

Any shape. Anytime. Anywhere.

Whitepaper

Part Property Management (PPM): Standardisierung und Vergleichbarkeit von Bauprozessen und -ergebnissen



e-Manufacturing Solutions

EOS GmbH Electro Optical Systems, Robert-Stirling-Ring 1, D-82152 Krailling bei München
Telefon +49 89 893 36-0, Telefax +49 89 893 36-285, www.eos.info

Laser-Sintern: Schlüsseltechnologie für das e-Manufacturing

EOS bietet mit dem Laser-Sintern eine Schlüsseltechnologie für e-Manufacturing an – die schnelle, flexible und kostengünstige Produktion direkt aus elektronischen Daten. Kunststoff- und Metallkomponenten werden hiermit professionell gefertigt – unter anderem für so anspruchsvolle Branchen wie die Medizintechnik, den Werkzeugbau und die Luft- und Raumfahrt.

Entscheidend für den Einsatz eines Fertigungsverfahrens im Rahmen der Lösung einer technischen Aufgabestellung ist in der Regel ein attraktives Verhältnis von Qualität zu Fertigungskosten. Die Fertigungskosten sind bei einigen – insbesondere formgebundenen – Verfahren stark von der benötigten Stückzahl abhängig. Beim Laser-Sintern ist das nicht der Fall. Des Weiteren lassen sich beim Laser-Sintern deutlich komplexere Bauteile fertigen, als man dies von konventionellen Verfahren gewohnt ist. Hierdurch lassen sich oft die Funktionalitäten mehrerer konventionell gefertigter Teile oder ganzer Baugruppen in einem einzigen Laser-Sinter Teil darstellen. So bietet e-Manufacturing oft noch bei Stückzahlen im 5-stelligen Bereich signifikante Einsparungspotenziale, die man an dieser Stelle nicht erwarten würde.

Mit dem heutigen Stand der Technik bietet e-Manufacturing für die Anforderungen vieler, auch anspruchsvoller Anwendungen Qualität auf hohem bis sehr hohem Niveau und erfüllt damit die wichtigsten Voraussetzungen, um als Herstellungsverfahren ausgewählt zu werden. So ist heute zunehmend der Einsatz des Laser-Sinterns für die Herstellung von Serienkomponenten zu beobachten. Einzelne Unternehmen verfügen bereits über umfangreiche Erfahrungen mit laser-gesinterten Bauteilen und fertigen per e-Manufacturing für Anwendungen wie z. B. Medizingeräte und Operationshilfen, Greifelemente im Bereich Robotik, Lampenschirme oder Architekturmodelle, Werkzeuge für den Spritz- und Druckguss oder sogar Zahnersatz und Implantate. Dennoch wird, gemessen an seinen Potentialen, Laser-Sintern heute noch zu selten als Fertigungsverfahren in Erwägung gezogen.

Gründe dafür sind neben dem immer noch nicht flächendeckenden Bekanntheitsgrad der Technologie häufig in dem Fehlen oder der ungenügenden Verfügbarkeit und Zugänglichkeit von Standards und Daten zu suchen. Üblicherweise definiert der Konstrukteur das zu verwendende Fertigungsverfahren gleich zu Beginn des Konstruktionsprozesses. Mangelt es in dieser Phase an Materialkennwerten, die die Eigenschaften der zu produzierenden Bauteile vorhersagbar machen, wird das Laser-Sintern oft nur für die Erzeugung von Prototypen zugelassen.

Standardisierung und Vergleichbarkeit von Bauprozessen und –ergebnissen

Der Laser-Sinter-Prozess ist in den heute verfügbaren Systemen mit zentral entwickelten und erprobten Parametersätzen implementiert. Historisch, durch die Herkunft vom Rapid Prototyping bedingt, waren diese Parametersätze auf gleichmäßige Eignung für möglichst viele und vielfältige Applikationen ausgelegt. Eine Fall-zu-Fall Anpassung dieser Parametersätze war daher oft von Vorteil oder gar nötig. Im Prototyping ist diese Flexibilität Grundlage für pragmatische Lösungen und damit ein wichtiger Erfolgsfaktor. Bei Serienfertigungsprozessen dagegen offenbart dieser Weg Schwächen. Neben den generellen Vorteilen von Standards in der Serienfertigung werden durch eine fallweise Parameteranpassung natürlich die Teileeigenschaften immer in vielerlei Hinsicht beeinflusst. Dabei kann Bestimmung und Festlegung der einzelnen Parameter ob ihrer hohen Zahl und mannigfaltigen Wechselwirkungen sehr komplex sein.

Die Veränderung einzelner Parameter zum Zwecke der Optimierung von Teilzielen zieht, wie üblich bei komplexen Systemen, leicht unerwünschte und überraschende Nebenwirkungen nach sich. Die Entwicklung stabiler, ausgewogener Parametersätze erfordert daher systematische Untersuchungen, die mit vielen und umfangreichen Testreihen und damit nicht vernachlässigbaren Kosten einher gehen. In bestimmten Fällen kann dieser Aufwand für den einzelnen Fertiger lohnend sein. Zum Beispiel, um sich durch Spezialisierung vom Wettbewerb abzuheben. In der Mehrzahl der Fälle lässt sich jedoch weitaus effizienter mit Hilfe von zentral entwickelten und erprobten Standards arbeiten.

EOS hat diesen Gedanken aufgegriffen. Standardisierte Parametersätze mit jeweils markantem Einsatzprofil wurden entwickelt und EOS stellt die Verfügbarkeit und Zugänglichkeit der zugehörigen Materialkennwerte sicher. Ein wichtiges Ziel hierbei war, die Einsetzbarkeit dieser Profile unabhängig vom benutzten Laser-Sinter-System sowie dem fertigenden Betrieb zu ermöglichen.

Part Property Profiles (PPPs)

Über sogenannte Part Property Profiles (PPP's) bietet EOS ab sofort diese Standardisierung für alle Systeme an. Sie liefern belastbare Werte für die Auslegung von Laser-Sinter-Konstruktionen. Dazu gehören unter anderem Werte für Zugfestigkeiten, Bruchdehnungen und E-Moduli für die horizontale, schichtparallele X/Y-Richtung. Werte für die vertikale, schicht-orthogonale Z-Richtung, bisher eher unüblich in der Branche der Schichtbauverfahren, gehören nun ebenfalls zum Standard.

Die PPPs und ihre Einsatzfelder am Beispiel von Kunststoff Laser-Sintern

Die Definition der PPPs leitet sich aus typischen Anforderungsprofilen ab, wie sie heute regelmäßig nachgefragt werden. Bei jedem zu fertigenden Teil sind mit jeweils unterschiedlichem Grad und Schwerpunkt gewisse qualitätsrelevante Anforderungen bezüglich Oberflächengüte, Mechanik, Genauigkeit, Detailauflösung zu erfüllen, um nur die wichtigsten zu nennen. Neben Qualitätszielen sind in aller Regel auch Kostenziele vorgegeben. Da Anforderungen an einerseits hohe Qualität und andererseits niedrige Kosten meist miteinander im Konflikt stehen, ist ein optimaler Kompromiss teilespezifisch zu finden. Die fünf PPPs, denen fünf Parametersätze entsprechen, adressieren daher verschiedene Anforderungsprofile, mal schwerpunktmäßig die Kosten, mal verschiedene Qualitätsausprägungen oder eben sorgfältig ausgewogene Kompromisse.

TopSpeed, Schichtstärke 180 μm

TopSpeed ist ein sehr ökonomischer Parametersatz für Bauteile mit mittlerer bis hoher Qualitätsanforderung und mechanischer Belastung bei gleichzeitig hohem Kostendruck. Besonders große und relativ dickwandige Bauteile können meist ohne spürbare Beeinträchtigung von den hohen Aufbauraten bei dieser Schichtdicke profitieren. Gegenüber der heute üblichen Schichtdicke von 120 μm (EOSINT P730) reduzieren sich die Fertigungskosten um typischerweise 15 – 20 Prozent. Diese Schichtstärke eignet sich darüber hinaus hervorragend für verzugskritische Bauteile, wodurch sich hohe Genauigkeiten erzielen lassen.



Speed, Schichtstärke 150 μm

Der Parametersatz Speed arbeitet mit der klassischen Schichtstärke 150 μm (EOSINT P390), die ob ihrer Allroundqualitäten beliebt und weit im Markt verbreitet ist. Bei etwas erhöhter Oberflächenqualität gegenüber TopSpeed liegen die Fertigungskosten gegenüber dem heutigen 120 μm Standard um typischerweise 10 – 15% niedriger.



Balance, Schichtstärke 120 µm

Die Stärke des Parametersatzes Balance ist seine Ausgewogenheit. Er bietet bei 120µm Schichtdicke eine optimale Balance zwischen Fertigungskosten, Mechanik, Oberflächenqualität und Genauigkeit. Er eignet sich so für Bauteile unterschiedlichster Geometrien, Größen und Anforderungen.



Performance, Schichtstärke 100µm

Performance ist der Parametersatz der Wahl für Bauteile mit hohen Anforderungen an Mechanik und Bruchverhalten, insbesondere wenn Belastungen mehrachsig in allen drei Raumrichtungen aufzunehmen sind. Performance-Bauteile zeichnen sich durch isotrope Festigkeit und Steifigkeit auf höchstem Niveau aus. Die feine Auflösung, die die gewählte Schichtdicke von 100µm mit sich bringt, liefert zudem sehr hohe Oberflächengüte und Detailauflösung.



TopQuality, Schichtstärke 60 µm

In eine ganz neue Region stößt Laser-Sintern mit dem Parametersatz TopQuality vor. Sehr kleine bis mittelgroße Bauteile mit extrem feinen, fragilen Geometrien und Geometrieelementen und höchsten Anforderungen an die Oberflächenqualität sind das Einsatzgebiet dieses Parametersatzes. Er arbeitet bei einer Schichtauflösung von 60µm, was in der Größenordnung der Korngröße heute üblicher Kunststoffpulver liegt. Der typische Stair-Step-Effekt an nach oben und unten weisenden Geometrieelementen ist bei TopQuality Bauteilen praktisch nicht mehr wahrnehmbar. Die Mechanik von TopQuality-Bauteilen liegt dabei erfreulich dicht am Performance-Niveau.



Die PPPs Balance, Performance und Top Quality sind für alle EOSINT P und FORMIGA Systeme verfügbar, TopSpeed und Speed für EOSINT P760 und EOSINT P395. Die vollständige Charakteristik der Part Property Profiles wird EOS auf M-Base, einer in der Kunststoff Industrie etablierten öffentlichen Datenbank zugänglich machen. Erreichbar ist diese über die EOS Homepage www.eos.info – dort klicken Sie bitte

auf den entsprechenden Link zum MaterialDataCenter und wählen in der Datenbank die Firma EOS aus, um zu den PPP's zu gelangen.

PPPs für Direktes Metall-Laser-Sintern (DMLS)

Für das Direkte Metall-Laser-Sintern (DMLS) auf EOSINT M 270 Systemen werden ähnliche Parameter Sets angeboten. Jeder Werkstoff hat ein Standard- oder Referenz-Parameter Set mit entsprechenden Part Property Profiles. Diese PPPs umfassen typischerweise, je nach Anwendungsrelevanz, folgende Gruppen von Eigenschaften:

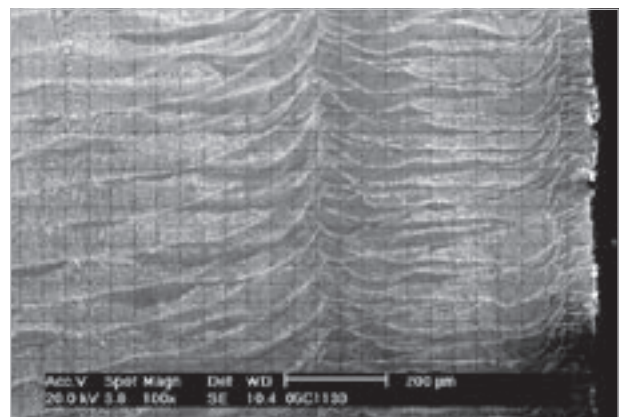
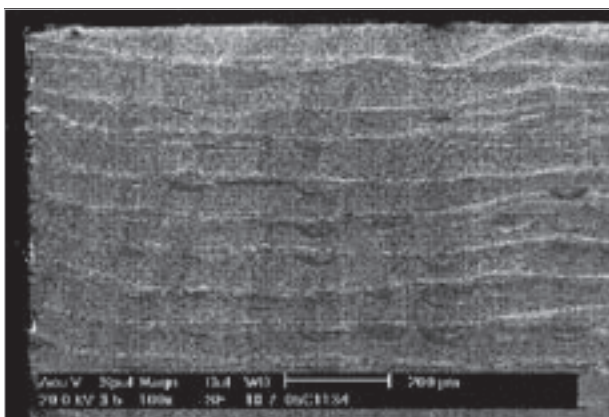
- geometrische Eigenschaften wie minimale Wandstärke und Oberflächenrauigkeit
- mechanische Eigenschaften wie Zugfestigkeit, Streckgrenze, Bruchdehnung, E-Modul und Härte, ggf. auch dynamische Lebensdauer
- thermische Eigenschaften wie Wärmeleitfähigkeit, spezifische Wärmekapazität, Wärmeausdehnungskoeffizient
- wirtschaftliche Eigenschaften wie Aufbauraten (mm^3/s)

Wo relevant werden diese Eigenschaften für unterschiedliche Zustände angegeben, z. B. vor und nach definierten Wärmebehandlungen. Diese PPP's sind den jeweiligen Materialdatenblättern zu entnehmen, die auf Anfrage von EOS erhältlich sind. Für die Werkstoffe EOS StainlessSteel GP1, EOS StainlessSteel PH1, EOS MaragingSteel MS1 und EOS CobaltChrome MP1 werden jeweils Parameter Sets für $20\mu\text{m}$ und $40\mu\text{m}$ Schichtstärken angeboten. Die $20\mu\text{m}$ Parameter bieten bessere Oberflächenqualität und Detailauflösung, die $40\mu\text{m}$ Parameter bieten schnellere Aufbauraten. Die mechanischen und thermischen Eigenschaften sind in der Regel für beide Parameter Sets nahezu identisch.

SEM-Mikroaufnahmen von EOS CobaltChrome MP1 Bauteilen, gebaut mit unterschiedlichen Parameter Sets.

Links: mit $20\mu\text{m}$ Schichtstärken im ganzen Körper.

Rechts: mit $40\mu\text{m}$ Schichtstärken im Kern für schnellen Aufbau, kombiniert mit $20\mu\text{m}$ Schichtstärken in Hülle- und Konturbereichen für hohe Oberflächenqualität. In beiden Fällen wird das Metall voll aufgeschmolzen und die resultierenden Bauteile sind nahezu porenfrei

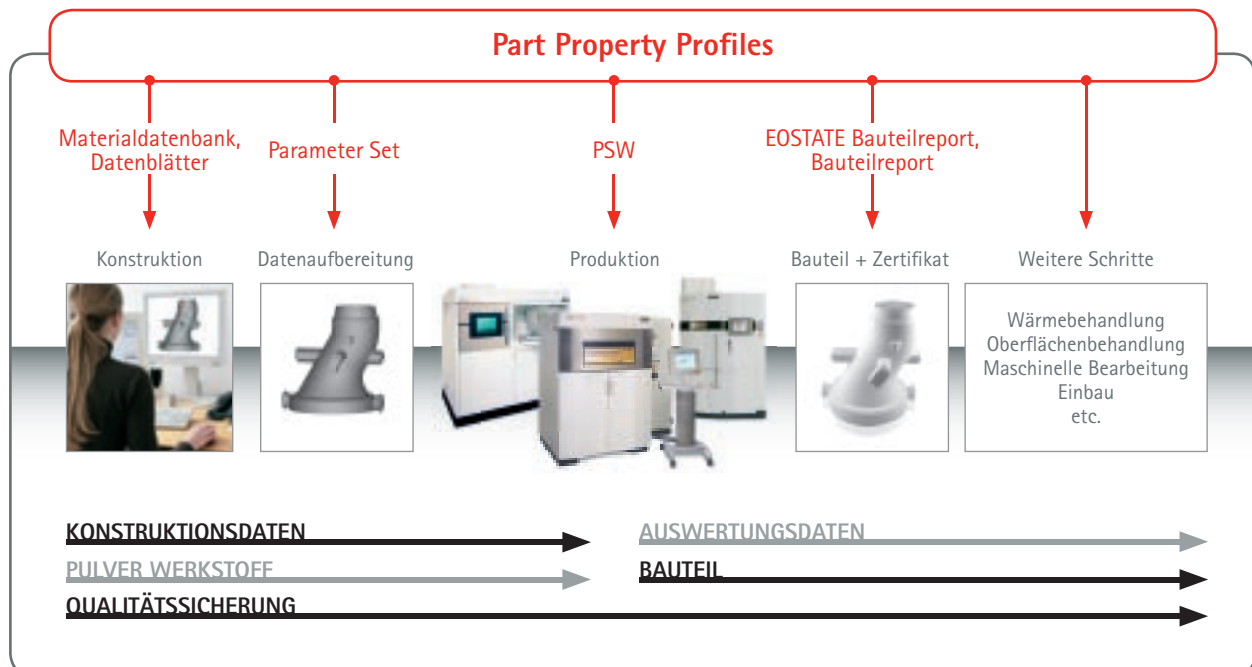


Neue, innovative Hard- und Softwarelösungen verstärken die PPPs

Die neuen Systeme EOSINT P760 und EOSINT P395 – beides Evolutionsstufen der bewährten 7er und 3er Reihen – sind zur optimalen Unterstützung der PPP-Strategie optional mit erheblich verbesserten Prozessmodulen ausrüstbar.

Ein komplett überarbeitetes Laser-Optik-Modul (**Surface Modul**) hebt die Güte senkrechter Teileoberflächen in Bereiche, wie sie bisher FORMIGA Teilen vorbehalten waren. Für die beiden PPP's mit dem höchsten Qualitätsanspruch, „Performance“ und „TopQuality“, ist das Surface Modul daher obligatorisch. Für die PPPs „TopSpeed“, „Speed“ und „Balance“ ist es eine sehr empfehlenswerte Option.

Die **OnlineLaserPowerControl (OLPC)** überwacht und regelt die Laserleistung während des Baubetriebes. Durch die extrem hohe Zeitauflösung des Sensors von wenigen Mikrosekunden kann so eine für CO2 Lasersysteme bisher nicht realisierbare Konstanz der Laserleistung erreicht werden. Sie kommt so den Anforderungen anspruchsvoller Anwendungen nach Closed Loop Prozesskontrolle nach. Die EOSINT P760 kann optional mit OLPC ausgerüstet werden. Für eine optimale Ausnutzung besonders der Potentiale der PPP's „Performance“ und „TopQuality“ empfiehlt EOS den Einsatz der OLPC.



FlashRecoating, eine neue X-Achsenansteuerung, steigert beim Einsatz der „Top-Speed“ und „Speed“ Parametersätze zusätzlich die Produktivität durch Anhebung der Beschichtungsgeschwindigkeit auf bis zu 400 mm/s. Bei guter Packungsdichte sind so Aufbauraten von bis zu 700 cm³/h realistisch. FlashRecoating ist für die EOSINT P760 verfügbar.

Auch die Beschichtungseinheit der EOSINT P395 wurde weiterentwickelt. Das 2007 bei der EOSINT P730 eingeführte und sehr bewährte Klingenkassetten-Konzept, das einfache Justage und unkomplizierten Schichtdickenwechsel ermöglicht, kommt nun im Zuge der PPP Einführung auch bei der EOSINT P395 zum Einsatz.

Die neue EOSTATE 1.2 Version reagiert mit ihren neuen und vielfältigen Report- und Analyse-Angeboten zudem auf die gestiegenen Anforderungen der Serienfertigungsprozesse in Punkto Transparenz und durchgängiger Qualitätssicherung. Sie ergänzt sich so ideal mit den Part Property Profiles.

Zusammenfassung

Die Einführung der EOS PPP's bringt eine Fülle von Vorteilen für alle Beteiligten der e-Manufacturing Supply Chain. An ihrem Anfang zeigen sich diese für den Konstrukteur, der nun jederzeit Zugriff hat auf standardisierte Eigenschaftsprofile sowie die zugehörigen auslegungsrelevanten Materialkennwerte. Einkauf und Anbietersteller profitieren von den klar definierten Qualitätsniveaus. Sie machen Angebote vergleichbar, die Angebotserstellung effizienter und eliminieren teure Missverständnisse. In den Teilprozessen Datenaufbereitung und Produktionsplanung auf Fertigerseite wirken die PPP's ebenfalls effizienzsteigernd und kostensenkend. Weitere Teile der Datenaufbereitung können automatisiert werden, da die Zuordnung der Parametersätze durch die Wahl des PPP bereits vom Konstrukteur vorgegeben ist. Die System-übergreifende Gültigkeit der PPP's schafft Flexibilität in der Produktionsplanung. Schließlich profitieren auch die Qualitätssicherungsprozesse von definierten Standards und verbesserter Transparenz.

Laser-Sintern macht so einen weiteren großen Schritt hin zu einem voll etablierten Produktionsverfahren, das aufgrund seiner einzigartigen Stärken etablierte Produkte und Prozesse verbessern helfen und ganz neue Produkte erst ermöglichen wird.

Authors



Thomas Mattes, Vice President

Technical Management P and Crossfunctions

Thomas Mattes hat einen Abschluss in Maschinenbau/Luft- und Raumfahrt Technologie von der Technischen Universität München, Institut für Leichtbaudesign. Seine Diplomarbeit befasste sich mit einer neuen Berechnungsmethode für anisotrope Faserverbund-Komponenten.

Mattes kam als Systementwickler 1994 zu EOS. In dieser Rolle war er zuständig für die grundsätzliche Konzeptionierung und die Entwicklung der ersten Generation von Metal Laser-Sinter Systemen und der S-Technologie. Zur gleichen Zeit übernahm er auch noch die Projektleitung für die Entwicklung der EOSINT P 700. Seit 1998 leitet Mattes die Entwicklungsabteilung. Dazu gehören die Bereiche Systeme, Materialien und Software. Seit 2006 ist er als Vice President Technical Management P zudem Leiter der Bereiche Software-Entwicklung, Qualitätsmanagement und systemübergreifende Produktion.

Mattes hat mehr als 15 Jahre Erfahrung in der Rapid Prototyping und Rapid Manufacturing Industrie. Er hat bereits eine Reihe von Artikeln über Rapid Prototyping veröffentlicht und darüber sowie über andere – mit dem Laser-Sintern verbundene Themen – referiert.



Florian Pfefferkorn, Product Manager

Florian Pfefferkorn studierte Maschinenbau an der Fachhochschule München, Deutschland, wo er seine Diplomarbeit zum Thema „Produktionsplanung und -steuerung in der Gießereiindustrie“ schrieb.

Nach zwei Jahren im Qualitätsmanagement für die Ariane-5-Booster-Produktion kam er 2001 zur EOS GmbH und entwickelte dort Kundenanwendungen für das Kunststoff-Laser-Sintern.

2003 wurde er Gruppenleiter im Product Support für das Kunststoff-Laser-Sintern und 2005 Produktmanager für die EOS-Produktlinie „Kunststoff-Laser-Sintern“. Er besitzt mehr als 8 Jahre Erfahrung in der Rapid Prototyping & Manufacturing Branche.