

Gesenkschmiedestücke für Getriebe und Kupplungen

Von Dipl.-Ing. Heiner Jung, Warstein-Belecke

Von Getrieben und Kupplungen erwartet man, daß sie jahrelang wartungsarm und ohne Störungen arbeiten. Diese gleichmäßige, unauffällige Zuverlässigkeit wird in hohem Maße durch die umfangreiche Verwendung von Schmiedestücken für dynamisch belastete Teile ermöglicht.

Für Stirnradgetriebe können beispielhaft Zahnräder, Wellen, Kegel- und Tellerräder sowie Schaltgabeln genannt werden; bei den Planetengetrieben sind es Planetenträger, Hohl- und Doppelhohlräder, Sonnen- und Planetenräder, Turasnaben sowie Stützringe; bei den Kupplungen sind es Klauenteile, Kupplungsglocken, Kupplungskörper und -naben verschiedener Art sowie Kupplungszwischenteile. Auch die Gelenkwellen in ihren Variationen seien in diesem Zusammenhang genannt. Bei ihnen werden Gesenkschmiedestücke als Gelenkgabeln und -flansche, Zapfenkreuze, Wellen- und Nabenmitnehmer verwendet.

Allen diesen Teilen ist gemeinsam, daß sie im Rahmen der Konstruktion so ausgelegt werden können, daß eine gute Wirtschaftlichkeit erreicht wird. Dabei bestimmt die Beanspruchung, welcher Stellenwert den beiden Kriterien Funktion und Preis zuzumessen ist. Als weitere Kriterien für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen stehen die Lebensdauer und nicht zuletzt die Sicherheit an.

An Gesenkschmiedestücke für Getriebe und Kupplungen im Maschinenbau sind die Anforderungen hoch. Von der konstruktiven Auslegung her fordert man hohe Belastbarkeit, wobei immer eine große Zähigkeit wünschenswert ist. Bei Verschleißbeanspruchung kann die Härte ganz grob als Parameter für den Verschleiß angesehen werden. Sie wird durch Vergüten oder Oberflächenhärten auf von Werkstoff, Verfahren und Beanspruchung abhängige Werte eingestellt. Die nachfolgend aufgeführten Punkte sollen Hinweise auf die ver-

schiedenen Möglichkeiten geben, wobei Schwerpunkte entsprechend der Gesamtbeanspruchung gesetzt werden können.

Die breite Werkstoffpalette mit den verschiedenen Wärmebehandlungsmöglichkeiten läßt eine gute Anpassung an die Belastung zu, wobei der Schwerpunkt je nach Beanspruchung auf Festigkeit, Zähigkeit, Verschleißfestigkeit oder mehrere dieser Eigenschaften gleichzeitig gelegt werden kann. Muß hohe Schwingfestigkeit erreicht werden, so ist zusammen mit der Grundfestigkeit die Form und der belastungsgerechte Faserverlauf zu beachten. Eine bewußte Ausschöpfung der mechanischen Eigenschaften bei Beachtung der entsprechenden Sicherheit führt zu wirtschaftlichen Lösungen.

Ein anderer Vorteil ist die Möglichkeit, schweißbare Werkstoffe wählen zu können. So können kritische Bereiche einer Konstruktion aus besonders geeignetem Werkstoff als Schmiedestücke ausgelegt und die anderen Teile aus anderem Werkstoff angeschweißt werden. Auch die Möglichkeit der Schaffung von Baukastensystemen mit dem Vorteil von großen Losen bei weniger Teilen ist durch die Kombination von Gesenkschmieden und Schweißen gegeben. Weiter können durch diese Kombination technisch erforderliche schwierige Formen gestaltet werden, wobei die Teile auch hohen Anforderungen gerecht werden. Entsprechende Schweißverfahren stehen zur Verfügung.

Die Form des Teiles kann auch ganz oder sehr weitgehend an die Funktion angepaßt werden. Durch die Verfahrensvielfalt und die Werkstoffwahl kann — besonders bei entsprechenden Losgrößen — oft eine sehr bearbeitungsfreundliche Ausbildung des Schmiedeteils erreicht werden, wobei sich zusätzlich ein wirtschaftlicher Werkstoffeinsatz ergibt. Von der Form her kann oft die geschmiedete, geschnittene, kalibrierte oder geprägte Oberfläche die geforderte Funktion erfüllen, d. h., die mechanische Bearbeitung kann entfallen. In an-

deren Fällen kann die Bearbeitungszugabe gering gehalten werden. Für die Aufnahme und das Spannen der Teile zur Bearbeitung sind manchmal besondere Flächen sinnvoll. Hier sollte schon im Konstruktionsstadium eine Abstimmung zwischen dem Kunden und dem Hersteller erfolgen.

Auch von der Werkstoffseite her können bearbeitungsfreundliche Hilfen sinnvoll sein. Das kann durch Anwendung von reinen Automatenstählen, von geschwefelten Stählen oder auch durch entsprechende Wärmebehandlung geschehen.

Aus den vielen Schmiedeverfahren — vom einfachen Schmiedevorgang bis zum kombinierten Verfahren — ist die Wahl der wirtschaftlichsten Herstellung der Form möglich. Es sollte auch geprüft werden, ob nicht durch Optimierung der Gestalt eine Verbesserung der „Gestaltfestigkeit“ möglich ist bzw. eine Verminderung der Masse. Die Verwendung von Stählen höherer Festigkeit erlaubt, leichter und kleiner zu bauen. Auch die Bedarfsmenge und Losgröße spielt bei diesen Überlegungen hinein. Ein weiterer Gesichtspunkt für das Gesenkschmiedestück ist die Gleichmäßigkeit der Teile hinsichtlich der Genauigkeit, der Werkstoffwerte und des Gefüges sowie die völlige Lunkerfreiheit. Sehr angenehm ist die gute und sichere Prüfbarkeit des Schmiedestücks mit den bekannten Prüfverfahren. Sie sollten dann angewendet werden, wenn dies aus Einsatzgründen sinnvoll erscheint.

Alle aufgeführten Punkte vom Werkstoff beginnend über Wärmebehandlung, Gleichmäßigkeit der Teile, Form, Verfahrensvielfalt und gute Prüfbarkeit bringen beides: Sicherheit und Wirtschaftlichkeit.

Getriebe

Stirnrad- und Winkelgetriebe

Stirnradgetriebe sind seit langem bekannt. Sie enthalten bereits seit ihrer frühesten Entwicklung Gesenkschmie-

destücke in zahlreichen Formen. Die heutige Entwicklung dieser Getriebe geht dahin, durch Einsatz hochwertiger Werkstoffe und durch moderne Berechnungsverfahren die spezifische Leistung bei gleichem Einbauraum zu erhöhen. Allerdings sind diesem Bemühen grundsätzliche konstruktive Grenzen gesetzt.

Bild 1 zeigt einen Zahnradrohling für ein großes Stirnradgetriebe. Der Werkstoff ist 42 CrMo 4, vergütet, die Masse beträgt 147 kg. Die schalenförmige Ausbildung läßt eine Ineinanderschachtelung und damit schmale Bauweise zu. Die großen eingeschmiedeten Scheibenlöcher bringen Gewichtserleichterung, ohne das Festigkeitsverhalten zu beeinträchtigen. Gleichzeitig ermöglichen diese Öffnungen den Zugang zu Schmierstellen.

Bei dem Zahnradrohling in *Bild 2* ist die Welle angeschmiedet. Diese Lösung bietet durch die einstückige Ausbildung einen Vorteil für die mechanische Bearbeitung und die Montage. Der Werkstoff ist 34 CrMo 4, normalisiert, die Masse beträgt 13,3 kg.

Der Kegelradrohling nach *Bild 3* ist aus dem Werkstoff 20 MnCr 5 ohne Wärmebehandlung und wiegt 7,8 kg. Diese und ähnliche Formen werden zusammen mit den Tellerrädern bei Winkelantrieben eingesetzt. Die Kegelräder werden allgemein dabei konstruktionsbedingt höher als die Tellerräder hinsichtlich Biegung und Verschleiß belastet. Durch die entsprechende Werkstoffpaarung kann man ein gewisses Gleichgewicht schaffen.

Bild 4 zeigt eine Schaltgabel. Sie ist aus Ck 45, normalisiert, die Masse beträgt 2,1 kg. Sie ist für ein schweres Getriebe bestimmt. Im Klauenbereich werden die Verschleißigenschaften durch eine Oberflächenhärtung verbessert. Dabei sind aber die Gabelarme so zäh, daß auch stoßartige Schaltbelastungen ohne Dauerbruchgefahr ertragen werden.

Bild 5 zeigt einen Vorgelegeradrohling, Werkstoff 42 CrMo 4, geblüht, Stückmasse 16,4 kg. Die beim Schmieden eingebrachten Lochungen ermöglichen den Zugang zu einer verdeckten Schmierstelle. Der verwendete Werkstoff und das Herstellungsverfahren Gesenkschmieden lassen eine hohe Belastung zu.

Ein Beispiel für die Verwendung von Warmfließpreßteilen ist der Druckzylinder (*Bild 6*) bei einem stufenlos regelbaren Getriebe. Der Druckzylinder ist hohen mechanischen Belastungen vor allem an der dünnen Zylinderwandung ausgesetzt. Das Warmfließpreßteil wird allen Anforderungen gerecht. Die völlige Lunkerfreiheit und die gute Homogenität des umgeformten Werkstoffes

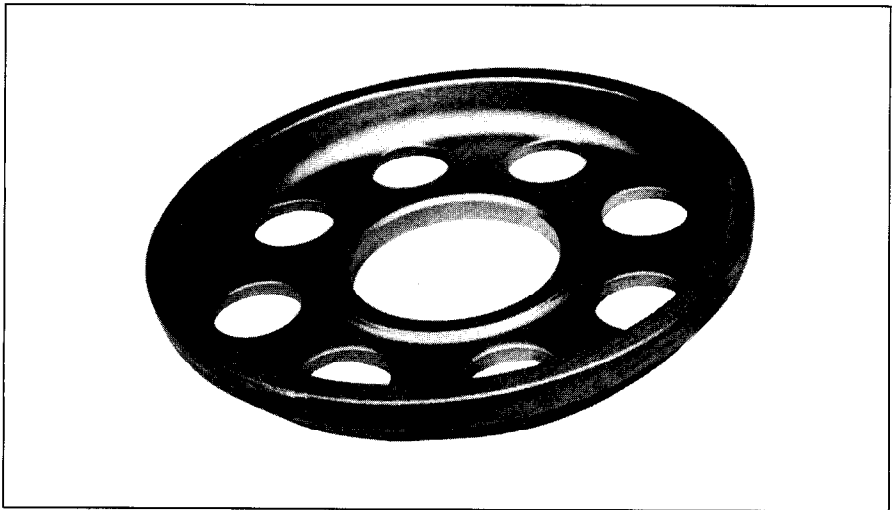


Bild 1: Gesenkschmiedeter Zahnradrohling (147 kg) aus 42 CrMo 4 V

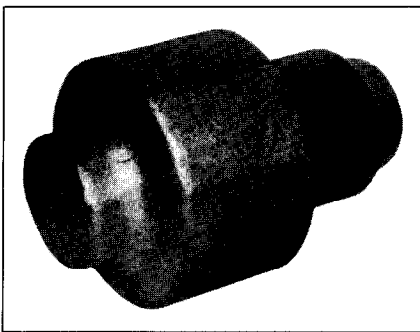


Bild 2: Gesenkschmiedeter Zahnradrohling (13,3 kg) aus 34 CrMo 4 N

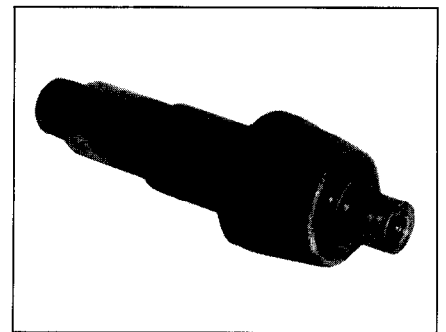


Bild 3: Gesenkschmiedeter Kegelradrohling (7,8 kg) aus 20 MnCr 5

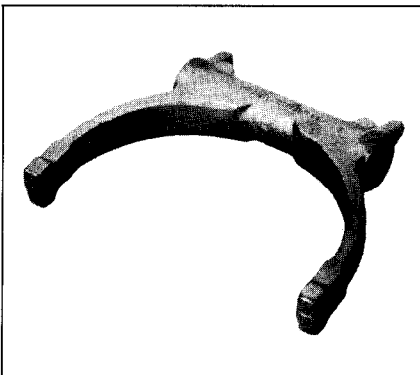


Bild 4: Gesenkschmiedete Schaltgabel (2,1 kg) Ck 45 N

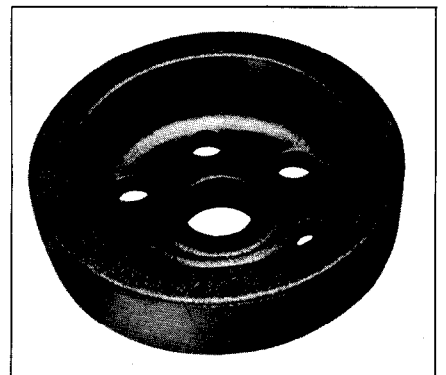


Bild 5: Gesenkschmiedeter Vorgelegeradrohling (16,4 kg) aus 42 CrMo 4

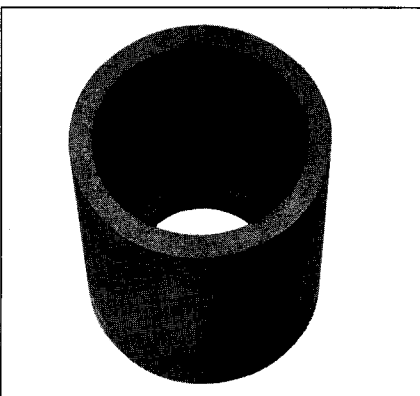


Bild 6: Warmfließgepreßter und gelochter Druckzylinder (4,9 kg) aus Ck 45

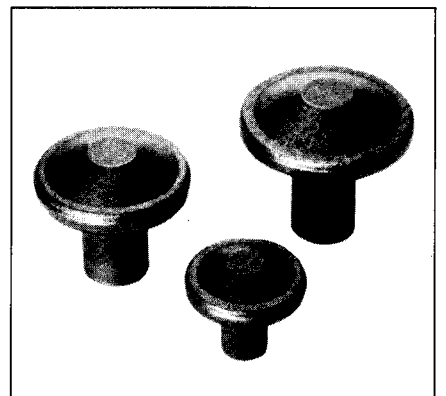


Bild 7: Gesenkschmiedete Reibkegel verschiedener Größe (0,15—0,5 kg) aus X 210 Cr 12 für Reibgetriebe

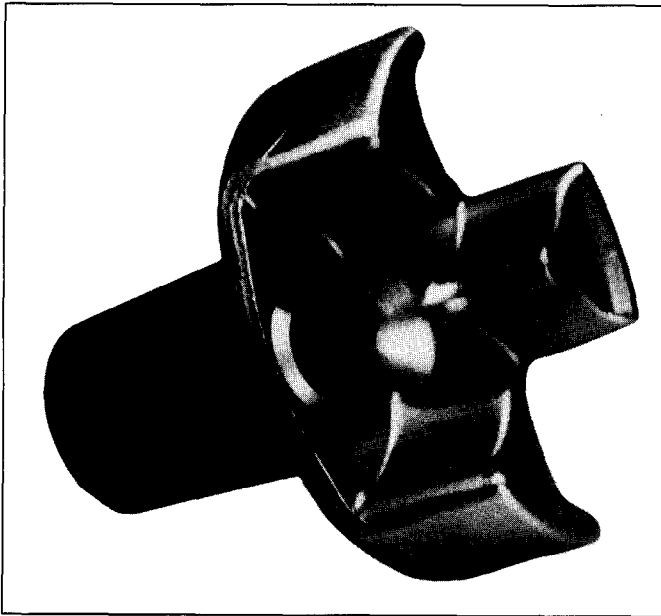


Bild 8: Gesenkgeschmiedeter Planetenträger (260 kg) aus 42 CrMo 4 V

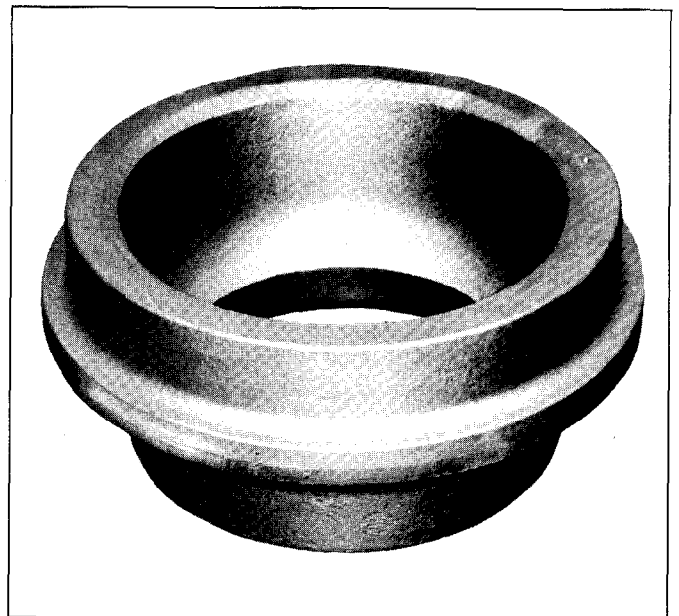


Bild 11: Gesenkgeschmiedetes Doppelhohlrads (454 kg) aus 42 CrMo 4 V

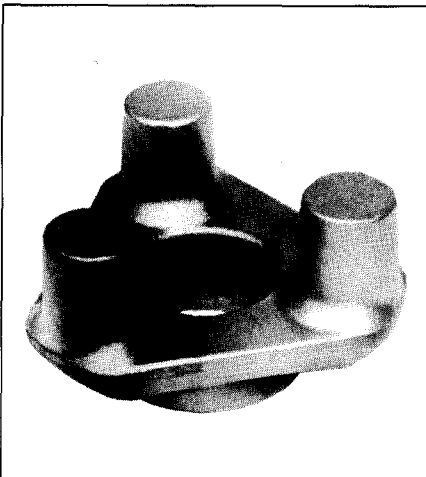


Bild 9: Gesenkgeschmiedeter Planetensteg (10,0 kg) aus 42 CrMo 4 V

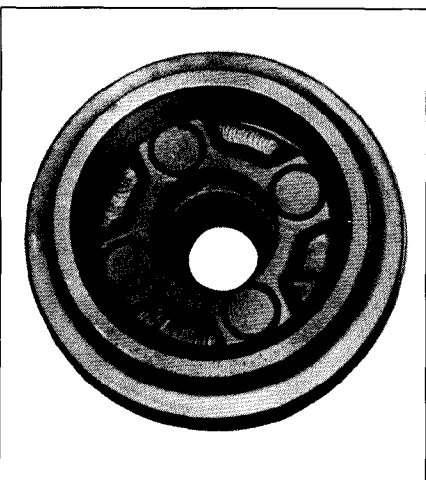


Bild 10: Vorgelegerad mit Planetenträger (68,5 kg) aus 16 MnCr 5, aus zwei Gesenkschmiedestücken nach dem MAG-Verfahren unter Schutzgas gefügt

gewährleisten außerdem zuverlässig die Öldichtigkeit des Bauteils. Die zylindrischen Außen- und Innenkonturen bieten Material- und Bearbeitungskosteneinsparungen.

Bild 7 zeigt gesenkgeschmiedete Reibkegel, wie sie in stufenlos regelbaren Reibgetrieben verwendet werden.

Planetengetriebe

Der konstruktive Vorteil der Planetengetriebe liegt darin, daß auf kleinstem Raum große Übersetzungen bei Übertragung relativ großer Leistungen möglich sind. Diese Getriebeform verlangt allerdings höhere Genauigkeit mit entsprechend umfangreicher mechanischer Bearbeitung. Die Getriebekonstruktionen müssen besonders darauf ausgelegt werden, unzulässige Verschiebungen der Verzahnung unter Last zu vermeiden und nach einer etwaigen Demontage des Getriebes eine zuverlässige Wiedermontage zu ermöglichen. Die Verwendung von Gesenkschmiedestücken mit ihrer Zuverlässigkeit hat wesentlich zu den inzwischen bewährten Lösungen beigetragen, so daß auf breiter Front ein Trend zum Planetengetriebe festzustellen ist.

Der schwere Planetenträger (*Bild 8*) ist aus dem Werkstoff 42 CrMo 4, vergütet, und wiegt 260 kg. Die geschmiedete Ausführung erlaubte bei gleicher Größe des Getriebes eine beachtliche Leistungssteigerung. Die früher beim gegossenen Teil vorhandene Schwachstelle im Übergang vom Zapfen zur Trägerplatte war damit ausgeschaltet. Mit einem gesicherten Querschnitt konnten die errechneten Belastungen übertragen werden.

Der Planetensteg nach *Bild 9* zeigt, daß auch andere Formen möglich sind. Auch dieses Getriebeteil besteht aus Werkstoff 42 CrMo 4, vergütet, und wiegt 10,0 kg. Die Besonderheit dieser Form liegt darin, daß der Wellendurchgang eingeschmiedet ist.

Bild 10 zeigt ein Vorgelegerad, das in einem Planetengetriebe eingesetzt wird. Das Teil besteht aus dem Radkörper, in den innen die Freiräume für die vier Planetenräder und dazwischen liegend die vier Nocken eingeschmiedet sind, die den Planetenstegdecken tragen. Nach dem Schmieden muß zwischen Außenwand und den vier inneren Nocken ein etwa 20 mm breiter Ringspalt eingedreht werden, um ausreichend Spielraum für das Antriebsrad zu erhalten, das mit seiner Innenverzahnung vier Planetenräder antreibt. Bei diesem Arbeitsgang wird dann auch die Anlage und Zentrierfläche für den geschmiedeten und kalibrierten Deckel angedreht. Der Deckel wird dann durch MAG-Schweißen von Hand mit vier starken Kehlnähten in den Radkörper eingeschweißt. Der Wurzelgrund der vier Kehlnähte wird anschließend innen freigedreht. Durch diese Kombination von Gesenkschmieden und Schweißen kann das Abstandsmaß zwischen Planetenträger und Deckel so eng toleriert werden, daß die axialen Anlaufflächen für die Planetenräder nur noch zu schlichten sind. Eine besondere Wärmebehandlung nach dem Schweißen erübrigt sich, da die Außenverzahnung des Vorgelegerades später einsatzgehärtet wird.

Das Doppelhohlrads *Bild 11*, ebenfalls aus 42 CrMo 4, vergütet, wiegt 454 kg.

Bei dieser Konstruktion wird der Vorteil eines hochwertigen Stahles mit der Sicherheit der Lunkerfreiheit des Gesenkschmiedestückes verbunden. Die der Berechnung zugrunde liegenden hohen Belastungen des Getriebes können in der Praxis zuverlässig eingehalten werden.

Bild 12 zeigt eine Hohlwelle. Sie ist ebenfalls aus 42 CrMo 4, vergütet, und wiegt 67 kg. Die Welle ist hohlgeschmiedet und daher sowohl vom Werkstoffeinsatz her wie auch von den Kosten der mechanischen Bearbeitung her wirtschaftlich. Als weiterer Vorteil ist eine gute und gleichmäßige Vergütung anzusehen.

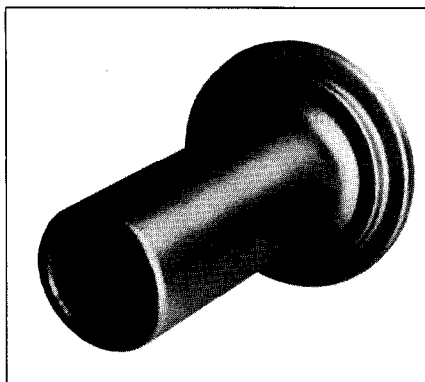


Bild 12: Hohlgeschmiedete Welle (67,0 kg) aus 42 CrMo 4 V

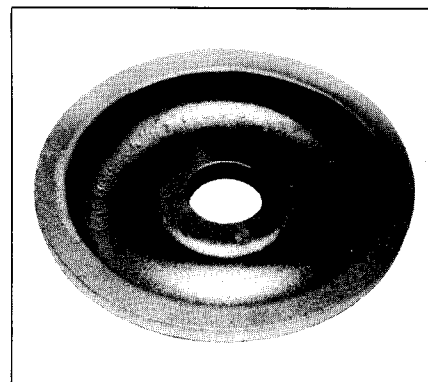


Bild 13: Gesenkgeschmiedete Rotorschale (19,3 kg) aus 34 Cr 4 V

Kupplungen

Im Maschinenbau wird die Kupplung als Verbindungselement von zwei sich bewegenden Teilen oft benötigt. Aus dieser Funktion heraus muß die Kupplung den unterschiedlichen Belastungen gewachsen sein. Hier ist auch ein breites Feld, aus dem gesenkgeschmiedete Kupplungsteile nicht mehr fortzudenken sind. Bei oft sehr engen Raumverhältnissen müssen die verschiedenartigen Belastungen aufgenommen und weitergeleitet werden.

Schaltbare Kupplungen

Die Rotorschale (*Bild 13*) ist für eine hydraulische Turbokupplung bestimmt. Sie ist aus 34 Cr 4, vergütet, und wiegt 19,3 kg. Nach der mechanischen Bearbeitung müssen die verbleibenden dünnen Wanddicken den wechselnden Belastungen sicher und zuverlässig gewachsen sein.

In der Gruppe der schaltbaren Kupplungen haben die Induktionskupplungen eine besondere Bedeutung. Der in *Bild 14* gezeigte Spulenträger gehört zu einer elektromagnetischen Induktionskupplung. Er ist aus C 15 und wiegt 14,4 kg. Die Innenschräge der Polfinger wird einbaufertig geschmiedet. Die Polfinger müssen bis in die Spitze sauber ausgeprägt sein. Mit der Schmiedeausführung können die guten elektromagnetischen Eigenschaften des Werkstoffes C 15 genutzt werden. Die hohe Belastung der Polfinger durch die auftretenden Fliehkräfte wird mit der gewünschten Sicherheit aufgenommen. Das Teil ersetzt die frühere Ausführung aus GS 38.

Bild 15 zeigt das Polrad für einen Regelantrieb, ebenfalls aus Werkstoff C 15, normalgeglüht, Gewicht 10,0 kg. Das Schmiedestück ersetzt eine Konstruktion aus zwei Stahlgußteilen, die mit erheblichem Aufwand bearbeitet und verschraubt wurden. Auch hier ergibt sich eine wirtschaftliche und sichere Lösung in Verbindung mit den guten

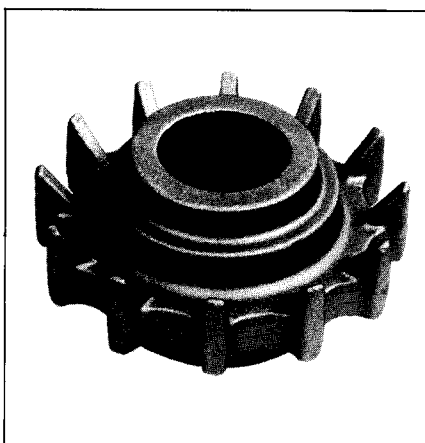


Bild 14: Gesenkgeschmiedeter Spulenträger (14,4 kg) aus C 15

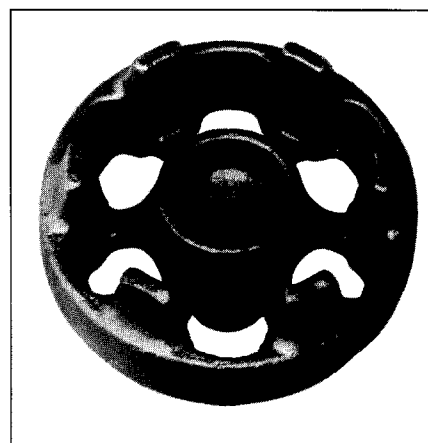


Bild 15: Gesenkgeschmiedetes Polrad (10,0 kg) aus C 15 N

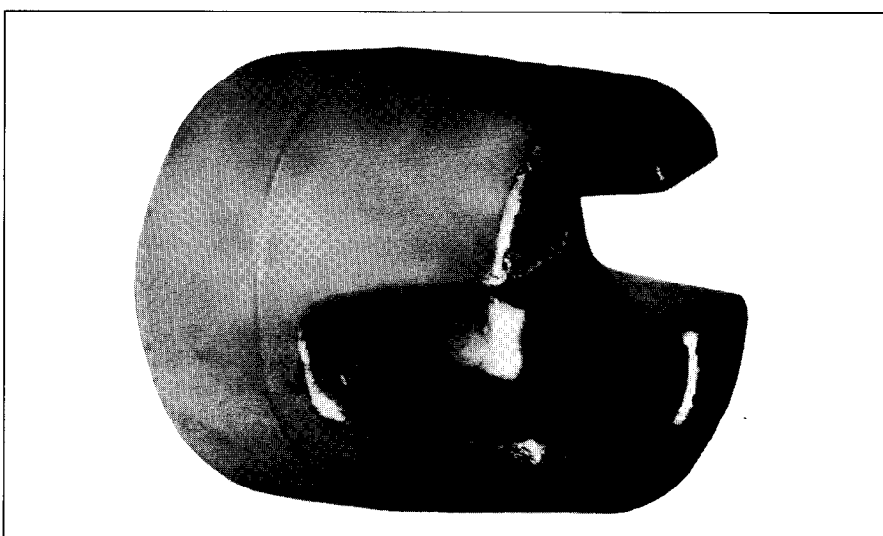


Bild 16: Gesenkgeschmiedeter Kupplungskopf (448 kg) aus Ck 60 N

elektromagnetischen Eigenschaften des Werkstoffes.

Feste und elastische Kupplungen

Einen Kupplungskopf für hochbeanspruchte Walzwerksantriebe zeigt *Bild 16*. Er ist aus dem Werkstoff Ck 60, normalgeglüht, und wiegt 448 kg. Die Kupplung muß die hohen Stoßbelastun-

gen eines Walzwerkes im Dauerbetrieb ertragen.

Andere Bauarten fester Kupplungen verwenden Hälften aus Gesenkschmiedestücken, in die Verzahnungen verschiedener Formen eingearbeitet werden. Derartige Kupplungen können bei Übertragung hoher Drehmomente im begrenzten Umfang Fluchtungsfehler und Achsversatz ausgleichen.

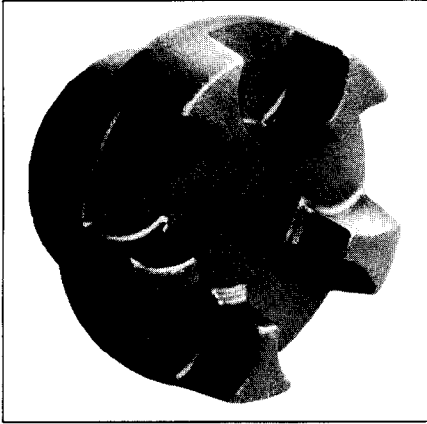


Bild 17: Gesenkgeschmiedete Kupplungs-nabe (20,0 kg) aus C 45

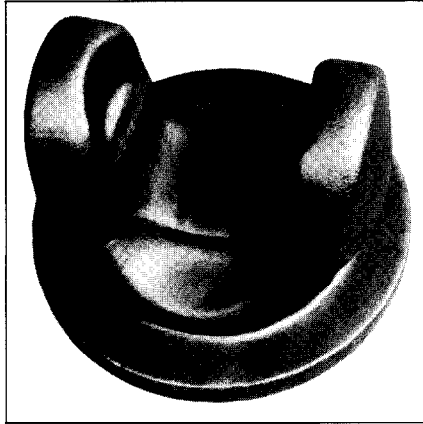


Bild 18: Gesenkgeschmiedeter Flanschnitnehmer (52,3 kg) aus 42 CrMo 4 V



Bild 19: Gesenkgeschmiedeter Wellenmitnehmer (61,0 kg) aus 42 CrMo 4 V

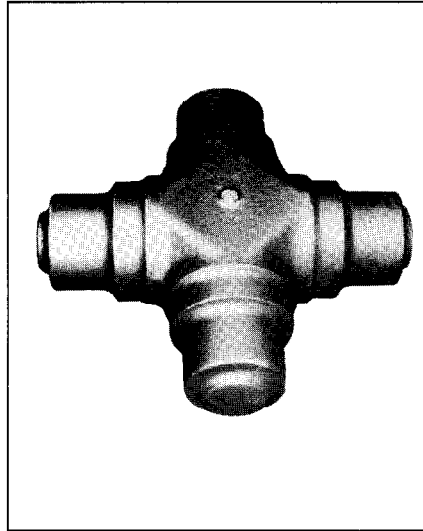


Bild 20: Gesenkgeschmiedetes Zapfenkreuz (66,0 kg) aus 31 CrMo 12 V

Elastische Kupplungen sind in dieser Beziehung noch anpassungsfähiger und können außerdem Stoßbelastungen sanfter ausgleichen. *Bild 17* zeigt eine Kupplungs-nabe, die in vielen Bau-größen und -formen hergestellt wird. Die Form der geschmiedeten Nocken

ist der Fertigform so weit angenähert, daß nur eine geringe mechanische Bearbeitung erfolgt. In manchen Fällen reicht die Genauigkeit der geschmiedeten Nocken aus, so daß eine mechanische Bearbeitung entfällt.

Kreuzgelenkwellen

Gelenkwellen werden eingesetzt, wenn drehende Bewegungen übertragen werden müssen, deren Drehachsen nicht fluchten oder gegeneinander versetzt sind oder deren Achslage sich ständig ändert. Eigentliches Kuppellelement ist das Kreuzgelenk.

Der Flanschnitnehmer nach *Bild 18* ist Teil eines solchen Kreuzgelenkes für eine hochbeanspruchte Gelenkwelle des Maschinenbaues. Der Werkstoff ist 42 CrMo 4, vergütet, Gewicht 52 kg. Die mit Hilfe der Methode der finiten Elemente berechnete optimale Gestalt erforderte ein angepaßtes Schmiedeverfahren, um die im Werkstoff steckenden Möglichkeiten — u. a. durch richtigen Faserverlauf — voll auszuschöpfen. Es wurde eine hohe Dauerschwingfestigkeit erreicht. Die spanabhebende Bearbeitung wurde auf die notwendigen Partien beschränkt.

Der Wellenmitnehmer einer Gelenkwelle aus der gleichen Baureihe ist dargestellt in *Bild 19*. Er ist ebenfalls aus 42 CrMo 4, vergütet, und wiegt 61 kg.

Bild 20 zeigt das Zapfenkreuz eines Kreuzgelenkes für eine schwere Gelenkwelle. Der Werkstoff ist 31 CrMo 12, vergütet, Gewicht 66,0 kg. Im Kreuzgelenk ist das Zapfenkreuz das am höchsten belastete Teil. Der günstige Faserverlauf und die Luokerfreiheit wirken sich hier besonders günstig aus.

Gerade im Bereich mittlerer und schwerer Gelenkwellen machen sich die Vorzüge des Gesenkschmiedestücks voll bemerkbar. Bei vorgegebenen Anschlußmaßen der einzelnen Gelenkwel-lengrößen ist es möglich, gegenüber herkömmlichen Bauformen erheblich höhere Drehmomente zu übertragen.

Bildnachweis:

Bilder 1 bis 5 und 8 bis 20: Siepmann-Werke, Warstein-Belecke;
Bild 6: Krupp Brüninghaus, Werk Werdohl;
Bild 7: Gesenkschmiede Hirschvogel & Co., Denkingen/Obb.