aller Fertigungsschritte bis

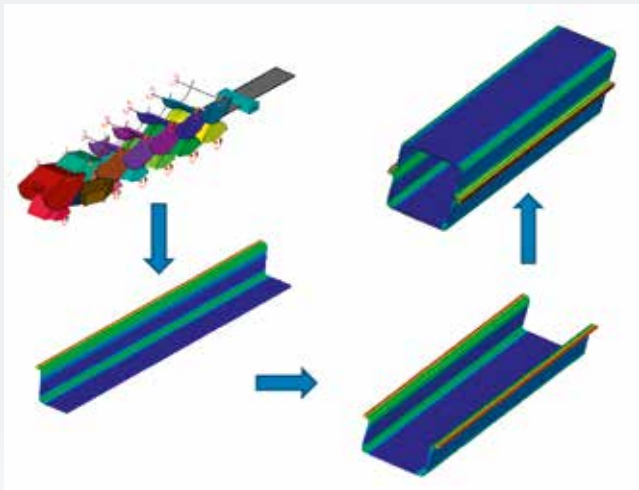
zur assemblierten Baugruppe in der Simulation ermöglicht eine detaillierte Betrachtung dieser Wechselwirkungen und deren Einsatz zur Optimierung der Bauteilgestaltung. Aus einer solchen verketteten Simulation lassen sich Rückschlüsse auf das Festigkeitsverhalten der Struktur ziehen und für das Design nutzen.

Abteilungsübergreifende Zusammenarbeit

Dieser Herausforderung hat sich Simufact angenommen und eine entsprechende Simulationslösung entwickelt. Eine solche Lösung lässt sich nur abteilungsübergreifend entwickeln, denn es gilt festzulegen, welche Informationen (Zustandsgrößen) in welcher Prozessstufe wesentlich sind und wann und wie diese in der Simulation verfügbar gemacht werden müssen. Es geht nicht nur darum, ein Teil fehlerfrei und kostengünstig herzustellen. Es geht um die Optimierung des Fertigungsverfahrens für ein Produkt und dessen Einsatzbereich. In diesem Rahmen gilt es, vorde-



Gerenderte Darstellung der Crashbox



Walzprozess zur Erzeugung einer Halbschale mit Darstellung der Verfestigungsverteilung am Ende des Umformvorgangs.

finierte lokale Eigenschaften prozesssicher zu realisieren. Die Detailkenntnisse werden mehr und mehr das Design der Bauteile in Zukunft bestimmen. Die virtuelle Abbildung der gesamten Prozesskette erfordert beim Anwender eine Anpassung der organisatorischen Strukturen und Abläufe. Auf der Simulationsseite erfordert sie eine übergreifende einheitliche Materialdatenbasis (beispielsweise Temperaturbereich, Berücksichtigung des Gefüges, Verfestigungen) und einheitliche synchronisierte Materialmodelle über alle Simulationsmodelle hinweg, um Verfälschungen der berechneten Bauteileigenschaften durch Vermischen verschiedener Materialmodelle vorzubeugen. Andernfalls müssen Ersatzmodelle mit Ersatzparametern verwendet werden.

Im Zentrum stehen die Fragen: Wo möchte ich welche Informationen nutzen, welche Abbildungstiefe ist erforderlich, und wo macht es auch Sinn? Eine vollständige Betrachtung ist aufwändig und muss gegen den Nutzen abgewogen werden. Allerdings können sich gerade im Leichtbau mit einer Prozesskettenbetrachtung weitere Freiheiten bei der Bauteilauslegung erschließen, da die erst später fertigungstechnisch eingebrachten Bauteileigenschaften schon bei der Bauteilauslegung berücksichtigt werden können. Langfristig gesehen werden die Bauteile in virtueller Form inklusive der sich aus dem Fertigungsprozess ergebenden lokalen Eigenschaften an Kunden mitgeliefert werden müssen.

Prozesskettenbetrachtung an einer Crashbox

Im Folgenden wird die Fertigungsfolge eines typischen Bauteils am Beispiel einer Crashbox mit anschließender Belastungsanalyse dargestellt und die Auswirkungen der



Sarah-Jane Haigis, Customer Service Center

DIE NEUEN CF+ SORTEN: IHR PLUS AN LEISTUNG FÜR DEN WERKZEUGBAU



HARD MATERIAL SOLUTIONS BY
CERATIZIT

Die **CF+ Hartmetallsorten** vereinen 3 Vorteile für dauerhaft mehr Effizienz und Sicherheit im Werkzeugbau.

Auf Dauer sicher: hohe Prozesssicherheit.

Auf Dauer zuverlässig: mehr Leistung.

Auf Dauer gut: starker Korrosionsschutz.

ceratizit.com

Berücksichtigung der fertigungstechnisch eingebrachten Bauteileigenschaften auf die Funktion diskutiert. Die Crashbox dient zur Absorption der Energie bei einem Aufprall, entsprechend gilt es, das Aufnahmevermögen sowie die Lage und den Ort der Verformung vorherzusagen.

Der Anschaulichkeit halber wird eine vereinfachte Crashbox aus zwei zu verschweißenden Halbschalen betrachtet, die am Ende mit Hilfe eines Fallhammers zusammengedrückt werden. Das Ziel der Simulation ist es, die Aufnahme der Energie und das Beulverhalten zu bestimmen und den Einfluss der Historie, also der lokal eingebrachten Eigenschaften aus der Umformung und dem Fügen, zu erhalten und zu bewerten.

Umformen und Fügen

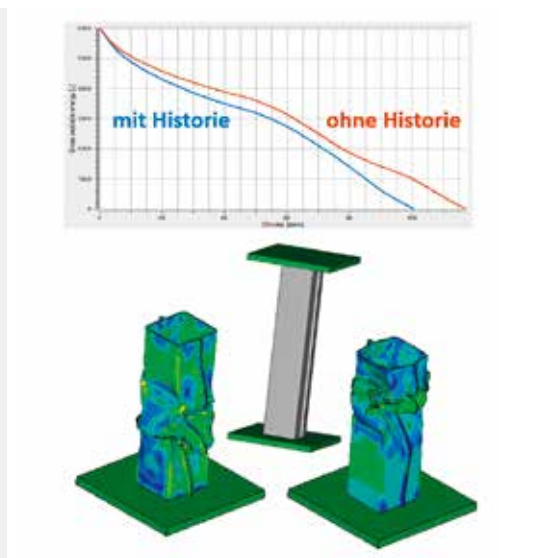
Bei allen Simulationen wird derselbe Materialdatensatz verwendet, der den Temperaturbereich von der Raumtemperatur bis zur Schmelztemperatur abdeckt. Zu dessen Informationen gehören das Umwandlungsverhalten, die thermischen und mechanischen Eigenschaften (phasenabhängig) sowie das Festigkeitsverhalten (phasenabhängig, temperaturabhängig, dehnratenabhängig). Zudem wird bei allen Analysen dasselbe elastoplastische Mehrphasen-Materialmodell verwendet und die gleichen Elementtypen (Hexaederelemente zur genauen Abbildung der lokalen Dehnungen und Spannungen). Je nach Bedarf kann die Netztopologie der Simulation angepasst werden, denn das Netz für die Umformsimulation unterliegt anderen Forderungen als das der Schweißsimulation oder der Strukturanalyse.

Der Umformprozess besteht aus dem Rollformprozess der Halbschalen, der mit Simufact.forming

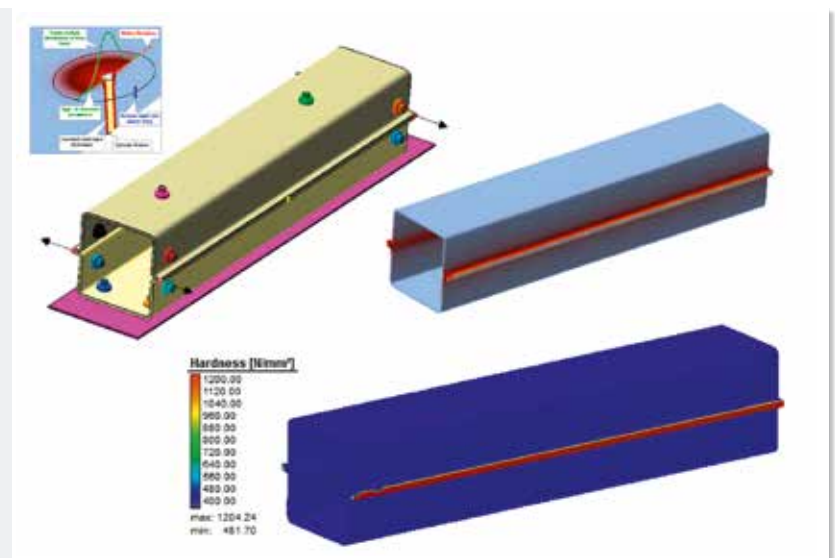
simuliert wird. Aus Gründen der Performance wird der Walzprofilierprozess mit Halbsymmetrie gerechnet, und es wird ein repräsentativer Ausschnitt aus dem stationären Bereich ausgeschnitten und auf Solllänge expandiert. Das Vollmodell ergibt sich durch Spiegeln und Duplizieren der Halbschale. Im Walzprofilierprozess verfestigt sich das Material, wodurch Eigenspannungen entstehen, die das Strukturverhalten unter Last beeinflussen. Aufgrund der Biegung ändert sich zudem die Blechdicke in den verformten Bereichen und weicht von der konstanten Dicke der CAD-Geometrie ab. Die Simulation des anschließenden Verschweißens der Seitenteile erfolgt mit Simufact.welding. Dabei werden die Zustandsgrößen aus der Umformsimulation wie Spannungen, Verfestigungen und die Geometrie mit realer Blechdickenverteilung übernommen. Die beiden Halbschalen werden eingespannt und von beidseitig angeordneten Robotern mit einem Laser geschweißt und nach der Abkühlung ausspannt.

Simulation der Gefügeveränderungen

Der Laser wird in Simufact.welding über eine Wärmequelle beschrieben, die mit definierter Robotergeschwindigkeit verfährt und die vorgegebene Energie in der Schweißnaht in Temperatur umgewandelt. Dadurch wandelt sich das Gefüge in der Wärmeeinflusszone bei Erreichen der AC3-Temperatur in Austenit um und die Verfestigung wird dort zurückgesetzt. Abhängig von der Abkühlgeschwindigkeit wandelt sich der Austenit in Bainit, Perlit, Ferrit oder Martensit um, wobei die Volumenänderungen bei den jeweiligen Phasenumwandlungen zu Dehnungsänderungen führen, die die Eigenspannungen und den Verzug beeinflussen. Zusätzlich entsteht lokal latente Wärme und aufgrund der Gitterstrukturänderung eine umwandlungsinduzierte Plastizität. Am Ende resultiert daraus ein Mischgefüge mit einer Festigkeits- und Härteverteilung, die durch den Prozess bestimmt ist. Anders gesagt: Das geschweißte Bauteil ist verzogen und weicht von der CAD-Geometrie ab. Weitere Ursachen für Eigenspannungen, Verzug und Gefügeänderungen können in den Spannern mit ihrer Lage, Geometrie, Ort und Spanndauer liegen sowie in der Laserquelle, der Schweißrichtung, der eingebrachten Energie, der Geschwindigkeit und der Schweißfolge. Diese Effekte werden in Simufact.welding berechnet. Primär gilt es, die Festigkeitsverteilung, die Endgeometrie mit Verzug und die Eigenspannungsverteilung zu ermitteln, um am Ende eine Aussage für den Einfluss auf den Crash treffen zu können.



Belastungsanalyse einer Crashbox. Links: Verformungsverhalten unter Berücksichtigung der Vorgeschichte (Umformen, Schweißen). Rechts: Verformungsverhalten nur mit Übernahme der Geometrie ohne Vorgeschichte.



Simulationsmodell eines Laserschweißprozesses mit Darstellung der Härteverteilung am Ende des Prozesses (unten rechts) und der maximal erreichten Temperatur (oben rechts).

Das geschweißte Bauteil wird abschließend mit allen Bauteileigenschaften in Simufact.forming importiert und mit einem Fallhammer gestaucht. Dabei sind die geschweißten Kontaktflächen automatisch fest miteinander verbunden. Bereiche ohne eine Schweißverbindung bleiben dabei auch weiterhin frei beweglich. Damit kann der Einfluss von Schweißverbindungsfehlern auf das Funktionsverhalten der geschweißten Struktur betrachtet werden. Auch bei dieser Simulation werden das gleiche Materialmodell und das gleiche Materialgesetz verwendet.

Belastungsanalyse: Crash einer Crashbox

Der Hammer wird über einen Starrkörper abgebildet. Er wird mit einer vordefinierten Masse und Geschwindigkeit auf das Profil gefahren und die sich dabei ausbildende Verformung berechnet. Aufgrund der Verformung wird die Energie absorbiert und nimmt ab.

Die Crashsimulation wird in zwei Varianten betrachtet: Variante 1 berücksichtigt die Historie und die lokal eingebrachten Eigenschaften (Zustandsgrößen). In Variante 2 bleibt die Historie unberücksichtigt und es wird ohne lokale Eigenschaften gerechnet, aber mit der realen Geometrie nach der Umformung.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse zeigt, dass die Crashbox in Variante 1 mit Berücksichtigung der Historie mehr Energie pro Weg verzehrt und daher die Gesamtenergie früher aufgenommen hat - im Umkehrschluss also mehr Energie bei gleichem Hub aufnehmen kann. Die Ursache hierfür sind die lokalen Festigkeitserhöhungen in der Wärmeeinflusszone nach dem Schweißen aufgrund der Gefügeumwandlung. Ferner ist zu erkennen, dass das Beulverhalten an einer anderen Stelle beginnt - bei der Crashbox in Variante 2 (ohne Historie) geschieht dies weiter oben.

Variantenvergleich: Crashsimulation mit und ohne Berücksichtigung der Historie

Diese Gegenüberstellung zeigt, dass die Berücksichtigung der Historie aus den vorangegangenen Fertigungsstufen das Strukturverhalten deutlich beeinflusst. Das Beulverhalten wird durch den Schweißprozess maßgeblich verändert und das Absorptionsverhalten der Crashbox wird durch die Steigerung der Festigkeit in der Schweißnaht erhöht. Diese Einflussfaktoren

können bei der Auslegung des Designs berücksichtigt werden, um beispielsweise den Zeitpunkt und Ort des Einknickens zu beeinflussen.

Daneben spielt der Umformprozess eine Rolle, da hier die Blechdickenverteilung sowie die Verfestigung in den umgeformten Zonen einen Einfluss haben. In weitergehenden Studien können die bestimmenden Parameter identifiziert und diese entsprechend funktionsgerecht eingestellt werden. Die dargestellte Betrachtung orientiert sich an den heutigen Möglichkeiten und Potenzialen der virtuellen Prozesskettenbetrachtung.

Zusammenfassung

Die virtuelle Betrachtung der verschiedenen Fertigungsstufen innerhalb einer Prozesskette vom Walzen bis zum Schweißen und anschließendem Crash ist heute mit Simufact-Programmen möglich und eröffnet Potenziale für die Optimierung der Fertigungsverfahren und deren Abstimmung. Wie die Betrachtung der Crashbox zeigt, erlaubt die Berücksichtigung der Fertigungsgeschichte eines Bauteils dessen Optimierung im Bauteildesign. Diese Form des „designed as manufactured“ wird Einzug in die fertigen Unternehmen halten und auch organisatorisch-strukturelle Änderungen bedingen. Die Bereiche Fertigungssimulation und Struktursimulation werden zusammenwachsen und frühzeitig in die Entwicklungsprozesse eingebunden. Dabei darf jedoch nie vergessen werden, dass nur das virtuell abgebildet werden kann, was sich physikalisch und mathematisch beschreiben und lösen lässt. Simufact liefert dafür keine Inselösungen, sondern ganzheitliche Konzepte. ■

www.simufact.de

YASKAWA



SCHWEISST ZUSAMMEN WAS ZUSAMMEN GEHÖRT – SIE UND IHRE KUNDEN.

Wenn Ihnen die Qualität Ihrer Produkte am Herzen liegt, setzen Sie am besten auf Schweißroboter der MOTOMAN MA-SERIE. Ihre Kunden werden es Ihnen mit Treue danken. Schweißt der Roboter gut, ist das Produkt gut und Ihr Kunde zufrieden.

