

Pulverpressformgebung magnetischer Werkstoffe – Schlüsseltechnologie für E-Mobilität, nachhaltige Energieerzeugung und Netzinfrastruktur

H.-Ch. Schmidt

DORST TECHNOLOGIES entwickelt und liefert Komplettsysteme zur Formgebung von Seltenerd Magneten, von Hart- und Weichferriten sowie von komplexen SMC-Bauteilen aus pulverförmigen Werkstoffen mit und ohne Magnetisierung.

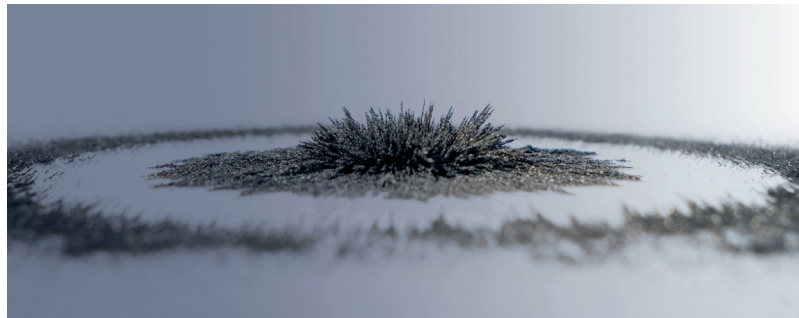


Bild 1 Faszination Magnetismus – ein Kunststück der Natur

Magnetismus hat seit seiner Entdeckung von jeher eine faszinierende, fast mystische Wirkung auf die Menschheit gehabt – eine nicht sichtbare Kraft, spürbar, manchmal flüchtig und doch auch enorm stark. Entdecker und Seefahrer nutzten schon in der Antike natürliches Magneteisen, um Kurs auf neue Ziele halten zu können. Und heute ist es wieder der Magnetismus in elektrischen Antrieben, in medizinischen Geräten, bei Sensoren und Messsystemen, der die Menschheit befähigt, Mobilität neu zu denken, regenerative Energiequellen effizient zu nutzen und bahnbrechende neue Technologien zu entwickeln.

PM-Bauteile für die Bedarfe ihrer Zeit

Die anisotrope Formgebung von magnetischen Pulverwerkstoffen hat im Hause

DORST lange Tradition. Seit mehr als 40 Jahren werden die internationalen Märkte mit kundenspezifischen Lösungen für die Formgebung von Ferriten, Seltenerd Magneten und weichmagnetischen Metalllegierungen bedient.

Der technische Fortschritt sorgte über die Jahre immer wieder dafür, dass zeitweilige Erfolgsprodukte einfach vom Markt verschwanden, im Gegenzug aber immer wieder neue Produkte und Bauteilfamilien entwickelt wurden. So benötigt man bei-

spielsweise kaum noch ferritische Ablenkjoche für Röhrenbildschirme.

Umso mehr steigen dagegen heute die Bedarfe für Antennen, Schirmungen, Drosseln und Entstörfilter durch die zunehmende drahtlose Datenübertragung, Mobilfunk und die Digitalisierung aller Lebensbereiche. Der Ausbau der Ladeinfrastruktur, die dezentrale Stromerzeugung, die Stromverteilung und dessen Speicherung sind ohne hochwertige, gepresste Ferrit- und Magnetbauteile nicht vorstellbar.



Bild 2 Pulvergepresste Bauteile, Ablenkjoche und Spulenkern aus Ferrit

Hans-Christian Schmidt
DORST TECHNOLOGIES GmbH & Co. KG
82431 Kochel am See
www.dorst-technologies.com

Keywords: Seltenerd Magnete, Seltene Erden, Hartferrite, Weichferrite, Soft Magnetic Composites – SMC, Magnetisierung, Inertisierung, Magnetpulverpressen, Sprühtrocknung, Digitalisierung

Das Streben nach CO₂-emissionsfreier Mobilität befördert die rasend schnelle Entwicklung von immer leistungsfähigeren, aber gleichzeitig leichten und kompakten Elektroantrieben auf Basis von Seltenerd Magneten oder sogenannten Soft-Magnetic-Composite-Bauteilen (SMC).

Hart- und Weichferrite

Ferrite (MnZn-Ferrite und NiZn-Ferrite) gehören zu den sogenannten klassischen, keramischen Magneten auf günstiger Materialkostenbasis. Man unterscheidet grundsätzlich zwischen Hart- und Weichferriten. Hartferrite lassen sich gegenüber Weichferriten stärker magnetisieren und können die magnetischen Eigenschaften als sogenannte Permanentmagnete auch erhalten. Typische Anwendungen für weichmagnetische Ferrite sind Spulenkern, Drosseln, Entstörfilter, Mikrowellensysteme und Transformatoren. Hartmagnetische Ferrite finden sich als Dauermagnete in Lautsprechern, Elektromotoren und Sensoren.

Pressfähiges Ferritgranulat ist ideal und kostengünstig durch wasserbasierte Sprühtrocknung mittels Düsenzerstäubung herzustellen. Zur Formgebung kommen immer noch einfache mechanische Axialpressen, aber inzwischen vermehrt moderne, CNC-gesteuerte hydraulische oder servomotorische Pulverpressen zum Einsatz. Mit den aktuellen Pressengenerationen von DORST TECHNOLOGIES der Baureihen EP, EP-M und TPA /4 HP steht den Märkten eine breite Palette von leistungsfähigen, hochgenauen und gleichzeitig energieeffizienten Pulverpressen mit allen bekannten Merkmalen wie Einzel- und Mehrplattenfähigkeit zur Verfügung.

Weichmagnetische Verbundwerkstoffe – SMC

Weichmagnetische Verbundwerkstoffe sind dem gegenüber eine junge Entwicklung aus den 1990er Jahren. Eisenpulver wird dabei mit einer elektrisch nicht leitenden Beschichtung überzogen und in Axialpulverpressen zu komplexen PM-Bauteilen verarbeitet.

Für die elektrische Antriebsentwicklung sehr interessant ist die Möglichkeit durch SMC-Werkstoffe einen 3D-Magnetfluss zu erzeugen. Dadurch können sehr kompakte und gewichtsoptimierte Teile für hoch effiziente Axialflussmaschinen mit hoher

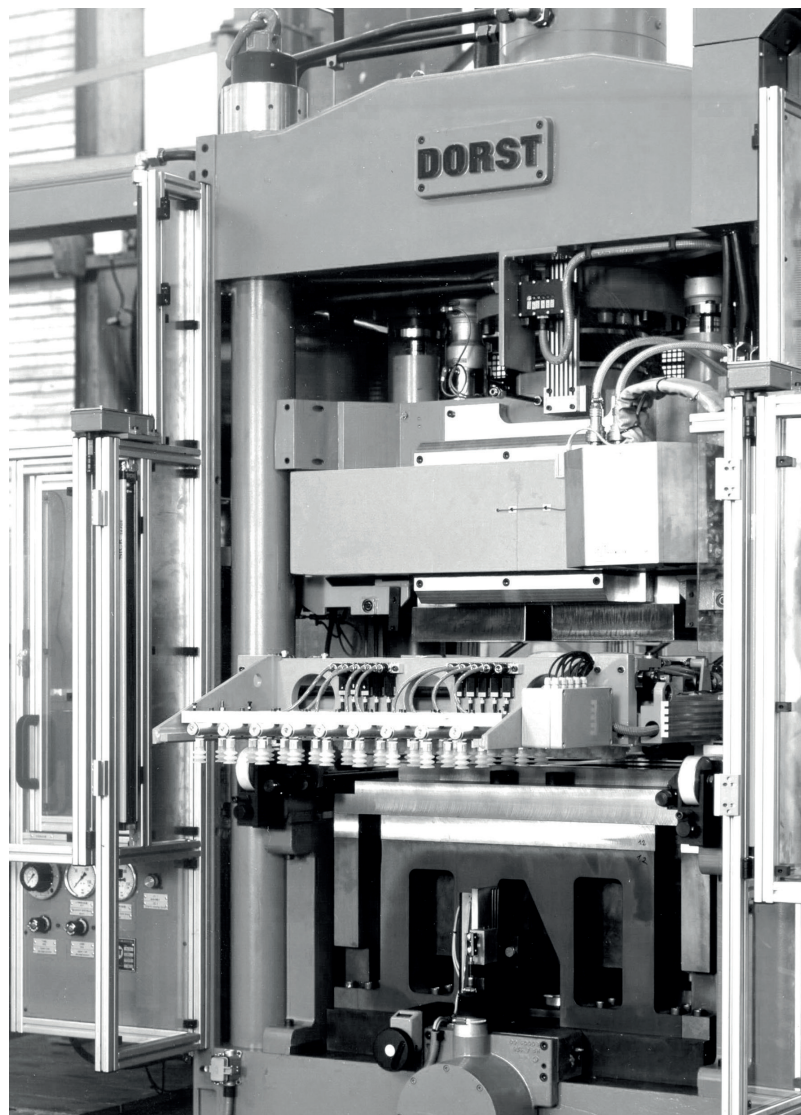


Bild 3 Anisotrope Formgebung im Nasspressverfahren unter Magnetfeld 2008



Bild 4 eMobility als Treiber für Pulverpressteile aus Magnetwerkstoffen (Quelle: Samuel B., stock.adobe.com)

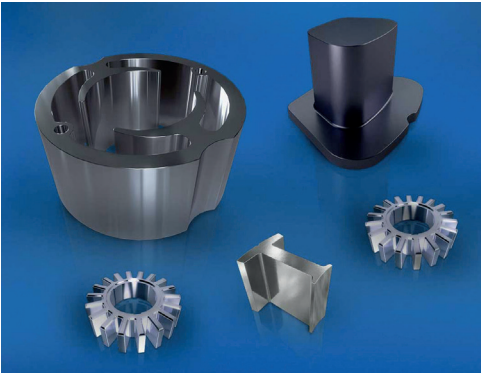


Bild 5 Beispiele für PM-Presssteile aus weichmagnetischem Verbundwerkstoff

Leistungsdichte gebaut werden. Produktionstechnisch können alle Vorteile der pulvermetallurgischen Formgebung moderner CNC-Axialpulverpressen genutzt werden:

- Endkonturnahe Pressformgebung komplexer Bauteil-Geometrien
- Optimaler Materialeinsatz
- Hohe Produktionsleistung im vollautomatisierten Prozess
- Reduzierte Ausschussraten durch hervorragende Prozesskontrolle
- Minimierter Nacharbeit
- Hohe Kosteneffizienz.

DORST TECHNOLOGIES bietet sowohl für einfache als auch komplexe Geometrien von SMC-Presssteilen eine breite Palette von Einzel- und Mehrplatten Axialpulverpressen von 160–20 000 kN an. Bis zu einer Nennpresskraft von 2000 kN dominieren die 100 % rein elektrisch-angetriebenen servomotorischen CNC-Pressen, während ab 2500 kN bis 3000 kN auch hybride Maschinen zur Verfügung stehen. Darüber hinaus vertrauen Kunden aus der PM-Industrie weltweit den bewährten, hydraulischen CNC-Axialpulverpressen von DORST TECHNOLOGIES mit bekannt höchstwertigen Werkzeug-Adaptoren und standardmäßig integrierter Roboterautomation.



Bild 7 Gesinterte NdFeB-Magnete für höchste Leistungsdichten



Bild 6 Hybride Mehrplatten CNC-Axialpulverpresse TPA300 HPE

Seltenerd Magnete

Die stärksten Magnete mit der höchsten sinnvoll nutzbaren Energiedichte sind Seltenerd Magnete auf Basis von Metalllegierungen wie Neodym–Eisen–Bor und Samarium–Kobalt. Letztere sind insbesondere für Anwendungen bei höheren Temperaturen bis 300 °C gut geeignet. Darüber hinaus werden noch eine ganze Reihe anderer Elemente des Periodensystems für pulvermetallurgisch hergestellte Magnete eingesetzt. Typische Beispiele aus der Familie der Seltenern Erden sind Lanthan, Cer, Praseodym, Europium, Gadolinium, Terbium, Dysprosium, Holmium, Erbium, Thulium, Ytterbium, Lutetium, Scandium und Yttrium. Für einfache Anwendungen und Massenware sind Magnete aus Al–Ni–Co-Legierungen weit verbreitet.

Das Axialpulverpressen ist neben dem isostatischen Pressen das am meisten verbreitete Verfahren zur Formgebung solcher Hochleistungsmagnete. Aufgrund der sehr hohen Energiedichte auf kleinstem Bau-

raum sind Seltenerd Magnete erste Wahl für alle Arten von elektrischen Motoren, Generatoren, Stellantrieben, Kupplungen und ähnlichen Funktionsbaugruppen. Damit sind Seltenerd Magnete unverzichtbar für den Wachstumsmarkt E-Mobilität und alle Arten elektrisch-basierter Automotive Lösungen.

Weitere wichtige Anwendungen finden sich in der Medizintechnik, bei Windkraftanlagen, in der zivilen und militärischen Luftfahrt, in der Verteidigungstechnik sowie der Raumfahrt.

Pulverpressen unter Magnetfeld

Die Aufbereitung von Presspulvern für Seltenerd Magnete ist anspruchsvoll und erfordert eine präzise Prozesskontrolle beim Mischen und Mahlen der Rohstoffe. Eine reproduzierbare, feine Kornverteilung gewährleistet beim Pressen unter Magnetfeld die gewünschte Ausrichtung der Partikel entlang der Feldlinien. Die so erzeugte An-

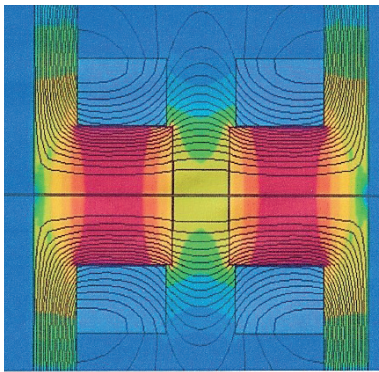


Bild 8 FEM-Berechnung des magnetischer Flusses in einer Spule

isotropie des Pressteils ist ausschlaggebend für die späteren magnetischen Eigenschaften und die Qualität.

In bestimmten Fälle kann ein äußerlich anliegendes Magnetfeld auch zur Verbesserung des Pulverflusses und damit zur besseren Füllung der Pressmatrize heran gezogen werden. Inhomogenitäten in der Pulverfüllung lassen sich unter Ausnutzung des Magnetfelds so elegant eliminieren. Pulverpressen unter Magnetfeld ist im Einfach- als auch im Mehrfach-Kavitäten-Werkzeug möglich.

Magnetspulen-Gestaltung mittels FEM

Das Herzstück jeder Seltenerd Magnetpulverpresse ist die Magnetisierungsspule. Die Spulen samt Weicheisenjoch werden auf den jeweiligen Anwendungsfall und den Kundenwunsch entsprechend spezifisch ausgelegt. Im Einzelnen besteht das Magnetisierungssystem immer aus Spule, Joch, Kühlsystem und Gleichrichter.

Die Bauteilgeometrie und der spätere Anwendungsfall bestimmen die Orientierung des anzulegenden Magnetfelds und damit die Anordnung der Spulen im Arbeitsraum der Presse. Bei transversalem Magnetfeld quer zur Pressrichtung erlauben geregelte Magnetpulverpressen von DORST TECHNOLOGIES, die Magnetspulen sowohl stationär als auch mit der Matrize mitfahrend zu gestalten. Der gesamte Ablauf ist bedienerfreundlich in der Pressvisualisierung zu programmieren. Natürlich sind auch Spulenordnungen für die radiale und axiale Magnetisierung möglich.

Mit Hilfe der Finite-Elemente-Methode lassen sich Spulendimensionierung und Magnetfluss sehr gut optimieren. FEM erlaubt

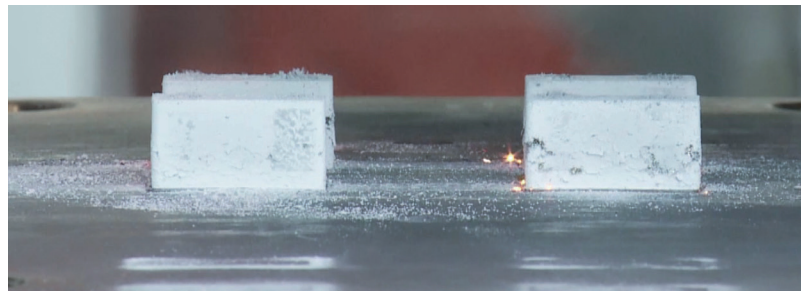


Bild 9 Sonderlösung Magnetherstellung durch plastisches Heißpressen

es, Verlustleistungen gering zu halten und wichtige Potentiale zur Energieeinsparung für den Betrieb von Magnetpulverpressen zu entwickeln.

Inertisierung

Seltenerd Magnetpulver und Pressteile reagieren stark mit Sauerstoff. Die Oxidation ist einerseits nachteilig für die magnetischen Eigenschaften und stellt andererseits eine große Gefahr bezüglich spontaner Entzündung während der Verarbeitung dar. Daher ist es dringend angeraten, alle Schritte von der Pulverzuführung, über die Pressformgebung bis zur Pressteilmanipulation unter einer Schutzgasatmosphäre durchzuführen. Üblich sind hier Stickstoff oder Argon.

Seltenerd Magnetpulverpressen werden mit maßgeschneiderten, gasdichten Schutzeinrichtungen, entsprechenden Überwachungseinrichtungen und Sicherheitsstrategien von DORST TECHNOLOGIES geliefert.

Integrierte Automation

Moderne Magnetpulverpressen müssen als vollständig integrierte und digitalisierte Produktionssysteme betrachtet werden. Das heißt, dass neben Pulverzuführung, Pressformgebung unter Magnetfeld und Schutzgas-Einhausung die Pressteilautomation ebenso fester Bestandteil der Anlage ist. DORST TECHNOLOGIES bevorzugt wie bei konventionellen Aufgabenstellungen den Einsatz von Standard-Robotern mit anwendungsspezifischen Greifer-Systemen.

Kundenspezifische Lösungen aus einer Hand

Anfragen zu Magnetpulverpressen werden aus dem Standard-Lieferprogramm von DORST TECHNOLOGIES für hydraulische und servomotorische CNC-Pressen bedient, wodurch hohe Zuverlässigkeit aus langjähriger Felderfahrung, der Einsatz von

bekannter Systemtechnik und gute Ersatzteilverfügbarkeit gewährleistet werden. Die prozessbedingten Besonderheiten und der benötigte, größere Bauraum für die Magnetisierungsspule werden bei Bedarf mittels spezieller Pressenarchitekturen abgedeckt.

Waren in früheren Jahren Magnetpulverpressen häufig nur Rumpfmachines, die von den Kunden in Eigenregie aufgerüstet wurden, stehen heute dediziert kundenspezifische Lösungen aus leistungsfähiger Presse mit anwendungsspezifischer Magnetisierungsspule, Inertisierung und passender Pressteilautomation aus der Hand eines Lieferanten im Mittelpunkt.

Speziellösungen für Seltenerd Magnete, beispielsweise Verfahren ähnlich dem Gesenk-Stauch-Verfahren mit Heißpressen, sind bereits realisiert worden.

Zusammenfassung und Ausblick

Die aktuellen und zukünftigen Marktchancen für gesinterte Magnete, SMC-Komponenten und Ferritbauteile werden weltweit als sehr positiv eingeschätzt. Allein die Bedarfe der E-Mobilität, einschließlich Ladeinfrastruktur, aber auch der regenerativen Stromerzeugung und der robusten Stromverteilung, sind immens.

Marktführer ist China mit ca. 86 % Marktanteil bei gesinterten NdFeB-Magneten. Aber auch in Europa und USA sind aktuell, zunehmend Bestrebungen, die Produktion von Magneten wieder verstärkt national zu betreiben, zu beobachten. Der Druck entsteht aus der Notwendigkeit der Diversifizierung von Lieferketten für systemrelevante Zukunftstechnologien.

DORST TECHNOLOGIES bietet dazu das umfangreichste und modernste Maschinenprogramm für Magnetpulverpressen und magnetische Pulverformgebung auf dem Markt. Wasserbasierte Sprühtrockner für ferritische Werkstoffe runden das Leistungspaket ausgehend von der Pulveraufbereitung ab.