

Die Fertigung einer Rotorhohlwelle für eine 5 MW-Windkraftanlage - ein Projektbericht

von Tino Noack und Stefan Nelle, Coswig

Gießtechnische Entwicklung und Herstellung eines Prototypen für eine 5 MW-Offshore-Windkraftanlage, so lautete der Auftrag der Windkraftanlagenbauer Repower Systems AG, Hamburg, im Jahre 2003 an die Walzengießerei Coswig GmbH. Mit 35,5 t Gussgewicht und 26,4 t Fertiggewicht sollte es das bis dahin größte Gussteil aus Gusseisen mit Kugelgraphit (GJS) sein, das jemals in Coswig gefertigt wurde.



Die Montage des Lagers auf der Rotorwelle des Prototypenteils

Frühere Erfahrungen mit einem etwas kleineren Gussteil ähnlicher Geometrie haben gezeigt, dass das Fehlerpotential bei einer solchen Entwicklung recht groß sein kann und die Stimmen der Skeptiker wurden laut, dass das junge Projektteam dieser Aufgabe vielleicht nicht gewachsen sei.

Deshalb und aufgrund der Brisanz dieses Projektes war es sicher, dass die Erarbeitung der Gießtechnologie auf konventionellem Wege, d. h. in empirischer Vorgehensweise, wirtschaftlich und kundenorientiert nicht zu vertreten ist. Es war daher zwingend notwendig, die Gieß- und Erstarrungssimulation konsequent bei der Technologieentwicklung mit einzubeziehen und das erste reale Gussteil erst zu gießen, wenn laut Simulationsergebnis ein einwandfreies Gussteil zu erwarten war. Das ließ

sich nur durch eine enge Zusammenarbeit zwischen dem Projektteam der Walzengießerei Coswig und dem Konstruktionsteam von Repower-Systems verwirklichen.

Erarbeitung der Gießtechnologie

Die Ausbildung von Graphitkugeln bei dickwandigem Gusseisen mit Kugelgraphit ist bekanntlich mit besonderen Schwierigkeiten verbunden. Eine möglichst schnelle Abkühlgeschwindigkeit ist hier von Vorteil. Diese muss in einem Bereich liegen, in dem der Graphit sphärolitisch ausgebildet wird und das Grundgefüge ferritisch bleibt. Aufgrund der Erfahrungen beim Walzenguss und der Notwendigkeit zur schnellen Erstarrung und Abkühlung des Gussteils zum Erreichen der geforderten mechanischen und Gefügekenwerte, gab es zum Guss der Rotorwelle gegen Kokille keine Alternative. Zudem sollte die Form des Gussteiles der Geometrie des fertigen Bauteiles so nahe wie möglich kommen, um das Ausbringen möglichst hoch und die mechanische Bearbeitung gering zu halten.

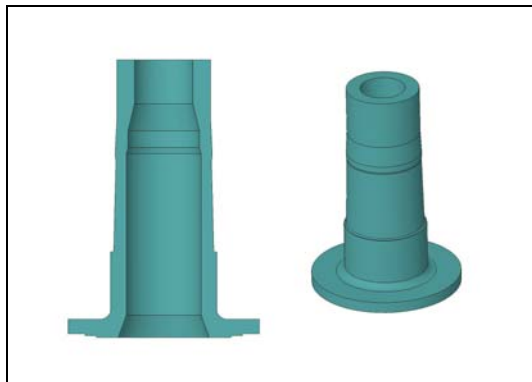


Bild 1: Die Rotorwelle in der ursprünglichen Variante

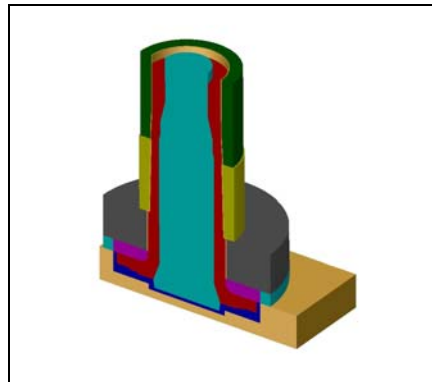


Bild 2: Die Gießeinrichtung für die Variante 1

Die erste vom Kunden vorgeschlagene Variante entsprach nicht einer gießgerechten Konstruktion (**Bild 1**). Durch dickere Bereiche oben und unten und eine kleinere Wanddicke in der Mitte des Gussteils war eine gerichtete Erstarrung nicht zu erwarten und eine Lunkerbildung vorprogrammiert. Die durchgeführte Gieß- und Erstarrungssimulation bestätigte diese Erwartungen. **Bild 2** zeigt den Aufbau der Gießform für diese erste Variante. Die nach oben kleiner werdenden Kokillenwanddicken sollten für eine gerichtete Abkühlung des Gussteils sorgen. In der ersten Ausführung reichte deren Wirkung aber nicht aus. **Bild 3** zeigt die zuletzt erstarrenden Bereiche, welche den größten Wanddicken des Gussteils entsprechen. Die Selbstspeisung von Gusseisen mit Kugelgraphit reicht nicht aus, um das Gussteil dicht zu speisen; und an genau diesen Stellen würden laut Simulation Lunker entstehen (**Bild 4**).

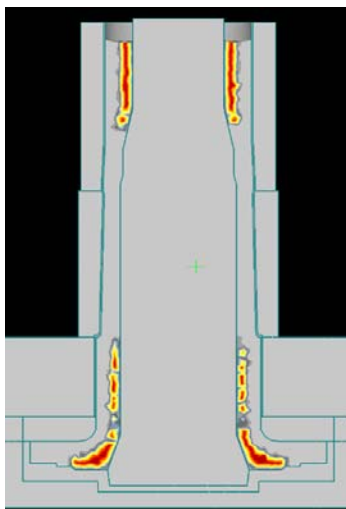


Bild 3: Die thermischen Zentren bei Variante 1

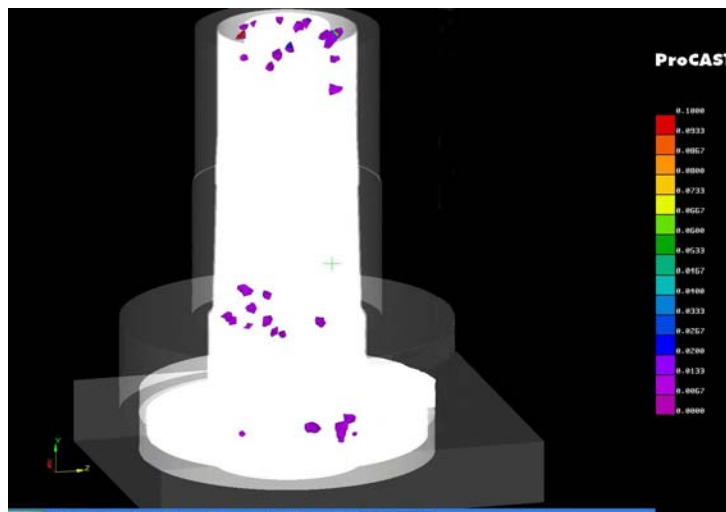


Bild 4: Die Porosität bei Variante 1

Demnach war das Gussteil in der ersten Version nicht fehlerfrei gießbar. Daher wurden dem Kunden Vorschläge zur Veränderung der Geometrie unterbreitet, die eine bessere Gießbarkeit gewährleisten sollten. Von Vorteil war zu diesem Zeitpunkt, dass die Konstruktion der Windkraftanlage noch nicht vollständig abgeschlossen war. Deshalb konnten Veränderungen seitens des Kunden berücksichtigt werden und so wurde eine neue, überarbeitete Variante des Gussteils entwickelt (**Bild 5**). Dazu wurde in Coswig wiederum das Gießsystem überarbeitet; danach erfolgte eine neue Simulation.

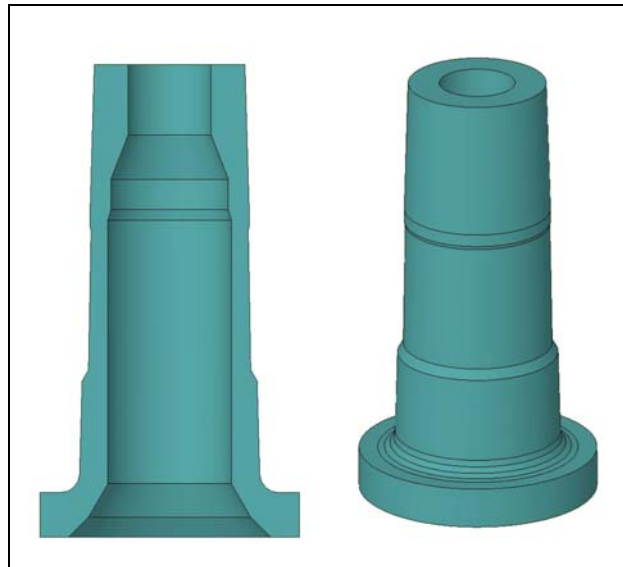


Bild 5: Die veränderte Geometrie der Rotorwelle

Aber auch diese wurde noch nicht für gut befunden, denn auch bei dieser Variante war keine gerichtete Erstarrung möglich. Es kam laut Simulation zur Lunkenbildung. Dieser Vorgang wurde daraufhin noch einige Male wiederholt (**Bild 6**), bis im Ergebnis eine Gussteilgeometrie vorlag, die den Anforderungen des Kunden bezüglich der Funktionalität des Bauteils voll entsprach und eine Risiko minimierte Technologie für das Gießen entwickelt war.

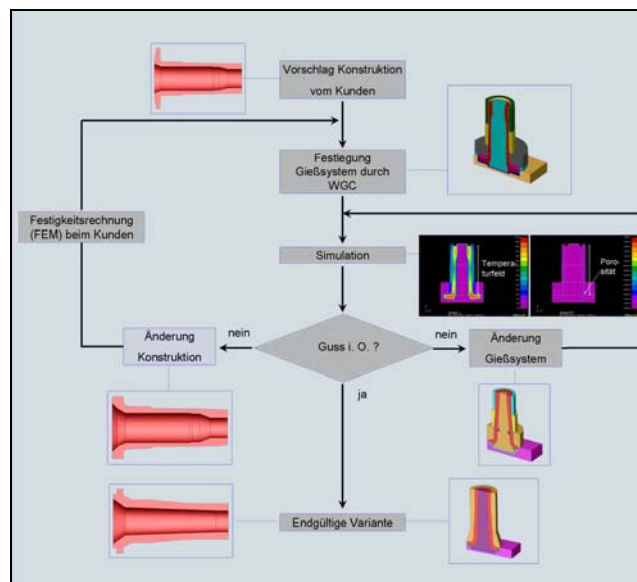


Bild 6: Die Vorgehensweise bei der Technologieentwicklung

Auf diesem Wege wurden in der Walzengießerei Coswig circa 20 Gieß- und Erstarrungssimulationen mit immer wieder veränderten Geometrien des Gussteils, Veränderungen am Gießsystem oder bezüglich der Gießbedingungen durchgeführt, bis aufgrund der Ergebnisse der Simulation von einem fehlerfreien Erstabguss ausgegangen werden konnte.

Bild 7 zeigt den endgültigen Aufbau des Gießsystems. Die Wanddicke der Kokillen wurde der entsprechenden Gusskontur angepasst, so dass es zu einer gerichteten Erstarrung von unten nach oben kam. Das **Bild 8** zeigt die Porositätsverteilung der endgültigen Variante. Man sieht, dass nur noch im Bereich des Überkopfes Porositäten vorhanden sind.

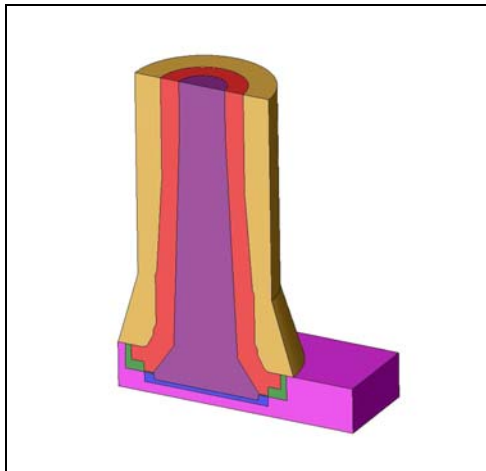


Bild 7: Die endgültige Form des Gussteils und des Gießsystems

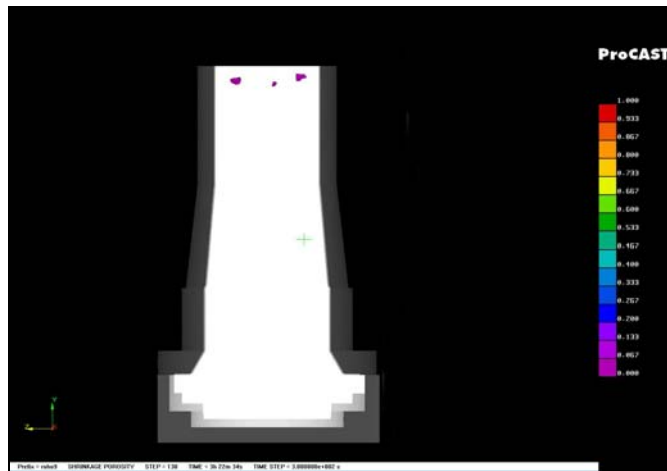


Bild 8: Die Porosität der endgültigen Variante

Aufbau der Gießeinrichtung

Auf der Grundlage der bei der Simulation gewonnenen Erkenntnisse wurde die Gießeinrichtung konstruiert und hergestellt. Sie besteht aus Gießplatte, dem Kokillensatz, Anschchnittsystem und Kernen. Die Gießplatte und die Kokillen wurden in der eigenen Gießerei gefertigt. Aufgrund ihrer Größe musste die Gießplatte in zwei Teilen gefertigt werden (**Bild 9**). Besonderes Augenmerk musste dabei auf die genaue Ausrichtung des Kernes gelegt werden. Bei außermittiger Anordnung kommt es zu Unterschieden bei der Wanddicke, was zu einem thermischen Zentrum auf einer Seite und somit zu Lunkern führen kann. Die Gießeinrichtung wurde in einer Grube aufgebaut. Dabei wurden Maßnahmen getroffen, um dem Auftrieb des Kernes im flüssigen Eisen entgegenzuwirken.



Bild 9: Das Teil 1 der zweiteiligen Gießplatte

Abguss Prototyp

Am 10. Juli 2003 erfolgte der erste Abguss der Rotorwelle. Die knapp 36 t Flüssigeisen wurden in zwei Induktionsöfen und einem Warmhalteofen geschmolzen, bzw. bereitgestellt. Der Abguss verlief reibungslos (**Bild 10**). Die Abkühlung der Rotorwelle bis auf Raumtemperatur erfolgte in der Form und dauerte sechs Tage. Die nach dem Erkalten durchgeführte Ultraschalluntersuchung zeigte ein fehlerfreies Gussteil. Die Untersuchungen der mechanischen Werte und des Gefüges des Bauteils brachten den Normen entsprechende Ergebnisse. Trotz der großen Wanddicken konnte durch den Einsatz der Kokillengießtechnik am Gussteil ein Gefüge der Gütestufe 5 bis 6 erreicht werden.



Bild 10: Der Abguss der Rotorwelle

Mechanische Bearbeitung der Rotorwelle

Die mechanische Bearbeitung (**Bild 11**) stellte ebenfalls höchste Ansprüche an die Fertigung. Lagersitztoleranzen in der ISO-Grundtoleranzklasse 5 und Konturen komplizierter mathematischer Funktionen verlangten der Maschine, dem Arbeitsvorbereiter und dem Bearbeiter viel ab. Die exakte Beherrschung des Temperaturregimes sowie die richtigen Schneidstoffe, Schnittwerte und eine geeignete Plattengeometrie zur Erreichung der gewünschten Oberflächengüte waren die Herausforderungen bei der Bearbeitung dieser Rotorhohlwelle. Voraussetzung für die mechanische Bearbeitung in der eigenen Dreherei war die Investition in eine Drehmaschine, die Teile mit einer Länge bis zu 8000 mm und einem Durchmesser bis zu 2400 mm bearbeiten kann.



Bild 11: Die mechanische Bearbeitung der Rotorwelle

Aufbau des Prototyps der Windkraftanlage Repower 5M

Der Prototyp der Windenergieanlage Repower 5M wurde in Brunsbüttel Onshore errichtet und läuft dort mit 99%iger Verfügbarkeit (**Bild 12**). Weitere Windkraftanlagen dieses Typs stehen vor der schottischen Küste Offshore in einer Wassertiefe von 40 m.



Bild 12: Prototyp der 5MW-Windenergieanlage Repower 5M in Brunsbüttel (Foto: Repower)

Fazit

Die Entwicklung der Gießtechnologie für die Rotorwelle einer 5-MW-Windkraftanlage war eine Neuentwicklung in einer Größenordnung, die bei der Walzengießerei Coswig bisher nicht auf der Tagesordnung stand. Das Entwicklungsteam hatte sich erst kurz vorher zusammengefunden und musste mit diesem Projekt eine erste Bewährungsprobe bestehen. Um eine solche Aufgabe zu meistern, braucht man ein kompetentes, engagiertes und leidenschaftliches Team. Die Entwicklung des „Riesen“ erfolgte in enger Zusammenarbeit mit dem Kunden unter Verwendung handelsüblicher Gieß- und Erstarrungssimulationssoftware.

Im Ergebnis der gründlichen Vorbereitung konnte beim ersten Abguss dieser Rotorwelle ein fehlerfreies Gussteil hergestellt werden, ebenso wie bei allen weiteren zwanzig Abgüssen dieses Gussteils.

Dipl.-Ing. Tino Noack, Produktmanager Handformguss/Leiter mechanische Bearbeitung, und Dr. Stefan Nelle, Leiter Entwicklung, Walzengießerei Coswig GmbH, Coswig

www.walze-coswig.de