

DIN EN ISO/ASTM 52908



ICS 25.030

Einsprüche bis 2022-03-21

Entwurf

**Additive Fertigung von Metallen –
Eigenschaften von Fertigteilen –
Nachbearbeitung, Inspektion und Prüfung von Bauteilen hergestellt
mittels pulverbettbasiertem Schmelzen (ISO/ASTM DIS 52908:2022);
Deutsche und Englische Fassung prEN ISO/ASTM 52908:2022**

Additive manufacturing of metals –

Finished Part properties –

Post-processing, inspection and testing of parts produced by powder bed fusion
(ISO/ASTM DIS 52908:2022);

German and English version prEN ISO/ASTM 52908:2022

Fabrication additive de métaux –

Méthodes de posttraitement –

Assurance qualité et posttraitement des pièces métalliques obtenues par fusion sur lit de
poudre (ISO/ASTM DIS 52908:2022);

Version allemande et anglaise prEN ISO/ASTM 52908:2022

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2022-01-21 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an nwt@din.de möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an den DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT), 10772 Berlin oder Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6, 10787 Berlin.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 66 Seiten

DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT)

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52908:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR (Frankreich) gehalten wird.

Das zuständige deutsche Normungsgremium ist der Gemeinschaftsarbeitsausschuss NA 145-04-02 GA „Additive Fertigung – NWT & NAS Gemeinschaftsarbeitsausschuss Metalle“ im DIN-Normenausschuss Werkstofftechnologie (NWT).

Die diesem Dokument zugrundeliegende ISO-Norm wurde auf der Grundlage einer Partnerschaftsvereinbarung zwischen ISO und ASTM International erarbeitet, die für den Bereich der Additiven Fertigung eine gemeinsame Normenentwicklung beider Organisationen zum Ziel hat sowie die Übernahme jeweiliger Normen durch die jeweils andere Organisation ermöglicht. Auf Grund dieser partnerschaftlichen Zusammenarbeit entsprechen die resultierenden Dokumente in ihrer Gestaltung in mancher Hinsicht nicht den ISO/IEC-Direktiven, Teil 2. Die Gestaltung des vorliegenden Dokuments weicht daher von den Vorgaben von DIN 820-2 ab.

Diese Norm stimmt in Teilen sachlich überein mit der vom Verein Deutscher Ingenieure e.V. herausgegebenen Richtlinie VDI 3405 Blatt 2:2013-08 *Additive manufacturing processes, rapid manufacturing — Beam melting of metallic parts — Qualification, quality assurance and post processing*.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Für die in diesem Dokument zitierten Dokumente wird im Folgenden auf die entsprechenden deutschen Dokumente hingewiesen:

ISO 148-1	siehe	DIN EN ISO 148-1
ISO 286-1	siehe	DIN EN ISO 286-1
ISO 377	siehe	DIN EN ISO 377
ISO 643	siehe	DIN EN ISO 643
ISO 1101	siehe	DIN EN ISO 1101
ISO 1302	siehe	DIN EN ISO 1302
ISO 2740	siehe	DIN EN ISO 2740
ISO 2768-1	siehe	DIN ISO 2768-1
ISO 2768-2	siehe	DIN ISO 2768-2
ISO 3369	siehe	DIN EN ISO 3369
ISO 3452-1	siehe	DIN EN ISO 3452-1
ISO 3923-1	siehe	DIN EN ISO 3923-1
ISO 3953	siehe	DIN EN ISO 3953
ISO 4287	siehe	DIN EN ISO 4287
ISO 4288	siehe	DIN EN ISO 4288
ISO 4490	siehe	DIN EN ISO 4490
ISO 4497	siehe	DIN EN ISO 4497
ISO 6506-1	siehe	DIN EN ISO 6506-1
ISO 6507-1	siehe	DIN EN ISO 6507-1
ISO 6508-1	siehe	DIN EN ISO 6508-1
ISO 6892-1	siehe	DIN EN ISO 6892-1
ISO 6892-2	siehe	DIN EN ISO 6892-2
ISO 6892-3	siehe	DIN EN ISO 6892-3

ISO 7438	siehe	DIN EN ISO 7438
ISO 8015	siehe	DIN EN ISO 8015
ISO 9001	siehe	DIN EN ISO 9001
ISO 9712	siehe	DIN EN ISO 9712
ISO 9934-1	siehe	DIN EN ISO 9934-1
ISO 13485	siehe	DIN EN ISO 13485
ISO 17296-2	siehe	DIN EN ISO 17296-2
ISO 18265	siehe	DIN EN ISO 18265
ISO/ASTM 52900	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52900
ISO/ASTM 52904	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52904
ISO/ASTM 52907	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52907
ISO/ASTM 52911-1	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52911-1
ISO/ASTM 52921	siehe	DIN EN ISO/ASTM 52921

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN ISO 148-1, *Metallische Werkstoffe — Kerbschlagbiegeversuch nach Charpy — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 286-1, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — ISO-Toleranzsystem für Längenmaße — Teil 1: Grundlagen für Toleranzen, Abmaße und Passungen*

DIN EN ISO 377, *Stahl und Stahlerzeugnisse — Lage und Vorbereitung von Probenabschnitten und Proben für mechanische Prüfungen*

DIN EN ISO 643, *Stahl — Mikrophotographische Bestimmung der erkennbaren Korngröße*

DIN EN ISO 1101, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Geometrische Tolerierung — Tolerierung von Form, Richtung, Ort und Lauf*

DIN EN ISO 1302, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Angabe der Oberflächenbeschaffenheit in der technischen Produktdokumentation*

DIN EN ISO 2740, *Sintermetalle, ausgenommen Hartmetalle — Zugprobestäbe*

DIN EN ISO 3369, *Undurchlässige Sintermetallwerkstoffe und Hartmetalle — Ermittlung der Dichte*

DIN EN ISO 3452-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Eindringprüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

DIN EN ISO 3923-1, *Metallpulver — Ermittlung der Füllichte — Teil 1: Trichterverfahren*

DIN EN ISO 3953, *Metallpulver — Bestimmung der Klopfdichte*

DIN EN ISO 4287, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Benennungen, Definitionen und Kenngrößen der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN EN ISO 4288, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Oberflächenbeschaffenheit: Tastschnittverfahren — Regeln und Verfahren für die Beurteilung der Oberflächenbeschaffenheit*

DIN EN ISO 4490, *Metallpulver — Bestimmung der Durchflussrate mit Hilfe eines kalibrierten Trichters (Hall flowmeter)*

DIN EN ISO 4497, *Metallpulver — Bestimmung der Teilchengröße durch Trockensiebung*

DIN EN ISO 6506-1, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Brinell — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 6507-1, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Vickers — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 6508-1, *Metallische Werkstoffe — Härteprüfung nach Rockwell — Teil 1: Prüfverfahren*

DIN EN ISO 6892-1, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 1: Prüfverfahren bei Raumtemperatur*

DIN EN ISO 6892-2, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 2: Prüfverfahren bei erhöhter Temperatur*

DIN EN ISO 6892-3, *Metallische Werkstoffe — Zugversuch — Teil 3: Prüfverfahren bei tiefen Temperaturen*

DIN EN ISO 7438, *Metallische Werkstoffe — Biegeversuch*

DIN EN ISO 8015, *Geometrische Produktspezifikation (GPS) — Grundlagen — Konzepte, Prinzipien und Regeln*

DIN EN ISO 9001, *Qualitätsmanagementsysteme — Anforderungen*

DIN EN ISO 9712, *Zerstörungsfreie Prüfung — Qualifizierung und Zertifizierung von Personal der zerstörungsfreien Prüfung*

DIN EN ISO 9934-1, *Zerstörungsfreie Prüfung — Magnetpulverprüfung — Teil 1: Allgemeine Grundlagen*

DIN EN ISO 13485, *Medizinprodukte — Qualitätsmanagementsysteme — Anforderungen für regulatorische Zwecke*

DIN EN ISO 17296-2, *Additive Fertigung — Grundlagen — Teil 2: Überblick über Prozesskategorien und Ausgangswerkstoffe*

DIN EN ISO 18265, *Metallische Werkstoffe — Umwertung von Härtewerten*

DIN EN ISO/ASTM 52900, *Additive Fertigung — Grundlagen — Terminologie*

DIN EN ISO/ASTM 52904, *Additive Fertigung — Prozessanforderungen und Qualifizierung — Verwendung des pulverbettbasierten Schmelzens von Metallen bei kritischen Anwendungen*

DIN EN ISO/ASTM 52907, *Additive Fertigung — Ausgangswerkstoffe — Verfahren zur Charakterisierung von Metallpulvern*

DIN EN ISO/ASTM 52911-1, *Additive Fertigung — Konstruktion — Teil 1: Laserbasierte Pulverbettfusion von Metallen*

DIN EN ISO/ASTM 52921, *Normbegrifflichkeiten für die Additive Fertigung — Koordinatensysteme und Prüfmethodologien*

DIN ISO 2768-1, *Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung*

DIN ISO 2768-2, *Allgemeintoleranzen; Toleranzen für Form und Lage ohne einzelne Toleranzeintragung*

– *Entwurf* –

E DIN EN ISO/ASTM 52908:2022-02

– Leerseite –

Additive Fertigung von Metallen – Eigenschaften von Fertigteilen – Nachbearbeitung, Inspektion und Prüfung von Bauteilen hergestellt mittels pulverbettbasiertem Schmelzen (ISO/ASTM DIS 52908:2022)

Additive manufacturing of metals – Finished Part properties – Post-processing, inspection and testing of parts produced by powder bed fusion (ISO/ASTM DIS 52908:2022)

Fabrication additive de métaux – Méthodes de posttraitement – Assurance qualité et posttraitement des pièces métalliques obtenues par fusion sur lit de poudre (ISO/ASTM DIS 52908:2022)

Inhalt

	Seite
Europäisches Vorwort	4
Vorwort	5
Einleitung	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	8
4.1 Symbole	8
4.2 Abkürzungen	9
5 Qualifizierung	9
5.1 Allgemeines	9
5.2 Validierung von Bauteilen	9
5.3 Technische Dokumentation über das/die hergestellte(n) Bauteil(e)	10
5.4 Dokumentation der Einrichtung	10
5.4.1 Anforderungen an die Dokumentation der Hersteller von additiven Fertigungsverfahren	10
5.4.2 Anforderungen an die Dokumentation des Unterauftragnehmers	11
5.5 Dokumentation zur Qualitätssicherung	11
6 Nachbearbeitung	11
6.1 Allgemeines	11
6.2 Nacharbeiten	11
6.3 Thermische Behandlung	12
6.4 Loslösung von der Bauplattform und den Stützstrukturen	13
6.5 Veredelung von Bauteiloberflächen	13
6.5.1 Verfahren zur Veredelung von Bauteiloberflächen	13
6.5.2 Bearbeitungszugaben	13
7 Inspektion und Prüfung	14
7.1 Allgemeines	14
7.2 Metallurgische Prüfung	14
7.2.1 Ziel	14
7.2.2 Auswahl, Design und Herstellung von Probekörpern für die Charakterisierung von Bauteilen	14
7.2.3 Prüfverfahren, Parameter und Probekörper	16
7.2.4 Metallurgische Eigenschaften	16
7.2.5 Bestimmung des Gehalts an nichtmetallischen Einschlüssen	16
7.2.6 Analyse und Prüfbericht	16
7.3 Mechanische Prüfung	17
7.3.1 Allgemeines	17
7.3.2 Ausrichtung im Bauraum	17
7.3.3 Geometrie der Probekörper und Oberflächenqualität	17
7.3.4 Dichte (Bauteil)	17
7.3.5 Archimedisches Verfahren	19
7.3.6 Bildanalyse von metallographischen Probekörpern	20
7.3.7 Statische Prüfung	22
7.3.8 Dynamische Prüfung	27
7.4 Prüfung der Oberflächenqualität	28
7.5 Geometrische Prüfung (Form, Abmessungen und Toleranzen)	28
7.6 Zerstörungsfreie Prüfung	28
Literaturhinweise	29

Bilder

Bild 1 — Lichtmikroskopische Aufnahme des Mikroschliffs (ungeätzt) von Stahl der Güte 316L mit einer Dichte von mehr als 99 %	18
Bild 2 — Lichtmikroskopische Aufnahme des Mikroschliffs (ungeätzt) von Stahl der Güte 316L mit einer Dichte von weniger als 99 %	19
Bild 3 — Lichtmikroskopische Aufnahme des Mikroschliffs (ungeätzt) von Stahl der Güte 316L mit eingebetteten Poren	20
Bild 4 — Lichtmikroskopische Aufnahme des Mikroschliffs (geätzt) von Stahl der Güte 316L mit Rissen in der Mikrostruktur	21

Tabellen

Tabelle 1 — Symbole	8
Tabelle 2 — Abkürzungen	9

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN ISO/ASTM 52908:2022) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261 „Additive manufacturing“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee CEN/TC 438 „Additive Fertigungsverfahren“ erarbeitet, dessen Sekretariat von AFNOR gehalten wird.

Dieses Dokument ist derzeit zur parallelen Umfrage vorgelegt.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Liste dieser Institute ist auf den Internetseiten von CEN abrufbar.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO/ASTM DIS 52908:2022 wurde von CEN als prEN ISO/ASTM 52908:2022 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Vorwort

ISO (die Internationale Organisation für Normung) ist eine weltweite Vereinigung nationaler Normungsinstitute (ISO-Mitgliedsorganisationen). Die Erstellung von Internationalen Normen wird üblicherweise von Technischen Komitees von ISO durchgeführt. Jede Mitgliedsorganisation, die Interesse an einem Thema hat, für welches ein Technisches Komitee gegründet wurde, hat das Recht, in diesem Komitee vertreten zu sein. Internationale staatliche und nichtstaatliche Organisationen, die in engem Kontakt mit ISO stehen, nehmen ebenfalls an der Arbeit teil. ISO arbeitet bei allen elektrotechnischen Normungsthemen eng mit der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) zusammen.

Die Verfahren, die bei der Entwicklung dieses Dokuments angewendet wurden und die für die weitere Pflege vorgesehen sind, werden in den ISO/IEC-Direktiven, Teil 1 beschrieben. Es sollten insbesondere die unterschiedlichen Annahmekriterien für die verschiedenen ISO-Dokumentenarten beachtet werden. Dieses Dokument wurde in Übereinstimmung mit den Gestaltungsregeln der ISO/IEC-Direktiven, Teil 2 erarbeitet (siehe www.iso.org/directives).

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. ISO ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren. Details zu allen während der Entwicklung des Dokuments identifizierten Patentrechten finden sich in der Einleitung und/oder in der ISO-Liste der erhaltenen Patenterklärungen (siehe www.iso.org/patents).

Jeder in diesem Dokument verwendete Handelsname dient nur zur Unterrichtung der Anwender und bedeutet keine Anerkennung.

Für eine Erläuterung des freiwilligen Charakters von Normen, der Bedeutung ISO-spezifischer Begriffe und Ausdrücke in Bezug auf Konformitätsbewertungen sowie Informationen darüber, wie ISO die Grundsätze der Welthandelsorganisation (WTO, en: World Trade Organization) hinsichtlich technischer Handelshemmnisse (TBT, en: Technical Barriers to Trade) berücksichtigt, siehe www.iso.org/iso/foreword.html.

Dieses Dokument wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 261, *Additive manufacturing*, in Zusammenarbeit mit ASTM Komitee F42, *Additive Manufacturing Technologies*, auf Basis eines Partnerschaftsvertrags zwischen ISO und ASTM International mit dem Ziel, einen gemeinsamen Satz von ISO/ASTM-Normen zur additiven Fertigung zu schaffen, erarbeitet.

Rückmeldungen oder Fragen zu diesem Dokument sollten an das jeweilige nationale Normungsinstitut des Anwenders gerichtet werden. Eine vollständige Auflistung dieser Institute ist unter www.iso.org/members.html zu finden.

Einleitung

Dieses Dokument ist eine Ergänzung zur ISO/ASTM 52900, die verschiedene additive Fertigungsverfahren unter Verwendung einer Vielzahl von Materialien beschreibt. Diese Norm behandelt die Prüfung von Bauteilen, die aus metallischen Werkstoffen unter Verwendung additiver Technologien hergestellt werden.

Wie bei konventionellen Fertigungsverfahren (z. B. Gießen und Fräsen) haben auch die mit additiven Fertigungsverfahren hergestellten Metallteile qualitätskritische Eigenschaften. Dazu gehören insbesondere Dichte, Festigkeit, Härte, Oberflächenqualität, Maßgenauigkeit, Restspannungen/Eigenspannungen, Abwesenheit von Rissen, Löchern und struktureller Homogenität, die bei additiv gefertigten Bauteilen üblicherweise geprüft werden. Die Qualität von additiv gefertigten Bauteilen ist von entscheidender Bedeutung, wenn funktionale Bauteile in industriellem Maßstab hergestellt werden. Deswegen ist es notwendig, additive Fertigungsverfahren nach einheitlichen Kriterien zu qualifizieren und standardisierte Prüfungen während und nach den Verfahren durchzuführen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen für die Qualifikation, Qualitätssicherung und Nachbearbeitung von Metallteilen fest, die durch pulverbettbasiertes Schmelzen hergestellt werden. Dieses Dokument definiert Verfahren und Vorgehensweisen zur Prüfung und Qualifizierung verschiedener Eigenschaften von additiv gefertigten Metallteilen, in Übereinstimmung mit ISO 17296-3, Klasse H und Klasse M.

Dieses Dokument ist für Bauteileanbieter und/oder Kunden von Bauteilen bestimmt. Diese Norm befindet sich innerhalb der Normenhierarchie zur additiven Fertigung an oberster Stelle und ist daher für eine Anwendung auf metallische Bauteile, die durch ein additives Fertigungsverfahren hergestellt wurden, vorgesehen. Dieses Dokument definiert Qualifikationsverfahren, um die definierten Qualitätsstandards zu erfüllen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

ISO/ASTM 52900, *Additive manufacturing — General principles — Fundamentals and vocabulary*

ISO/ASTM 52920, *Additive manufacturing — Qualification principles — Requirements for industrial additive manufacturing sites*

ISO/ASTM 52927, *Additive manufacturing — General principles — Main characteristics and corresponding test methods*

ISO/ASTM 52928, *Additive manufacturing — Feedstock materials — Powder life cycle management*

ISO/ASTM/TS 52930, *Additive manufacturing — Qualification principles — Installation, operation and performance (IQ/OQ/PQ) of PBF-LB equipment*

ISO 1302, *Geometrical Product Specifications (GPS) — Indication of surface texture in technical product documentation*

ISO 3369, *Impermeable sintered metal materials and hardmetals — Determination of density*

ISO 6892-1, *Metallic materials — Tensile testing — Part 1: Method of test at room temperature*

ASTM E8/E8M, *Standard Test Methods for Tension Testing of Metallic Materials*

DIN 50125, *Prüfung metallischer Werkstoffe — Zugproben*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach ISO/ASTM 52900 und die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

— ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

— IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>

3.1

Korngröße

Größe der Pulverpartikel

Partikelgröße

mittlerer Durchmesser der zu betrachtenden Pulverpartikel

3.2

Korngröße

metallurgische Korngröße

mittlere Korngröße in der metallurgischen Struktur bei Betrachtung im Querschnitt

4 Symbole und Abkürzungen

4.1 Symbole

Die in Tabelle 1 angegebenen Symbole werden in diesem Dokument verwendet.

Tabelle 1 — Symbole

Symbol	Begriff	Einheit
a	Probekörperdicke (Biegeprüfung)	mm
b_{pb}	Probekörperbreite (Biegeversuch)	mm
d_0	Durchmesser des Probekörpers	mm
d_1	Metrisches ISO-Gewinde	mm
d_b	Rollendurchmesser (Biegeversuch)	mm
E_V	Energiedichte des Volumens	J/mm ³
F_b	Schlagkraft	N
F_{max}	Höchstkraft (Biegeversuch)	N
h	Höhe des Kopfes	mm
h_s	Abstand zwischen den Scanlinien	mm
KU, KV	Kerbschlagarbeit U:U-Kerbe, V:V-Kerbe	J
L_0	Anfangsmesslänge	mm
L_c	Prüflänge ($L_c > L_0 + d_0$)	mm
L_t	Gesamtlänge	mm
l_{ab}	Abstand zwischen den Rollen (Biegeversuch)	mm
l_p	Probekörperlänge (Biegeversuch)	mm
l_z	Schichtdicke	mm
N	Nennmaß	mm
P_L	Laserleistung	W
R_Z	gemittelte Rautiefe	µm
S_b	Schlagweg (Biegeversuch)	mm
T	Grenzabmaße	mm
T_T	Übergangstemperatur	K, °C
VR	Volumendurchfluss	mm ³ /s

Tabelle 1 (fortgesetzt)

Symbol	Begriff	Einheit
v_s	Scangeschwindigkeit	mm/s
α	Biegewinkel (Biegeversuch)	°(Grad)
β	Biegewinkel (Biegeversuch)	°(Grad)

4.2 Abkürzungen

Die in Tabelle 2 angegebenen Abkürzungen werden in diesem Dokument verwendet:

Tabelle 2 — Abkürzungen

AM	additive Fertigung (en: additive manufacturing)
EDX	Energiedispersive Röntgenspektroskopie (en: energy dispersive X-ray spectroscopy)
SEM	Rasterelektronenmikroskop (en: scanning electron microscope)
CAD	Rechnerunterstützte Konstruktion (en: computer aided design)
ZfP	zerstörungsfreie Prüfung
QA	Qualitätssicherung (en: quality assurance)
COC	Konformitätsbescheinigung (en: certificate of conformance)
ASL	Liste der zugelassenen Lieferanten (en: approved supplier list)
HIP	heiß-isostatisches Pressen (en: hot isostatic pressing)
EDM	Funkenerosion (en: electrical discharge machining)
PBF	pulverbettbasiertes Schmelzen (en: powder bed fusion)

5 Qualifizierung

5.1 Allgemeines

Der Hersteller muss nachweisen, dass er in der Lage ist, additiv gefertigte Bauteile in Übereinstimmung mit den in der Kaufspezifikation genannten Anforderungen herzustellen. Die in den folgenden Abschnitten beschriebenen Inspektionen und Prüfungen werden anhand der in der Kaufspezifikation angegebenen Verfahren und Abnahmekriterien durchgeführt und bewertet.

ANMERKUNG Die Anforderungen an die Kaufspezifikation werden in der Entwurfsphase entwickelt, wie in ISO/ASTM 52927 beschrieben, und sind in Übereinstimmung mit den relevanten Normen und Vorschriften, die für die Konformität dieses Bauteils erforderlich sind.

5.2 Validierung von Bauteilen

Die Validierung, dass das produzierte Bauteil den Anforderungen der Kaufspezifikation entspricht, muss in einem Qualifizierungsbericht festgehalten werden. Ein üblicher „Qualifizierungsbericht“ muss bestehen aus:

— technische Dokumentation über das/die hergestellte(n) Bauteil(e);

- Dokumentation der Einrichtung;
- Dokumentation zur Qualitätssicherung (QA).

5.3 Technische Dokumentation über das/die hergestellte(n) Bauteil(e)

Die technische Dokumentation über das/die hergestellte(n) Bauteil(e) muss Folgendes enthalten:

- Kaufspezifikation in Übereinstimmung mit ISO/ASTM 52927, die Inspektionsverfahren, zugehörige Pläne, Abnahmekriterien und gegebenenfalls relevante Qualitätsindikatoren enthält;
- Spezifikation des Ausgangsmaterials, Prüfergebnisse und Erklärung zur Konformität mit ISO/ASTM 52907;
- Materialspezifikation (konsolidierte Spezifikation der Materialeigenschaften des Produkts);
- vollständiger Fertigungsplan;
- Aufzeichnungen über zerstörende und zerstörungsfreie Prüfungen;
- Prüfprotokoll für das Bauteil (in Übereinstimmung mit der Kaufspezifikation);
- andere vom Käufer, von Vorschriften oder von der Produktnorm geforderte Dokumentation (z. B. Materialkennzeichnung, Etikettierung, Produktanweisungen).

ANMERKUNG 1 Für einige Materialien kann es eine einzige Spezifikation geben, die sowohl die Eigenschaften des Ausgangsmaterials als auch die des Materials regelt, z. B. die metallurgischen und mechanischen Eigenschaften.

ANMERKUNG 2 Technische Spezifikationen für Metallpulver werden in ISO/ASTM 52907 behandelt.

5.4 Dokumentation der Einrichtung

5.4.1 Anforderungen an die Dokumentation der Hersteller von additiven Fertigungsverfahren

Die Anforderungen an die Dokumentation von Einrichtungen für industrielle Fertigungsstätten werden in ISO/ASTM 52920 behandelt.

Für die Anwendung dieses Dokuments muss ein Überblick über die relevanten Fertigungsanlagen und -einrichtungen bereitgestellt werden. Die Übersicht muss die wichtigsten Ausrüstungsgegenstände enthalten, die für die Nachbearbeitung, Inspektion und Prüfung verwendet werden (einschließlich Angaben zum geographischen Standort).

Die folgende Dokumentation der Einrichtung ist vorzulegen:

- Aufzeichnungen über die Qualifizierung der Ausrüstung (siehe ISO/ASTM/TS 52930);
- Aufzeichnungen über das Lebenszyklus-Management von Pulver (siehe ISO/ASTM 52928).

Die folgende Dokumentation zum Qualitätsmanagement ist vorzulegen, sofern noch kein zertifiziertes Qualitätsmanagementsystem vorhanden ist:

- Aufzeichnungen (z. B. Kalibrierungszertifikate) der für die Messung und Prüfung verwendeten Prüfeinrichtungen;
- Aufzeichnungen über die Ausrüstung, die für metallographische Untersuchungen, mechanische Prüfungen, zerstörungsfreie Prüfungen, hydraulische Prüfungen und Prüfungen mit Gasen verwendet wird (ggf. mit Angaben zu den verwendeten Prüfverfahren);

- Aufzeichnungen über die Ausbildung des Personals, das für die Herstellung und Inspektion zuständig ist;
- Entwicklungen, die sich auf die Lieferung auswirken, sind zu qualifizieren und zu melden.

Die oben aufgeführten Punkte sind zulässig, wenn ein Qualitätsmanagementsystem vorhanden ist (siehe 5.5.).

5.4.2 Anforderungen an die Dokumentation des Unterauftragnehmers

Wenn der Hersteller Nachbearbeitungs- und/oder Prüftätigkeiten an Unterauftragnehmer vergibt, muss der Hersteller die Bedingungen angeben, unter denen diese Tätigkeiten an Unterauftragnehmer vergeben werden, und eine Einkaufsspezifikation für die betreffenden Vorgänge bereitstellen.

Der Hersteller muss die Unterauftragnehmer auf ihre Fähigkeit hin beurteilen und bestätigen, dass sie in der Lage sind, die untervergebene Tätigkeit in der erforderlichen Qualität auszuführen.

5.5 Dokumentation zur Qualitätssicherung

Die allgemeinen Anforderungen an die Dokumentation zur Qualitätssicherung gelten als erfüllt, wenn das Qualitätsmanagementsystem (z. B. ISO 9001, ISO 13485) von einer anerkannten Prüfstelle zertifiziert wurde.

Die Anforderungen an die Dokumentation zur Qualitätssicherung bei der additiven Fertigung werden in ISO/ASTM 52920 behandelt.

6 Nachbearbeitung

6.1 Allgemeines

Die Nachbearbeitung besteht aus Aktivitäten, die nach Abschluss eines Bauprozesses, aber vor der Endprüfung durchgeführt werden müssen.

ANMERKUNG 1 Zwischen den einzelnen Aktivitäten der Nachbearbeitung können Zwischeninspektionen durchgeführt werden.

Nachbearbeitungen müssen in der Regel durchgeführt werden, um die gewünschten Materialeigenschaften, die endgültige Geometrie und die Oberflächenbeschaffenheit zu erreichen, und umfassen die folgenden Schritte:

- Nacharbeiten (z. B. Abkühlung, Lösen, Entnahme aus der AM-Maschine, Reinigung des Bauteils);
- thermische Behandlung;
- Loslösung von der Bauplattform und den Stützstrukturen;
- Oberflächenveredelung.

ANMERKUNG 2 In der Nachbearbeitungsphase werden auch mehrere systembasierte Vorgänge durchgeführt (d. h., die nicht mit dem additiv gefertigten Bauteil in Verbindung stehen), um die nachfolgenden Bauprozesse vorzubereiten. Diese Tätigkeiten werden in anderen Normen behandelt und umfassen:

- Rückgewinnung und Wiederaufbereitung von ungeschmolzenem Pulver (siehe ISO/ASTM 52928);
- Reinigung und Instandhaltung von AM-Anlagen (siehe ISO/ASTM 52920).

6.2 Nacharbeiten

Nach erfolgreichem Abschluss des Bauprozesses kühlt die Kammer ab, und das nicht geschmolzene Pulver wird aus der Baukammer entfernt. Sobald die Baukammer geöffnet ist, können die Befestigungen der Bauplattform entfernt werden. Dabei ist darauf zu achten, dass eine Durchbiegung vermieden wird, die aufgrund des Aufbaus von Restspannungen innerhalb der Baukammer zu Rissen führen könnte.

Sobald die Baugruppe aus der AM-Maschine entfernt ist, kann sie gereinigt und visuell inspiziert werden (z. B. auf Mängel, Verfärbungen, Loslösung von Stützstrukturen). Loses Pulver, das nach dem Kontakt mit der Atmosphäre (d. h. nicht mehr in einer inerten Umgebung) auf der Baugruppe verbleibt, kann mit verschiedenen Verfahren entfernt werden (z. B. Druckgas, Bürsten, Vakuum-, Schall- oder Ultraschallreinigungsverfahren). Loses Pulver, das zu diesem Zeitpunkt entfernt wird, ist als Abfallpulver zu behandeln und sicher zu entsorgen.

Bei einigen nicht reaktiven Materialien kann loses Pulver, das in einer kontrollierten Umgebung (z. B. Handschuhbox, automatische Pulverentfernungsanlage) entnommen wird, auch wiederverwendet werden, wenn dies nach den Verfahren des Herstellers zulässig ist, sofern die Kontamination und die Rückverfolgbarkeit kontrolliert werden.

6.3 Thermische Behandlung

Obwohl es nicht zwingend erforderlich ist, additiv gefertigte Bauteile einer thermischen Behandlung zu unterziehen, sollten die folgenden Punkte berücksichtigt werden:

— Reduzierung von Eigenspannungen

Der Aufbau von aufeinanderfolgenden Schichten durch schnelles Erhitzen und Abkühlen erzeugt Eigenspannungen im Bauteil, die zu Verformungen führen können. Wenn Stützstrukturen verwendet werden, tragen sie dazu bei, diese Verformung zu minimieren, indem sie der Baugruppe Steifigkeit verleihen, um einer Durchbiegung aufgrund dieser Restspannungen entgegenzuwirken. Daher wird die Baugruppe in der Regel vor dem Entfernen der Stützstrukturen spannungsfrei gemacht, obwohl dies nicht zwingend erforderlich ist. Die Freisetzung von thermischen Spannungen kann über einen kurzen oder längeren Zeitraum zu Verformungen führen. Darüber hinaus können im Bauteil örtliche Spannungsspitzen auftreten, die die Ermüdungsfestigkeit erheblich verringern und zu vorzeitiger Rissbildung führen können. Der Spannungsabbau reduziert die Spannungen im Bauteil nach der Herstellung auf kontrollierte Weise und verhindert so Verformungen.

— Reduzierung der Anisotropie

Das „Wie gebaut“-Bauteil kann eine Anisotropie aufweisen, die normalisiert werden kann, um die Abhängigkeit der mechanischen Eigenschaften des geformten Materials von der Orientierung und der Lage zu minimieren und die Anforderungen an die endgültigen mechanischen Eigenschaften zu erfüllen.

ANMERKUNG ISO/ASTM 52909 enthält ergänzende Richtlinien für die Beurteilung der Eigenschaften des fertigen Bauteils, einschließlich der Orientierungs- und Ortsabhängigkeit, für Metallteile, die durch pulverbettbasiertes Schmelzen hergestellt werden.

— Vorbereitung des Materials für die mechanische Nachbearbeitung

Durch Verfahren wie das Glühen kann die Härte des „Wie gebaut“-Materials verringert werden, um die nachfolgenden Bearbeitungsvorgänge zu erleichtern. Das Glühen mit anschließender Alterung kann auch dazu führen, dass Korngrenzenkarbide in die Lösung übergehen und so eine unzulässige Ausscheidung von Korngrenzenkarbiden verhindern, die zu interkristalliner Korrosion und Rissbildung führen kann.

— Verdichtung

Das heiß-isostatische Pressen (HIP) kann die Materialeigenschaften durch die Verringerung von Porosität und Anisotropie verbessern.

ANMERKUNG ASTM A1080/A108M enthält standardisierte Vorgehensweisen für das heiß-isostatische Pressen von Stahl, nichtrostenden Stählen und verwandten Legierungen.

Die jeweilige thermische Behandlung hängt vom Material und den gewünschten mechanischen Eigenschaften ab, wie sie in der Materialspezifikation festgelegt und zwischen Hersteller und Käufer vereinbart sind.

ANMERKUNG ASTM F3301 enthält Einzelheiten zu thermischen Behandlungen für verschiedene Metalle, die durch pulverbettbasiertes Schmelzen hergestellt werden.

Die für die zerstörende Prüfung verwendeten Probekörper müssen für das Bauteil repräsentativ sein und daher denselben thermischen Nachbehandlungsverfahren unterzogen werden wie das Bauteil, das sie darstellen.

6.4 Loslösung von der Bauplattform und den Stützstrukturen

In der Baugruppe können verschiedene Elemente vorhanden sein, die eine Ablösung von der Bauplattform, von der Stützstruktur und/oder von anderen Elementen (z. B. dem Bauteil, den Probekörpern) erfordern. Ein geeignetes Trennverfahren ist im Fertigungsplan festzulegen, damit die Ablösung keine nachteiligen Auswirkungen auf die Integrität des Bauteils oder der Probekörper hat.

Die Ablösung erfolgt aus den in 6.3 beschriebenen Gründen in der Regel nach der thermischen Behandlung, kann aber auch vor der thermischen Behandlung durchgeführt werden, wenn der Hersteller dies für angemessen hält.

6.5 Veredelung von Bauteiloberflächen

6.5.1 Verfahren zur Veredelung von Bauteiloberflächen

Geeignete Verfahren zur Oberflächenbearbeitung sind vom Hersteller auszuwählen und im Fertigungsplan festzulegen, um die in der Konstruktion festgelegten Anforderungen an die endgültige Geometrie und Oberflächenbeschaffenheit zu erfüllen.

ANMERKUNG Es stehen zahlreiche Nachbearbeitungsverfahren zur Verfügung, von denen im Folgenden Beispiele aufgeführt sind:

- maschinelle Bearbeitung (z. B. Drehen, Bohren, Fräsen);
- Funkenerosion (EDM);
- abrasive Verfahren (z. B. Schleifen, Polieren, Gleitschleifen, Schleifschlämme);
- Strahlverfahren (z. B. Sandstrahlen, Kugelstrahlen);
- chemische Oberflächenbehandlung (z. B. Beschichten, Tauchen, Entfetten);
- Beschichtung (z. B. Lackieren, Sprühen, Pulverbeschichten).

Die Auswahl des Verfahrens hängt von Material, Geometrie (z. B. Größe, Komplexität, Zugänglichkeit), Oberflächenbeschaffenheit (z. B. Rauheit, Welligkeit, Belag), Toleranzen, ästhetischen und wirtschaftlichen Aspekten ab.

6.5.2 Bearbeitungszugaben

Je nach den Anforderungen an ein additiv gefertigtes Bauteil kann es erforderlich sein, einen oder mehrere Bereiche zu bearbeiten, um die geforderten Toleranzen einzuhalten. Dies erfordert in der Regel eine Bearbeitungszugabe, die mindestens die maximal mögliche Maßabweichung umfasst.

Bearbeitungszugaben sind als „Schnittzugabe“ zu betrachten, d. h. bei der Bearbeitung von Rotationskörpern oder bei der Zweiseitenbearbeitung sind die Zugaben doppelt anzurechnen. Kettenmaße sind zu vermeiden, und bei Verwendung von Zeichnungen fertiger Bauteile sind Funktionsmaße anzugeben und Bereiche mit Bearbeitungszugabe durch Symbole nach ISO 1302 zu kennzeichnen.

Außerdem ist zu bedenken, dass additiv gefertigte Bauteile je nach Geometrie einen Verzug aufweisen können. Hierfür ist eine zusätzliche Bearbeitungszugabe erforderlich.

7 Inspektion und Prüfung

7.1 Allgemeines

Die folgenden Aspekte müssen zu Qualitätssicherungszwecken kontrolliert und dokumentiert werden (z. B. durch kontrollierte Verfahren und Aufzeichnungen):

- metallurgische Prüfung;
- mechanische Prüfung;
- Prüfung der Oberflächenqualität;

Geometrische Prüfung (Form, Abmessungen und Toleranzen);

- zerstörungsfreie Prüfung.

ANMERKUNG Zusätzliche Aufzeichnungen, die nicht von dieser Norm behandelt werden:

- Maschinenbauprotokollbericht, siehe ISO/ASTM 52904;
- Pulverzyklus / Rekonditionierung, siehe ISO/ASTM 52928;
- Aufzeichnungen über die Instandhaltung der Ausrüstung, siehe ISO/ASTM/TS 52930;
- Reinigungslinsen / Baukammer → Qualitätsspezifikation, siehe ISO/ASTM/TS 52930;
- Filter (Qualität, Sättigung, Kondensat), siehe ISO/ASTM/TS 52930;
- Prozessbegleitende Überwachung (Schmelzbadanalyse usw.), siehe ISO/ASTM 52920.

7.2 Metallurgische Prüfung

7.2.1 Ziel

In der Metallographie wurden zahlreiche Verfahren zur quantitativen und/oder qualitativen Beschreibung von strukturellen Merkmalen in metallischen Werkstoffen, einschließlich Mängel wie Poren und Risse, entwickelt. Diese können auch auf die Analyse von strahlgeschmolzenen Probekörpern und Bauteilen angewendet werden, um Informationen über die Fertigungsqualität, die Materialeigenschaften und das Verhalten zu erhalten. Die Struktur eines Werkstoffs wird durch die Art, Größe, Form, Verteilung und Ausrichtung der strukturellen Bauteile charakterisiert. Durch die Untersuchung der Struktur eines polierten Querschnitts eines Probekörpers oder eines entsprechend präparierten Bauteils mit dem bloßen Auge, einer Lupe oder einem Mikroskop können zahlreiche metallographische Prüfungen durchgeführt werden. Während die in anderen Normen beschriebenen allgemeinen metallographischen Verfahren in der Regel für die Präparation von Metallen ausreichen, die mittels laser-pulverbettbasierten Schmelzverfahren hergestellt werden, gibt es Strukturen und Merkmale, die spezifisch für dieses Verfahren sind und häufig genug vorkommen, um von Bedeutung zu sein.

7.2.2 Auswahl, Design und Herstellung von Probekörpern für die Charakterisierung von Bauteilen

Die metallographische Charakterisierung von Bauteilen, die mit dem laser-pulverbettbasierten Schmelzverfahren hergestellt wurden, ist ein üblicher Vorgang, aber es gibt Verfahrens- und Materialdetails, die für neue Anwender dieser Technologie möglicherweise nicht auf den ersten Blick ersichtlich sind. Die beiden grundlegenden Probekörperarten, die üblicherweise bearbeitet werden, sind solche, die aus vorhandenen Bauteilen geschnitten wurden, und solche, die speziell für die metallographische Beurteilung entwickelt wurden.

Bei Probekörpern, die aus vorhandenen Bauteilen geschnitten wurden, wird in der Regel darauf geachtet, dass der Probekörper keine Fehler aufweist. Beim pulverbettbasierten Schmelzen wird das Material gleichzeitig mit