



# LaserForm Ti Gr23 (A)

Titanlegierung, fein abgestimmt auf die Verwendung mit den 3D-Metalldruckern DMP Flex 100, DMP Flex 200, DMP Flex 350, DMP Factory 350, DMP Flex 350 Dual, DMP Factory 500 und DMP Factory 350 Dual von 3D Systems. Produziert technische und medizinische Teile mit einer Kombination aus hoher spezifischer Festigkeit und ausgezeichneter Biokompatibilität. LaserForm Ti Gr23 (A) ist vom Typ ELI (extra low interstitial) mit niedrigerem Eisen-, Kohlenstoff- und Sauerstoffgehalt und ist bekannt für eine höhere Reinheit als LaserForm Ti Gr5 (A), was zu einer verbesserten Duktilität und Bruchzähigkeit führt.

LaserForm Ti Gr23 (A) ist so zusammengesetzt, dass es höchste Bauteilqualität und beste Bauteileigenschaften bietet. Die Druckparameter-Datenbank, die 3D Systems zusammen mit dem Werkstoff bereitstellt, wurde in den Teileproduktionsanlagen von 3D Systems umfassend entwickelt, getestet und optimiert. Dort verfügt man durch jährliche 3D-Druck-Produktion von mehr als 1.000.000 anspruchsvollen Teilen über ein einzigartiges Fachwissen. Basierend auf einer Vielzahl von Testproben bieten die unten aufgeführten Eigenschaften dem Benutzer ein hohes Vertrauen in Bezug auf die Wiederholbarkeit von Auftrag zu Auftrag und von Maschine zu Maschine. Die Verwendung von LaserForm-Werkstoffen ermöglicht dem Benutzer eine gleichbleibende und zuverlässige Teilequalität.

## Materialbeschreibung

Diese Titanlegierung wird aufgrund ihrer hohen Festigkeit, geringen Dichte und ausgezeichneten Biokompatibilität häufig in der Luft- und Raumfahrt sowie in medizinischen Anwendungen verwendet. Der wesentliche Unterschied zwischen Ti6Al4V ELI (Klasse 23) und Ti6Al4V (Klasse 5) ist die Reduzierung des Sauerstoffgehalts auf 0,13 % (Maximum) in Klasse 23. Dies verleiht eine verbesserte Duktilität und Bruchzähigkeit, bei einer geringfügig niedrigeren Festigkeit.

Diese Vorteile machen LaserForm TiGr23 (A) zur am häufigsten verwendeten Titansorte für Medizin sowie Luft- und Raumfahrt. Aufgrund seiner Biokompatibilität kann der Werkstoff in biomedizinischen Anwendungen wie chirurgischen Implantaten, kieferorthopädischen Geräten und Gelenkersatz verwendet werden.

## Klassifizierung

Teile aus LaserForm Ti Gr23 (A)-Legierung haben eine chemische Zusammensetzung, die den Standards ASTM F3001, ASTM F3302, ISO 5832-3, ASTM F136 und ASTM B348 entspricht.

## Mechanische Eigenschaften

DMP FLEX 350, DMP FACTORY 350 – LT 30, 60, 90 <sup>1, 4, 5, 6, 7</sup>	TESTMETHODE	METRISCH		U.S.	
		SR <sup>3</sup>	HIP <sup>2</sup>	SR <sup>3</sup>	HIP <sup>2</sup>
Äußerste Zugfestigkeit (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	1060 ± 15	990 ± 25	154 ± 2	144 ± 4
		1060 ± 15	990 ± 30	154 ± 2	144 ± 4
Streckgrenze Rp 0,2 % (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	970 ± 15	890 ± 30	141 ± 2	129 ± 4
		960 ± 20	900 ± 50	139 ± 3	130 ± 7
Plastische Dehnung (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	15 ± 3	17 ± 3	15 ± 3	17 ± 3
		15 ± 2	17 ± 4	15 ± 2	17 ± 4
Flächenverringerng (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	40 ± 8	46 ± 9	40 ± 8	46 ± 9
		44 ± 7	48 ± 6	44 ± 7	48 ± 6
Ermüdung (MPa   ksi)	ASTM E466	Typisch 640	k.A.	Typisch 92	-

DMP FLEX 350 DUAL, DMP FACTORY 350 DUAL – LT 30, 60, 90 <sup>5, 7, 8</sup>	TESTMETHODE	METRISCH		BRITISCH	
		SR <sup>2</sup>	HIP <sup>3</sup>	SR <sup>2</sup>	HIP <sup>3</sup>
Äußerste Zugfestigkeit (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	1045 ± 15	955 ± 20	152 ± 2	138 ± 3
		1040 ± 10	960 ± 20	152 ± 2	139 ± 3
Streckgrenze Rp 0,2 % (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	940 ± 20	845 ± 20	135 ± 3	123 ± 3
		950 ± 40	835 ± 20	137 ± 4	121 ± 3
Plastische Dehnung (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	19 ± 4	17 ± 4	19 ± 4	17 ± 4
		19 ± 3	19 ± 3	18 ± 3	19 ± 3
Flächenverringerng (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	50 ± 10	45 ± 5	50 ± 10	45 ± 5
		50 ± 10	45 ± 5	50 ± 10	45 ± 5

<sup>1</sup> Teile, die mit Standardparametern auf einem DMP Flex und Factory 350 hergestellt wurden, Konfiguration A

<sup>2</sup> Werte auf der Grundlage eines Mittelwerts und 95-%igem Toleranzintervall mit 95-%iger Sicherheit

<sup>3</sup> Werte basieren auf einem begrenzten Datensatz

<sup>4</sup> Getestet nach ASTM E8M mit rundem Zugtest-Probekörper des Typs 4

<sup>5</sup> Getestet nach ASTM E8 mit rundem Zugtest-Probekörper des Typs 4

<sup>6</sup> Zwangsgesteuerte axiale Ermüdungstests (R=0,1). Ermüdungsgrenze bei 5 x10<sup>6</sup> Zyklen. Ermüdungsproben mit bearbeiteter Oberfläche. Die Werte basieren auf begrenzten Stichproben und sind rein informativ

<sup>7</sup> NHT: Nicht hitzebehandelte Bedingung; SR: spannungsarme Bedingung; HIP:

heiß isostatisch gepresste Bedingung

<sup>8</sup> Teile, die mit Standardparametern auf einem DMP Flex und Factory 350 Dual hergestellt wurden, Konfiguration A, mit Schichtstärken von 30, 60 und 90 µm

<sup>9</sup> Teile, die mit Standardparametern auf einem DMP Factory 500 hergestellt wurden, mit einer Schichtstärke von 60 µm (LT60)

## Mechanische Eigenschaften

DMP FACTORY 500 – LT 60 <sup>2, 5, 7, 9</sup>	TESTMETHODE	METRISCH		BRITISCH	
		NHT	SR	NHT	SR
Äußerste Zugfestigkeit (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	1310 ± 20 1290 ± 40	1060 ± 15 1060 ± 25	190 ± 3 187 ± 6	154 ± 2 154 ± 4
Streckgrenze Rp 0,2 % (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	1150 ± 20 1150 +30/-55	960 ± 15 950 ± 30	167 ± 3 167 +4/-8	139 ± 2 138 ± 4
Plastische Dehnung (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	9 ± 3 11 ± 2	17 ± 2 18 ± 3	9 ± 3 11 ± 2	17 ± 2 18 ± 3
Flächenverringerng (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	23 ± 11 32 ± 4	49 ± 5 52 ± 4	23 ± 11 32 ± 4	49 ± 5 52 ± 4

DMP FLEX 100 – LT30 <sup>4, 7, 10, 11</sup>	TESTMETHODE	METRISCH			BRITISCH		
		NHT	SR	HIP	NHT	SR	HIP
Äußerste Zugfestigkeit (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	1310 ± 150 1280 ± 70	1060 ± 60 1040 ± 30	1020 ± 60 1020 ± 60	190 ± 22 186 ± 10	154 ± 9 151 ± 4	148 ± 9 148 ± 9
Streckgrenze Rp 0,2 % (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	1130 ± 140 1070 ± 70	960 ± 40 930 ± 40	930 ± 60 930 ± 60	164 ± 20 155 ± 10	139 ± 6 135 ± 6	135 ± 9 135 ± 9
Plastische Dehnung (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	8 ± 2 8 ± 2	12 ± 4 14 ± 4	14 ± 4 14 ± 4	8 ± 2 8 ± 2	12 ± 4 14 ± 4	14 ± 4 14 ± 4
Flächenverringerng (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8M	35 ± 20 35 ± 10	50 ± 10 50 ± 10	40 ± 10 40 ± 10	35 ± 20 35 ± 10	50 ± 10 50 ± 10	40 ± 10 40 ± 10

DMP FLEX 200 – LT30 <sup>2, 5, 7, 16</sup>	TESTMETHODE	METRISCH		BRITISCH	
		SR		SR	
Äußerste Zugfestigkeit (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	1120 ± 40 1130 ± 55		162 ± 6 164 ± 8	
Streckgrenze Rp 0,2 % (MPa   ksi) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	1025 ± 40 1040 ± 75		149 ± 6 151 ± 11	
Plastische Dehnung (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	13 ± 4 15 ± 7		13 ± 4 15 ± 7	
Flächenverringerng (%) In horizontaler Richtung – XY In vertikaler Richtung – Z	ASTM E8	30 ± 10 40 ± 25		30 ± 10 40 ± 25	

## Dichte

MESSWERT	TESTMETHODE	METRISCH	U.S.
Theoretische Dichte <sup>12</sup> (g/cm <sup>3</sup>   lb/in <sup>3</sup> )	Wert aus der Literatur	4,42	0,16
<b>DMP Flex 100</b>			
Relative Dichte (%), Schichtstärke 30 µm <sup>10, 13, 14</sup>	Optische Methode (Pixelanzahl)	≥ 99,4 Typisch 99,9	≥ 99,4 Typisch 99,9
<b>DMP Flex 200</b>			
Relative Dichte (%), Schichtstärke 30 µm <sup>13, 14, 16</sup>	Optische Methode (Pixelanzahl)	≥ 99,5 Typisch 99,9	≥ 99,5 Typisch 99,9
<b>DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500</b>			
Relative Dichte (%), Schichtstärke 30 µm <sup>1, 8, 13, 14</sup>	Optische Methode (Pixelanzahl)	≥ 99,6 Typisch 99,8	≥ 99,6 Typisch 99,8
Relative Dichte (%), Schichtstärke 60 µm <sup>1, 8, 9, 13, 14</sup>	Optische Methode (Pixelanzahl)	≥ 99,6 Typisch 99,8	≥ 99,6 Typisch 99,8
Relative Dichte (%), Schichtstärke 90 µm <sup>8, 13, 14</sup>	Optische Methode (Pixelanzahl)	≥ 99,6 Typisch 99,8	≥ 99,6 Typisch 99,8

<sup>10</sup> Teile, die mit Standardparametern auf einem DMP Flex 100 hergestellt wurden, mit einer Schichtstärke von 30 µm (LT30)

<sup>11</sup> Werte basierend auf durchschnittlicher und doppelter Standardabweichung

<sup>12</sup> Werte gemäß der Literatur

<sup>13</sup> Kann je nach spezifischer Teilegeometrie abweichen

<sup>14</sup> Mindestwerte basierend auf einem Toleranzintervall von 95 % mit einer Sicherheit von 95 %, getestet auf Dichtetest-Coupons mit typischer Dichte

<sup>15</sup> Ergebnisse wurden in dem Zustand „wie gedruckt“ ermittelt

<sup>16</sup> Teile, die mit Standardparametern auf einem DMP Factory 200 hergestellt wurden, mit einer Schichtstärke von 30 µm (LT30)

<sup>17</sup> Messung der Oberflächen vertikaler Seiten entlang der Ausrichtung des Bauteils

<sup>18</sup> Oberflächenbehandlung mit Zirkondioxid-Strahlmittel bei 5 bar

## Oberflächenrauheit $R_a$

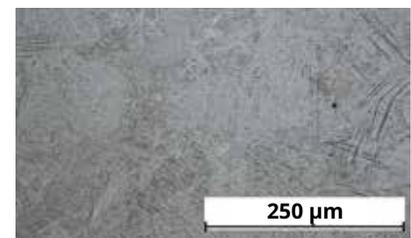
MESSUNG <sup>13</sup>	TESTMETHODE	METRISCH	BRITISCH
<b>DMP Flex 100, DMP Flex 200<sup>10, 15, 16, 17</sup></b>			
Oberflächen der vertikalen Seiten ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) Schichtstärke 30 $\mu\text{m}$	NF EN ISO 4288	Typisch 9	Typisch 354
<b>DMP Flex/Factory 350, DMP Flex/Factory 350 Dual, DMP Factory 500<sup>17,18</sup></b>			
Oberflächen der vertikalen Seiten ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>1,8</sup> Schichtstärke 30 $\mu\text{m}$	ISO 25178	Typisch 7	Typisch 276
Oberflächen der vertikalen Seiten ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>1,8</sup> Schichtstärke 60 $\mu\text{m}$	ISO 25178	Typisch 9	Typisch 354
Oberflächen der vertikalen Seiten ( $\mu\text{m}$   $\mu\text{in}$ ) <sup>8</sup> Schichtstärke 90 $\mu\text{m}$	ISO 25178	Typisch 10	Typisch 394

## Elektrische und thermische Eigenschaften

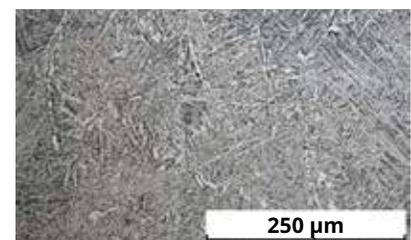
MESSWERT	BEDINGUNG	METRISCH	U.S.
Elektrische Leitfähigkeit <sup>3</sup> ( $S/m$ ) [ $\times 10^5$ ]	Vierpunkt-Kontakt ASTM B193 bei 20 °C   68 °F	5,9 ± 0,1	5,9 ± 0,1
Wärmeleitfähigkeit <sup>12</sup> ( $W/(m.K)$   $BTU \text{ Zoll}/(hr.ft^2. °F)$ )	bei 20 °C / 68 °F	6,70	46,5
Wärmeausdehnungskoeffizient <sup>12</sup> ( $\mu\text{m}/(m.°C)$   $\mu \text{ in}/(\text{Zoll}.°F)$ )	im Bereich von 20–100 °C	8,6	4,8
Schmelzbereich <sup>12</sup> (°C   °F)		1604–1660	2919–3020

## Chemische Zusammensetzung

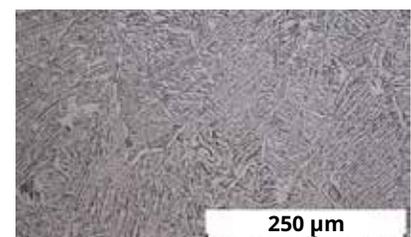
ELEMENT	% DES GEWICHTS
Ti	Bal.
N	≤ 0,03
C	≤ 0,08
H	≤ 0,012
Fe	≤ 0,25
O	≤ 0,13
Al	5,50–6,50
V	3,50–4,50
Y [J]	≤ 0,005
Andere (jeweils)	≤ 0,10
Andere (insgesamt)	≤ 0,40



Mikrostruktur ohne Wärmebehandlung (NHT)



Mikrostruktur nach Spannungsabbau (SR)



Mikrostruktur nach heißisostatischem Pressen (HIP)

## Anforderungen an die chemische Zusammensetzung (Gewichtsprozent)<sup>A</sup>

Werkstoff	Kohlenstoff, max.	Sauerstoff, max.	Stickstoff, max.	Wasserstoff, max.	Eisen, max.	Aluminium	Vanadium	Yttrium, max.	Andere Elemente, max., jeweils <sup>B</sup>	Andere Elemente, max., insgesamt <sup>B</sup>
CP <sup>C</sup> TI	0,08	0,35	0,05	0,015	0,30	—	—	—	0,10	0,40
Ti-6Al-4V	0,08	0,20	0,05	0,015	0,30	5,50–6,75	3,50–4,50	0,005	0,10	0,40
Ti-6Al-4V ELI <sup>D</sup>	0,08	0,13	0,05	0,012	0,25	5,50–6,50	3,50–4,50	0,005	0,10	0,40

<sup>A</sup> Der Differenzanteil des Titangehalts muss nicht bestimmt oder zertifiziert werden.

<sup>B</sup> Andere Elemente müssen nicht gemeldet werden, es sei denn, die Konzentration liegt jeweils über 0,1 % oder insgesamt über 0,4 %. Andere Elemente dürfen nicht absichtlich hinzugefügt werden. Andere Elemente können in geringen Mengen in Titanlegierungen enthalten sein und sind dem Herstellungsprozess inhärent. In Titan gehören zu diesen Elementen typischerweise Zinn, Chrom, Molybdän, Niob, Zirkonium, Hafnium, Wismut, Ruthenium, Palladium, Kupfer, Silizium, Kobalt, Tantal, Nickel, Bor, Mangan und Wolfram.

<sup>C</sup> CP-Titan (kommerziell reines) Titan in dieser Norm ähnelt UNS R50550 oder Titan der Güteklasse 3.

<sup>D</sup> ELI (extra low interstitial) steht für Beschränkungen der chemischen Zusammensetzung der ursprünglichen Ti-6Al-4V-Legierung für Elemente, von denen bekannt ist, dass sie die Werkstoffleistung beeinflussen.