

## Steel Bars and Forgings Made from High-strength Steels

The possibilities of weight optimisation for the product range of forgings and long products of a steel manufacturer, above all for the products used in the areas of chassis and power train in the area of automobiles, are examined further in the following entry. In this case, the higher-strength steels up to 1,400 MPa – together with the correspondingly adapted processes – are examined, wherein the constructive aspect delivers quick solutions and thus clearly sets the pace.

# Stabstahl und Schmiedestücke aus hochfesten Stählen

Dipl.-Ing. Frank Wilke, Siegen

Für den Erzeugnisbereich der Schmiedestücke und Langprodukte eines Stahlherstellers, hier vor allem für die eingesetzten Produkte der Bereiche Fahrwerk und Antriebsstrang im Automobilbereich, werden im nachfolgenden Beitrag die Möglichkeiten der Gewichtsoptimierung näher beleuchtet. Hier sind höherfeste Stähle bis 1.400 MPa – zusammen mit den entsprechend adaptierten Prozessen – gefragt, wobei die konstruktive Seite bereits schnelle Lösungsansätze liefert und somit den Takt deutlich vorgibt.

### Ausgangssituation

Im Band- und Blechbereich sind durch die Kürze der Prozesskette sowie die Übersichtlichkeit der Werkstoffe und der geringen Zahl der Komponenten am Fahrzeug Projekte und deren Realisierung sehr schnell erfolgreich. Bei Schmiedestücken und Langprodukten dagegen sind die Prozessketten länger und benötigen für ein Produkt viele Zwischenverarbeiter. Die einzelnen Komponenten sind in der Teilezahl sehr vielfältig und durch ihre Menge ebenfalls anspruchsvoll. So gibt es allein am Antriebsstrang eines Mittelklasse-PKW zirka 2.100 verschiedene Bauteile und im Bereich des Fahrwerks rund 750 verschiedene Bauteile. Zusammen mit der Vielfalt der eingesetzten Werkstoffe, multipliziert mit der Anzahl der Prozesse ergibt sich damit ein erheblicher

Aufwand für die Optimierung sowohl von Einzelteilen als auch der gesamten Komponente.

Die Vielfalt an Prozessen und Werkstoffen führt beim Einsatz hochfester Stähle natürlich auch zu Blockaden, die wie folgt beschrieben werden können:

- offene Fragen der Bearbeitung,
- zu viele neue Werkstoffe,
- teilweise unbekannte Langzeiteigenschaften,
- mögliche offene Fragen zu Verbindung mit anderen Werkstoffen,
- nicht allgemein verfügbare Werkstoffe oder Patente,
- Unklarheiten, ob bestimmte Werkstoffe für bestimmte Prozesse überhaupt verfügbar sind.

Ziel verschiedener Arbeitsgruppen in jüngster Zeit – hier speziell der Initiative Massiver Leichtbau aus Stahlherstellern und Massivumformern – war, das komplexe Feld zu analysieren, Prozesse und Werkstoffthemen zu bündeln und Vorschläge für innovativen massiven Leichtbau zu erarbeiten. So wurde in einer Studie „Leichtbaupotenzial massivumgeformter Komponenten im Pkw“ vorab erarbeitet, dass 23 Gewichtsprozent eines Pkws als Schmiedestücke und Langprodukte dem Antriebsstrang und 16 Prozent des Fahrzeug-Gesamtgewichts dem Fahrwerk zuzuordnen sind. Bei der Analyse der 2.850 betrachteten Bauteile ergaben sich bereits heute über 100 verschiedene angewandte Werkstoffe.

Zu beachten bei hochfesten <sup>1)</sup> Stählen (Prozess):
• Zerspanungs-Bedingungen → siehe Projekte, auch schwefelarm
• Verbund mit anderen Werkstoffen → Verbundschmieden, Kleben
• Vermeidung von Wasserstoff-Anfälligkeit
• gute Umformbarkeit → Werkstoff-Auswahl
• Berücksichtigung von Verzug + Erholungs-Effekten
• Eigenspannungsarmut
• Erzielung hoher Dehnungs- und Kerbschlagarbeitswerte für dynamische Belastung
• äußere Werkstoff-Bedingungen (Reinheitsgrad, Elemente, Gefüge, Korngröße ...)
• Berücksichtigung von möglicher erhöhter Korrosions-Anfälligkeit
• begrenzte Wärmebehandlung im Herstellprozess

1) hochfest =  $R_m > 1.000 \text{ MPa}$

Tabelle 1: Wichtige Faktoren im Verarbeitungsprozess bei der Verwendung von hochfesten Stählen.

Bei dieser Analyse hat sich gezeigt, dass werkstoffseitig sehr viele ähnliche, jedoch nicht gleiche Werkstoffe zum Einsatz kommen, die die Vorratshaltung und den Fertigungsaufwand erheblich vergrößern und damit verteuern. Des Weiteren wurde festgestellt, dass die angewandten Werkstoffe zum einen als Werkstoff und zum anderen aber auch bezüglich des Eigenschaftsbilds teilweise sehr konservativ angelegt waren. So wurden unterforderte Werkstoffe ermittelt sowie die technischen Möglichkeiten einzelner Werkstoffe unter Berücksichtigung entsprechender Sicherheiten nicht oder nur teilweise ausgenutzt. Darüber hinaus wurde festgestellt, dass es konstruktiv in Zusammenhang mit Prozessen und Werkstoffen ebenfalls ein deutliches Optimierungspotenzial gibt.

**Produktanforderung an hochfeste Stähle**

Für den Einsatz hochfester Stähle zur Gewichtsreduzierung ist die genaue Kenntnis des

Anforderungsprofils wichtig. Neben den reinen statischen Werten in Festigkeit und Duktilität ist auch die Untersuchung der dynamischen Belastung im Einsatz erforderlich, hier speziell unter Berücksichtigung der Lebensdauer des Bauteils. Als weitere Anforderungen kommen die Betriebstemperatur im Einsatz, mögliche Beaufschlagung durch Korrosion und äußere Bedingungen für das Bauteil im Einzelfall (Herstellkosten, Geometrie, Einbauvolumen) hinzu. Fragen nach der Verschleißart, zum Beispiel einem möglichen Schutz durch Beschichtung, gelten als Basis des Lastenhefts.

Wenn das Anforderungsprofil an das Produkt bekannt ist, gibt es neue Hürden für die Auswahl hochfester Stähle: Neben Zulassungsfragen, Referenzen, Beschaffbarkeit und allumfängliche Werkstoff-Kenndaten müssen für das Produkt aus dem neuen hochfesten Stahl alle für dieses Produkt erforderlichen Herstellprozesse geprüft werden. In Tabelle 1

sind einige Kriterien für die Herstell- und Fertigungsprozesse aufgeführt. Im Vordergrund der Prozessbetrachtung der hochfesten Werkstoffe stehen die Warm- und Kaltumformbarkeit sowie die Bearbeitbarkeit des Werkstoffs generell sowie die Auswahl der besten Prozessreihenfolge. Gemeint ist zum Beispiel die Ermittlung, wann und in welchem Zustand eine Kaltbearbeitung am kostengünstigsten und materialschonendsten ist. Die Entscheidung über Werkstoffauswahl und geeignete Prozessschritte an dieser Stelle ist sehr komplex und erfordert eine breite Darstellung sowohl der Eigenschaften hochfester Werkstoffe selbst als auch deren Prozessdarstellung.

Recherchen im Zuge der Leichtbaupotenzialstudie sowie des Stahlinstituts VDEh zur Umsetzung neuer hochfester Werkstoffe im Langproduktebereich haben gezeigt, dass die Kenntnis über Verarbeitungsprozesse hochfester Stähle deutlich erweitert werden muss, um eine entsprechende Entscheidungshilfe für Konstrukteur und Verarbeiter zu geben. Prozesswissen über finale Bearbeitungsprozesse hochfester Stähle, insbesondere beim Zerspanen, ist vorhanden, aber Prozesse der Warm- und Kaltumformung sowie das Herstellen von Werkstoffverbunden erfordern noch weiterführende Projektarbeit.

**Hochfeste Stähle für den Leichtbau**

Mit bekannten Werkstoffen, aber noch neuen beziehungsweise adaptierten Fertigungsprozessen können höhere Werkstoffeigenschaften in Festigkeit und Duktilität erzeugt werden als in den klassischen Normen beschrieben. Dies geschieht zum einen durch die Ausnutzung der technischen Wärmebehandlungsmöglichkeiten, zum anderen durch alle Arten der Kaltverfestigung des Materials. Eine weitere Möglichkeit der Fertigung hochfester Stähle ist die direkte Eigenschaftsbildung aus der Warmumformung heraus, die jedoch einen sehr exakten Prozessverlauf während der Umformung selbst inklusive der erforderlichen Kräfte als auch ganz gezielt geregelte Abkühlgeschwindigkeiten nach der Warmumformung erfordern. Hier ist besonders eine Vielzahl an bainitischen und aushärtbaren Stählen zu nennen. Neue hochfeste Stähle entstehen auch durch Analysenmodifikation und neue technische Möglichkeiten im Stahlherstellungsprozess, diese Elemente prozesssicher im Stahl zu legieren. Als Legierungselemente für Langprodukte und Schmiedestücke sind Mangan, Stickstoff, Vanadin, Bor und Aluminium zu nennen. Diese Legierungselemente sind von der Kostenseite als vertretbar zu betrachten, es ist jedoch durchgängig neues Prozess-Know-how erforderlich. So neigen hoch manganhaltige Stähle im Zuge von Kaltumformungsprozessen zu extremer Kaltverfestigung, was zum einen positiv für das Eigenschaftsbild ist, zum anderen negativ für den Kaltumformprozess selbst sein kann.

Werkstoffbetrachtung hochfester Stähle
Bainitische Stähle:
• Mikrolegierte Stähle ähnlich AFP-Stähle, jedoch mit abgesenktem C-Gehalt.
• Eigenschaftsbildung über gezielte schnelle Abkühlung aus Umformhitze auf rund 400 °C und dort halten, um Bainit zu erzeugen und Martensit/Ferrit/Perlit zu vermeiden; idealerweise Prozess so einstellen, dass gesamter Querschnitt zu Bainit führt.
• Keine weitere Wärmebehandlung > 250 °C mehr nötig und möglich.
• Analyse ist so gestaltet, dass das Bainitgebiet aufgeweitet wird und Ferrit- und Perlit-Bildung verzögert und somit umgangen werden.
• Vorteil bainitischer Stähle ist $R_m > 1200 \text{ MPa}$ bei gleichzeitigen Kerbschlagarbeitswerten > 50 Joule.

Tabelle 2: Werkstoffbetrachtung hochfester Stähle (1).

Werkstoffbetrachtung hochfester Stähle	
Wälzlagerstähle ähnlich 100Cr6:	
•	Einstellen besten Reinheitsgrads (Makro, Meso, Mikro)
•	Ausnutzen TRIP-Effekt (Si, Al) zur Verzögerung der Karbidbildung
•	Durch Al Ausscheidungs-Härtung, Bildung einer K-Phase
•	Durch Al Mischkristall-Verfestigung
•	Einstellen niedrigster Schwefelgehalte, z. B. < 0,001 % S
Nitrierstähle ähnlich 8CrMo16:	
•	Grundfestigkeit dynamisch vergütet > 1.000 MPa
•	Nach Nitrieren KBZ – 20 °C > 50 Joule
•	Anlassbeständig beim Nitriervorgang (kein Verzug)
•	KBZ = Kerbschlagzähigkeit

Tabelle 3: Werkstoffbetrachtung hochfester Stähle (2).

Der Einsatz von Stickstoff führt, je nach Werkstoff, ebenfalls zur Festigkeitssteigerung, bedingt jedoch zum einen teilweise höhere Umformkräfte und zum anderen sind Risiken (Wasserstoffanfälligkeit) zu vermeiden beziehungsweise zu berücksichtigen. Prozesse mit deutlich erhöhten Aluminiumgehalten als bisher üblich, benötigen in der gesamten Prozesskette noch die meiste Projektarbeit.

In Tabelle 2 sind die Erkenntnisse beim Einsatz von bainitischen Stählen dargestellt. Die beschriebenen Materialeigenschaften sind, geeignete Analyse vorausgesetzt, durch eine gezielt extrem schnelle Abkühlung aus der letzten Umformhitze einstellbar, wobei das Bauteil während der Abkühlung lange in der Bainitphase um 400 bis 480 °C gehalten werden muss. Das Material weist

dann bereits die hohe Festigkeit auf, wobei zu berücksichtigen ist, dass jede weitere Kaltbearbeitung in dieser Festigkeit stattfindet.

Im Zuge der Betrachtung hochfester Stähle gewinnen sowohl Wälzlagerstähle als auch Nitrierstähle wieder an Bedeutung. Bei den Wälzlagerstählen steht die Verschleißfestigkeit im Vordergrund, das heißt hier gibt es nunmehr Werkstoffvarianten, die spezifisch nicht nur die Wälzfestigkeit, sondern auch abrasiven Verschleiß berücksichtigen. Diese Modifikation zielt zum einen auf höchsten Reinheitsgrad und niedrigste Schwefelgehalte dieser Stähle ab, andererseits werden die Möglichkeiten erhöhten Aluminiumgehalts für TRIP-Effekt ausscheidungshärtend und gegebenenfalls Mischkristall-Bildung genutzt.

Die Misch-Nitrierstähle erfahren perspektivisch eine durchaus vereinfachte und damit kostengünstigere Fertigung als früher, da es Möglichkeiten gibt, diese Stähle aus der Umformhitze direkt zu härten, anzulassen und nach dem Nitrieren mithilfe des Nitriervorganges direkt als weiteren Anlassvorgang als anlassbeständig zu deklarieren. Werkstoffabhängig sind hier neben Festigkeiten von über 1.000 MPa im Grundwerkstoff auch ansprechende Kerbschlagzähigkeiten zu erzielen. Nähere Angaben sind in Tabelle 3 dargestellt. In Tabelle 4 findet sich beispielhaft eine Auflistung von hochfesten Werkstoffen.

**Konstruktive Lösungsansätze beim massiven Leichtbau**

Es sind deutliche Gewichtsreduzierungen bei Schmiedestücken durch Nutzung aller Technologien möglich. Schmiedetechnisch kann durch Aussparungen und Einschnürungen sowie endabmessungsnahes Umformen speziell bei nicht rotationssymmetrischen Teilen deutlich Gewicht gespart werden. Zudem ist es im Einzelfall bereits möglich, durch Verbundschmieden mit dem Trägerwerkstoff zum Beispiel Funktionsflächen aus anderen Werkstoffen herzustellen. In diesem Fall gibt es fertigungstechnisch eine Vielzahl von Prozessschritten, die je nach Geometrie und Anspruch an das Bauteil umgesetzt werden können und ein hohes Potenzial an Gewichtseinsparungen bieten.

**Fazit**

Am Beispiel der Initiative Massiver Leichtbau mit Massivumformern und Stahlherstellern hat sich gezeigt, dass eine Zusammenarbeit zwischen allen Prozessbeteiligten aufgrund der langen und komplexen Prozesse zwingend erforderlich ist, um Gewichtseinsparungen am Schmiedeteil zu erreichen. Dies ist, wie sich an einigen Beispielen mit Gewichtseinsparungen von bis zu 25 Prozent gezeigt hat, durchaus ohne zuwachsende Risiken möglich. Es stehen heute Werkstoffe zur Verfügung, die in robusten Prozessen sicher herstellbar sind und das gewünschte Eigenschaftsbild bei hinreichender Duktilität und Dauerfestigkeit garantieren. Hierbei können sogar bisherige Fertigungsprozesse, insbesondere in der Wärmebehandlung, abgekürzt werden. Die Prozesse selbst sind jedoch hochanspruchsvoll und daher in engen Grenzen zu führen, speziell was den Bereich der Werkzeuge betrifft. Das Nahziel muss daher sein, neben der Steigerung des Bekanntheitsgrads auch Informationen über die Verarbeitungsprozesse hochfester Werkstoffe weiterzugeben und somit den Konstruktoren Möglichkeiten zur Nutzung dieser Prozesse an die Hand zu geben.



Dipl.-Ing. Frank Wilke

Werkstoff-Beispiele, Lösungsvorschläge für hochfeste Anwendungen:	
Bainit:	R <sub>m</sub> > 1.400 MPa, wichtig: Abkühlung aus Umform-Prozess
AFP:	R <sub>m</sub> > 1.000 MPa, wichtig: Abkühlung aus Umform-Prozess
Einsatzhärter:	R <sub>m</sub> > 1.000 MPa + Aufkohlung; wichtig: Reinheitsgrad, Analyse
Vergütungsstähle:	R <sub>m</sub> > 1.300 MPa, wichtig: Eigenspannung
C-Stähle:	Induktiv härtbar > 62 HRC, Vorsicht: Dehnung, dynamische Belastbarkeit
Nitrierstähle:	Hohe Oberflächenhärte, R <sub>m</sub> > 1.000 MPa; KBZ hoch
Rostfrei-Aushärter:	R <sub>m</sub> > 1.200 MPa, Kerbschlagzähigkeit hoch, für Sonder-Korrosionsbeanspruchung, hoher Aufwand
100Cr6 u. ä.:	Hohe Oberflächenhärte, verschleißfest; Sonderanalysen gefordert

Tabelle 4: Werkstoff-Beispiele und Lösungsvorschläge für hochfeste Anwendungen.

Tabellen: Autor