

Ringwalzen verbessert Bauteileigenschaften

Nahtlos gewalzte Ringe zeichnen sich unter dynamischer Beanspruchung durch hohe Lebensdauer aus. Die Flexibilität des Freiformschmiedens in Verbindung mit dem Ringwalzen gibt diesen Verfahren besondere Möglichkeiten im Bereich der Einzel- und Kleinserienfertigung, aus qualitativen Gründen aber auch bei der Mittel- und Großserienfertigung. Der Fertigungsprozess von der Vormaterialauswahl bis zum geprüften Bauteil wird im folgenden Beitrag dargestellt.

AUTOREN



Dr.-Ing. Roman Diederichs

ist Geschäftsleiter der Karl Diederichs KG in Remscheid



Dr.-Ing. Jan Nebel

ist Leiter des Qualitätswesens der Karl Diederichs KG in Remscheid



Dr.-Ing. Sebastian Trute

ist Leiter Wärmebehandlungsbetriebe und Betriebsleiter Werk Luckhausen bei der Karl Diederichs KG in Remscheid

Bei Windkraftanlagen werden Getriebekomponenten wie Zahn- und Planetenräder sowie Wälz-/Gleitlager, Bandagen und Schrumpfscheiben aus gewalzten Ringen hergestellt.

Die gewalzten Ringe haben den großen qualitativen Vorteil, dass sie in tangentialer Richtung besonders gute mechanische Eigenschaften aufweisen. Ursache sind der nicht unterbrochene Faserverlauf, die dreidimensionale Umformstruktur des Gefüges und der radiale Umformprozess des Ringwalzens im letzten Umformschritt.

STAHLREINHEIT ENTSCHEIDET ÜBER DIE AUSWAHL DES VORMATERIALS

Die Windkraft ist weiterhin im Vormarsch. Der Trend geht dabei zu immer größeren Windkraftanlagen. Weil die Montage von Offshoreanlagen und deren Stahlkonstruktionen immer aufwendiger werden, sind die Anlagenbauer bestrebt, möglichst leichte Hochleistungsaggregate herzustellen, welches mit einer Leistungsverdichtung der Bauteile einhergeht. Somit wird die Belastung der Bauteile immer höher bei gleichzeitig steigenden Sicherheitsanforderungen, da im Schadensfall durch die erschwerte Logistik mit Seeschiffen und Stillstandszeiten der Windkraftanlagen hohe Folgekosten entstehen.

Um Schäden zu vermeiden, wird an den Reinheitsgrad des eingesetzten Stahls eine besonders hohe Anforderung gestellt. Die Stahlwerkstoffe, wie zum Beispiel Einsatzstahl für Zahnradkomponenten, werden in der Regel in Elektrolichtbogenöfen oder Sauerstoffaufblaskonvertern erschmolzen. Durch die moderne Sekundärmetallurgie in speziellen Pfannenöfen und Entgasungsanlagen werden die Homogenität, Reinheit und Gasarmut des Stahls entscheidend verbessert. Durch drastische Reduzierungen der Begleitelemente Phosphor und Schwefel werden die Voraussetzungen geschaffen, Stähle mit einem geringen Seigerungsgrad und hoher Reinheit zu produzieren.

Der geforderte gute Reinheitsgrad bei der Stahlherstellung erfordert dabei einen prozesssicheren und fehlerfreien Gießprozess. So muss beispielsweise der Kontakt des Stahls mit Luftsauerstoff bestmöglich unterbunden werden, damit dieser nicht wieder reoxidiert und Verunreinigungen wie oxidierte Legierungselemente (zum Beispiel Al2O3) im Stahl zurückbleiben. Die wenigen unvermeidlich im Erschmelzungsprozess vorhandenen Verunreinigungen müssen die Möglichkeit haben, im schmelzflüssigen Zustand aufzusteigen, um somit im Gießprozess abgeschieden zu werden. Bei einer un-

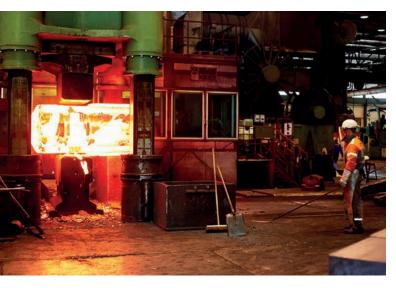






Bild 2: Schmiedehammer - Schmieden eines Ringrohlings

sauberen Prozessführung besteht die Gefahr der Bildung von sowohl nichtmetallischen Einschlüssen durch Reoxidationsprodukte, als auch eingeschlossenen Schlackenresten.

Aus diesem Grund werden in der Rohlingsfertigung von sensiblen Windkraftbauteilen neben stranggegossenem Material verstärkt Rohblöcke verarbeitet, weil der Rohblock durch seine langsame Erstarrungsgeschwindigkeit und die geometrische Form der Kokille besonders gute Bedingungen zum Abscheiden und Aufsteigen von nichtmetallischen Verunreinigungen hat.

Der Schmiede kommt eine besonders hohe Verantwortung bei der Qualifizierung der Stahlwerke zu, da die Stahlreinheit und insbesondere das Vorhandensein und die Verteilung von kritischen Mesoeinschlüssen (größere Einschlüsse, die mit Hilfe der Ultraschallprüfung gefunden werden können) erst am produzierten Schmiedestück ermittelt werden können. So setzt zum Beispiel die normkonforme Bestimmung des Reinheitsgrades einen Mindestverschmiedungsgrad voraus, um die Werte der Fehlergröße, Verteilung und Ausprägung der Einschlüsse vergleichbar zu machen. Aus diesem Grund ist die enge Zusammenarbeit und das kontinuierliche Feed-

back von Schmiede/Ringhersteller und Vormateriallieferant eine wichtige Voraussetzung zur Prozessevaluierung und kontinuierlichen Verbesserung bei der Herstellung von hochreinen Stählen.

VORSCHMIEDEN VON ROHBLÖCKEN

Das Schmieden von großen Rohblöcken im Gewichtsbereich über zwei Tonnen Blockgewicht erfolgt in der Regel unter hydraulischen Pressen (Bild 1). Der auf Schmiedetemperatur erwärmte Rohblock erhält seine Form durch Recken, Breiten, Stauchen, Rundieren, Absetzen oder Lochen zwischen flachen, runden oder gekerbten Werkzeugen. Die Warmformgebungstemperaturen liegen zwischen 1.000 und 1.230°C und werden werkstoffabhängig eingestellt. Die Umformung erfolgt in partiellen Umformschritten (Hüben), wobei große Schmiedestücke mit einer reduzierten Umformkraft hergestellt werden können. Durch vielfache Schmiedehübe wird das Schmiedestück durch den Schmied mittels Manipulator durch Legen, Verschieben, Drehen, Kanten oder Stellen in die richtige Schmiedeposition gebracht. Dabei wird durch genaue Fahrwege und Schmiedeprogramme eine optimale Umformstruktur hergestellt.





Bild 4: Wärmebehandlung im automatisierten Ablauf

Bild 3: Ringwalzen

Für Getriebeteile mit hohen Reinheitsgradanforderungen werden in der ersten Umformstufe die Rohblöcke vorgeblockt. Diese werden für den nächsten Umformschritt auf die erforderlichen Einsatzgewichte gesägt, wobei eine genaue Kenntnis über die Länge der unreinen, abzutrennenden Blockenden (Schopfmaße) im Schmiedebetrieb vorliegen muss.

RINGROHLING HERSTELLEN

Für den Ringwalzprozess müssen Vorringe hergestellt werden, hierzu werden Sägeabschnitte von vorgeschmiedeten Rohblöcken oder Stranggussmaterial als Vormaterial eingesetzt. Bei der Bestimmung der Gewichte von Sägeabschnitten kommen Kalkulationsprogramme zum Einsatz, in welche Parameter für die Verzunderung, Abfall infolge des Lochprozesses (Lochbutzen) und vor allem mechanische Bearbeitungszugaben für die Drehoperation der Ringe einfließen. Die Genauigkeit des Schmiede- und Walzprozesses und die Kenntnisse der Risiken von Oberflächenfehlern wie Zundereinwalzungen, Schmiedeüberlappungen und geometrischen Abweichungen wie Höhenschlag und Unrundheiten beeinflussen die Rechenformeln zur Kalkulation der Risiken und somit der Bearbeitungszugaben. Die Minimierung der Zugaben unterliegt einem dauernden Verbesserungsprozess zur Reduzierung der Einsatzgewichte.

Der auf Einsatzgewicht gesägte Vormaterialquerschnitt erhält durch Stauchen, Lochen und Rundieren die notwendige Vorform für den Ringwalzprozess (Bild 2). Dabei kommen sowohl dampfbetriebene Hämmer als auch hydraulische Pressen zum Einsatz. Durch diesen Umformschritt erhält der Ringrohling eine dreidimensionale Umformstruktur, welche sich besonders positiv auf die mechanischen Eigenschaften auswirkt. Bei der Vorringherstellung sind genaue Maße bei Innendurchmesser und Ringhöhe einzustellen, welches im nachfolgenden Ringwalzprozess das Walzen vorausberechneter, genau definierter Walzkurven erlaubt.

RINGWALZEN, DAS FLEXIBLE UMFORMVERFAHREN

Insbesondere nahtlose Ringe mit rechteckigem Querschnitt lassen sich ohne große Umrüstvorgänge und ohne hohe Werkzeugkosten flexibel herstellen. Dabei werden auf einer Maschine unterschiedlichste Durchmesser, Wanddicken und Höhen hergestellt. Die Ringrohlinge werden auf Walzmaschinen mit hydraulischer Werkzeugzustellung umgeformt, wobei die Ringe über Walzkurven mittels CNC-Steuerung automatisiert gefertigt werden. Dabei kommen in der Regel Radial-Axial-Walzwerke (RAW) zum Einsatz (Bild 3). Die Walzwerke verfügen über zwei Walzspalte, in denen Ringhöhe und



Bild 5: Mechanische Bearbeitung

Ringwandstärke gleichzeitig reduziert werden. Die Walzkurve ermöglicht, die in den Walzspalten entstehende Breitungsprofile im jeweils folgenden Walzspalt wieder abzuwalzen und einen scharfkantigen, rechtwinkligen Ringquerschnitt zu erzeugen. Durch das Abwalzen des Breitungsprofils entstehen große Schiebungsanteile bei der Umformung, wodurch besonders hohe Umformgrade im späteren Verzahnungsbereich der zukünftigen Zahnräder entstehen. Dieses macht sich positiv bei den Qualitätsmerkmalen der Dauerfestigkeit bemerkbar. Gute Prozesskenntnisse des Umformbetriebs ermöglichen Ringe mit genauer Formfüllung.

Durch die radiale Umformung auf dem RAW erfährt der dreidimensional umgeformte Ringrohling im letzten Umformschritt vor allem in tangentialer Richtung sehr gute Produkteigenschaften, welches besonders für Zahnräder die Hauptbelastungsrichtung darstellt. Aus diesem Grund haben nahtlos gewalzte Ringe dort zahlreiche Anwendungen gefunden, wo hohe Belastung und Sicherheitsanforderungen von Bedeutung sind. So sind nicht nur Getriebebauer Kunden von Ringherstellern sondern auch Produzenten von Kupplungen, Wälzlagern, Druckkesseln und Ventilen.

WÄRMEBEHANDLUNG ZUR EINSTELLUNG DER OPTIMALEN GEFÜGEEIGENSCHAFTEN

Im Anschluss an den Umformprozess werden die Ringe einer Wärmebehandlung unterzogen (Bild 4). Dabei werden folgende Qualitätsmerkmale angestrebt:

- Gute Bearbeitungseigenschaften bei der Zerspanung
- Feinkörnige Gefügestruktur als Voraussetzung für eine hohe Zähigkeit bei gleichzeitig hoher Festigkeit
- Geringer und gleichmäßiger Eigenspannungszustand über den Ringumfang und -querschnitt, um den Verzug des Bauteils zu minimieren
- Gute Ultraschallprüfbarkeit, damit auch kleinste Verunreinigungen nicht durch das Gefügerauschen bei der Ultraschallprüfung überdeckt werden
- Bei Einsatzstählen: Korngrößenstabilität, damit bei der Aufkohlungsbehandlung (Einsatzhärtung) bei Temperaturen von 930 bis 950°C und langen Aufkohlzeiten von 50 bis 80 Stunden kein wesentliches Kornwachstum auftritt

Diese Ziele werden erreicht, indem durch die Kombination eines optimierten Schmiede-/Walzprozess und einer angepassten Wärmebehandlung eine Kornfeinung erfolgt und Ausscheidungen produziert werden, die möglichst fein verteilt werden und somit das Gefügekorn am Wachstum behindern. Ferner, wenn Teile möglichst verzugsarm durch eine Einzelteilabschreckung wärmebehandelt werden, welches durch eine moderne, mit dem Ringwalzprozess verkettete Wärmebehandlungsanlage im Unternehmen heute möglich ist. Der Kunde kann die gute Qualität nach Durchlauf seiner eigenen Produktion an Gefügeschliffen messen und zusätzlich durch reduzierte Schleifaufmaße nach dem Einsatz-



Bild 6: Automatisierte Ultraschallprüfung Bilder: Autoren

härten durch Einsparungen bei den hohen Schleifkosten • Automatisches Scannen der gesamten Mantelflächen und monetär bewerten.

MECHANISCHE BEARBEITUNG ALS VORBEARBEITUNGS-STUFE ZUR ANSCHLIESSENDEN ULTRASCHALLPRÜFUNG

Die Anforderungen an die Stahlreinheit sind inzwischen so hoch, dass eventuelle Fehler bei der Ultraschallprüfung nur noch bei geringen Ankopplungsverlusten gefunden werden können. Aus diesem Grund werden die Ringe vor der Ultraschallprüfung mit definiert geringer Rautiefe vor dem Prüfschritt beim Ringhersteller gedreht (Bild 5). Gleichzeitig FAZIT werden dabei vom Ringhersteller Toleranzen bei der Bearbeitung gefordert, welche kaum Nachbearbeitung im folgenden Fertigungsschritt beim Kunden erfordern. Dafür ist ein moderner Maschinenpark für die Drehbearbeitung mit hoher Anlagenverfügbarkeit beim Ringproduzenten erforderlich.

AUTOMATISCHE ULTRASCHALLPRÜFUNG ZUM AUFFINDEN **KLEINSTER FEHLER**

Die Kundenanforderungen bezüglich der Ultraschallprüfung haben einen so hohen Qualitätsstandard erreicht, dass diese Prüfung mittels Handprüfung unsicher ist und zugleich den Durchsatz der Produktion erheblich reduziert. Aus diesem Grund werden moderne automatische Ultraschallprüfanlagen eingesetzt (Bild 6), um die Qualitätsanforderungen der Kunden zu erfüllen:

- Sicheres Auffinden von kleinsten Ultraschallanzeigen
- Definierte Überlappungen der Prüfbahnen

- somit Erfassung des gesamten Prüfvolumens
- Darstellung von Fehlern in verschiedenen Schnittebenen und Mantelabwicklungen
- Gute Ergonomie am Arbeitsplatz
- Sichere Dokumentation und Rückverfolgbarkeit

Große Belastungen und Sicherheitsanforderungen bei gewalzten Ringen haben bei modernen Umformbetrieben zu einem hohen Qualitätsstandard geführt. Die Optimierung des kompletten Prozessablaufs von der Stahlherstellung über den Umformund Wärmebehandlungsprozess bis zur mechanischen Bearbeitung und abschließenden Prüftechnik hat zu einer sehr hohen Qualität bei gewalzten Ringen geführt. Nur qualitativ hochwertige Produkte werden sich auf Dauer unter den rauen Betriebsbedingungen im Offshorewindmarkt behaupten können.



Karl Diederichs KG Luckhauser Straße 1 - 5 42899 Remscheid Telefon: +49 2191 593-0 Telefax: +49 2191 593-165 E-Mail: infoadirostahl.de Internet: www.dirostahl.de