

Den Gießprozess ausreizen

Wie die Ford Motor Company MAGMASOFT® für die Entwicklung ihrer Gussteile nutzt.

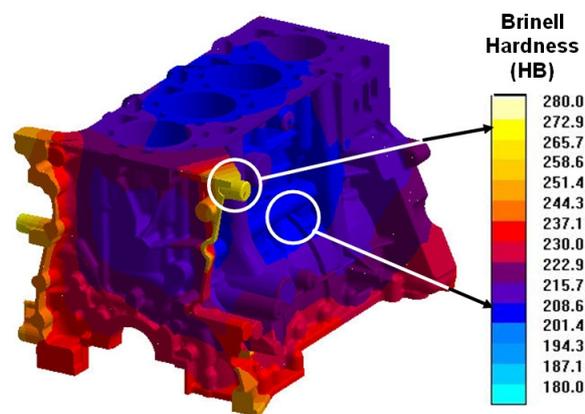
Zylinderblöcke aus Gusseisen zeigen eine ungleichmäßige Verteilung der mechanischen Eigenschaften. Unterschiedliche Wandstärken und der Gießprozess führen bei Eisenguss - Bauteilen zu einem inhomogenen Verlauf von Abkühlung und Erstarrung und zur ungleichmäßigen Ausbildung der Gefüge und Eigenschaften. Diese Faktoren resultieren auch in Eigenspannungen.

Der erfahrene Gießer kennt Techniken, mit denen die Ungleichmäßigkeiten im Gefüge zu einem Teil ausgeglichen und die Eigenspannungen reduziert werden können. In vielen Fällen ist dies aber nicht vollständig möglich.

Die heutigen Standard CAE-Methoden zur Berechnung von Motorengussteilen berücksichtigen inhomogene Eigenschaften und Eigenspannungen oft noch nicht. Dazu kommt, dass moderne Motorenkonstruktionen aufgrund der steigenden Anforderungen an optimale Leistungs-Gewichts-Verhältnisse zunehmend unter Inkonsistenzen zwischen den virtuellen Lebensdauervorhersagen und realen Prüfstandtests leiden. Daher müssen die produktionsspezifischen Eigenschaften schon früh in der Konzeptphase berücksichtigt werden.

Der Schlüssel zum Erfolg heißt "integrierte Gießprozesssimulation", bei der lokale Eigenschaften und Eigenspannungen mit einer Gießsimulation vorhergesagt und dann in die FE-Analysen und Lebensdauerberechnungen integriert werden.

Harte Stellen im Gussteil verursachen Probleme beim mechanischen Bearbeiten. Dieses Problem trat auch an einem Nocken des Prototypen eines Motorblocks aus Gusseisen auf. An dieser exponierten Stelle erreichte die Härte bis zu HB 260, während der durchschnittliche Härtewert bei HB 200 liegt (Berechnung mit MAGMASOFT®). Um die von FORD vorgegebenen Spezifikationen einzuhalten, war eine Änderung des Layouts notwendig. Bei Einsatz der Gießsimulation liegen diese Informationen zu Beginn des Entwicklungsprozesses vor und es werden zeit- und kostenaufwändige Änderungen vermieden.

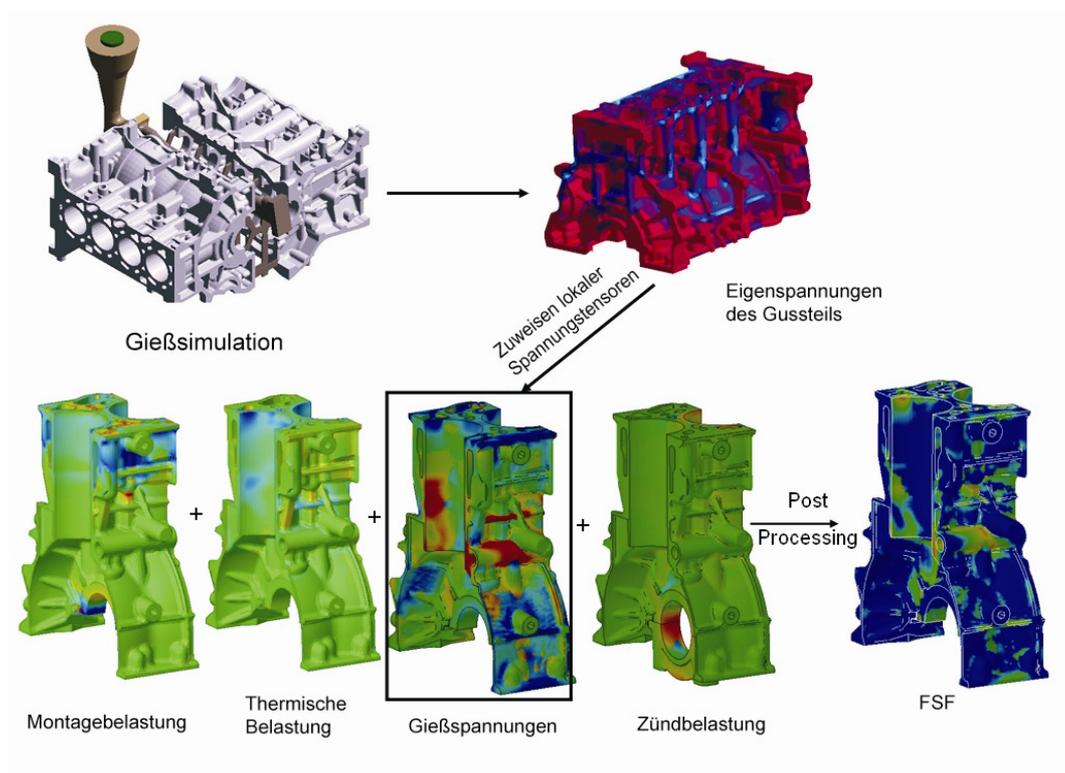


Berechnete Härtewerte in einem Motorblock aus Gusseisen. Der durchschnittliche Härtewert liegt bei 200HB, die maximale Härte tritt in einem bearbeiteten Nocken auf und liegt mit 260HB außerhalb der Spezifikation.

Die vorhergesagte Härte liegt außerhalb der Spezifikationen

Eigenspannungen beeinflussen die Lebensdauer des Gussteils. Die ungleichmäßige Abkühlung und die Schrumpfung des Gussteils in der Form führen zwangsläufig zu Eigenspannungen. Die lokalen Spannungswerte können nur durch Gießsimulation vorausgesagt werden, wenn leistungsfähige, nichtlineare elasto-plastische Materialmodelle zur Anwendung kommen. In diesem Prototyp des gusseisernen Zylinderblocks liegen die Werte bei 130MPa Zugspannung bis 100MPa Druckspannung (berechnet mit MAGMAstress). Die Eigenspannungen müssen nicht unbedingt nachteilig sein, sie können sich, vor allem bezüglich der

Druckspannungen, sogar günstig auswirken. Der eigentliche Einfluss von Eigenspannungen auf die Lebensdauer eines Gussteils kann nur vorhergesagt werden, wenn die Werte der Gießsimulation in die CAE-Lebensdaueranalyse einfließen.

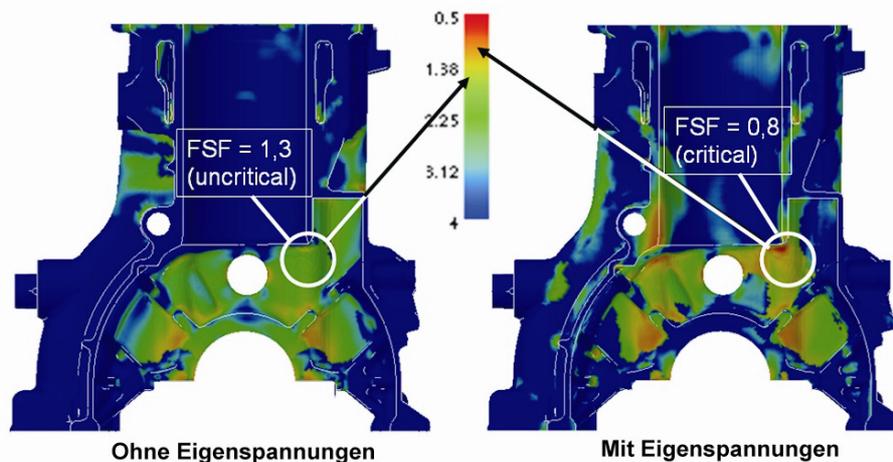


Integration der mit MAGMASOFT® berechneten Eigenspannungen in die Berechnung der Betriebsfestigkeit

Zusätzlicher Nutzen in der Entwicklungskette: "Integrierte Gießprozesssimulation"

Die Lebensdaueranalyse unter Berücksichtigung von Gusseigenspannungen zeigte deutlich andere Werte für die Lebensdauerfaktoren (FSF - Fatigue Safety Factors) als die Analyse ohne Eigenspannungen. Vor allem in den Bereichen, in denen die Gießsimulation Zugspannungen voraussagte, waren die Sicherheitsfaktoren grenzwertig. Dieses "neue Bild" der Fehlerwahrscheinlichkeit korreliert mit

Testergebnissen, wodurch der Wert des integrierten Verfahrens deutlich wird und so zeit- und kostenaufwändige Versuche vermieden werden konnten.



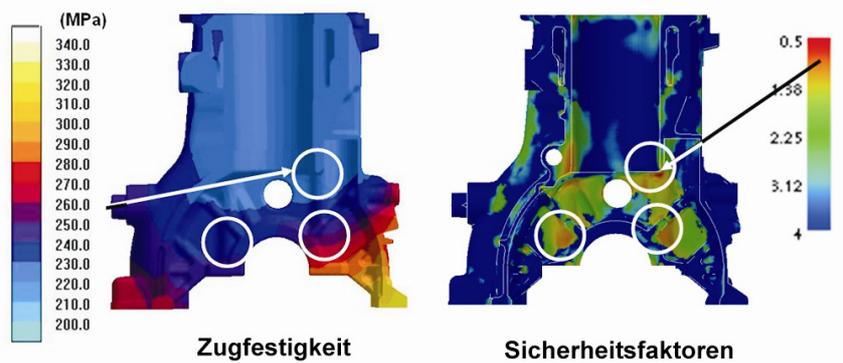
Einfluss der Eigenspannungen auf die Betriebsfestigkeit, hier charakterisiert durch den sogenannten Fatigue Safety Factor (FSF)

Die Berücksichtigung von Eigenspannungen macht Lebensdauerberechnungen weitaus verlässlicher

Die Genauigkeit der Eigenspannungsvorhersage wurde durch Messungen mit der Zerlegemethode überprüft, wobei eine gute Übereinstimmung gefunden wurde.

Hohe Festigkeit verlängert, niedrige Festigkeit reduziert die Lebensdauer.

Durch die funktionelle Beziehung von Prozess, Gefüge und Eigenschaften bildet sich bei allen Herstellungsprozesse eine charakteristische Verteilung mechanischer Eigenschaften. Für die Auslegung des Bauteils wird normalerweise eine gleichmäßige Verteilung von z.B. Zugfestigkeit gemäß der Normen angenommen, doch die Realität ist anders. Der Gießer sorgt dafür, dass z.B. in einem GJL250 Zylinderblock die erforderlichen 250MPa nicht unterschritten werden. Durch das inhomogene Gefüge wird dieser Wert in den meisten Bereichen des Gussteils allerdings überschritten. Dies führt zu der Situation, dass unkritische Bereiche (hohe Festigkeit - niedrige Belastung) manchmal unverhältnismäßig überdimensioniert sind, was ein Potential für zusätzliche Gewichtseinsparung mit sich bringt.



Berechnete Zugfestigkeit in kritischen Bereichen. In diesem Fall sind in den kritischen Bereichen keine erhöhten Zugfestigkeiten zu erwarten.

Lokale Festigkeit soll Lebensdauer unterstützen

Worum geht es? Gussteile sind von inhomogenen mechanischen Eigenschaften und Eigenspannungen gekennzeichnet. Durch die lokalen Erstarrungs- und Abkühlungsbedingungen zeigt ein typisches GJL250 Kurbelgehäuse eine lokale Zugfestigkeit von 220MPa bis 340MPa und Eigenspannungen zwischen 100MPa Druckspannung und 130MPa Zugspannung.

Die inhomogene Verteilung der Eigenschaften hat einen entscheidenden Einfluss auf das Verhalten des Gussteils unter Belastung und auf die Lebensdauer. Um Entwicklungskosten und -zeit zu sparen, müssen die vorhandenen Risiken wie auch die Potentiale, die im Herstellungsprozess liegen, lange vor Produktionsstart ermittelt und ausgereizt werden.

Die Lösung heißt "*Integrierte Gießprozesssimulation*", die Integration der Gießsimulationsergebnisse in FE-Berechnungen und Lebensdauervorhersagen.

Mit freundlicher Genehmigung von U.Weiss, Ford Advanced Research Centre, Aachen, Deutschland