

DIN EN ISO 12004-2

ICS 77.040.10

**Metallische Werkstoffe –
Bleche und Bänder - Bestimmung der Grenzformänderungskurve –
Teil 2: Bestimmung von Grenzformänderungskurven im Labor
(ISO 12004-2:2008);
Deutsche Fassung EN ISO 12004-2:2008**

Metallic materials –
Sheet and strip - Determination of forming-limit curves –
Part 2: Determination of forming-limit curves in the laboratory (ISO 12004-2:2008);
German version EN ISO 12004-2:2008

Matériaux métalliques –
Tôles et bandes - Détermination des courbes limites de formage –
Partie 2: Détermination des courbes limites de formage en laboratoire
(ISO 12004-2:2008);
Version allemande EN ISO 12004-2:2008

Gesamtumfang 34 Seiten

Normenausschuss Materialprüfung (NMP) im DIN

Nationales Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12004-2:2008) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164, SC 2 „Ductility Testing“, dessen Sekretariat vom JISC (Japan) gehalten wird, in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ECIS/TC 1 „Stahlprüfung“, dessen Sekretariat vom AFNOR (Frankreich) gehalten wird, erarbeitet.

Das zuständige deutsche Gremium ist der Arbeitsausschuss NA 062-01-42 AA „Zug- und Duktilitätsprüfung für Metalle“ des Normenausschusses Materialprüfung (NMP).

Deutsche Fassung

Metallische Werkstoffe —
Bleche und Bänder —
Bestimmung der Grenzformänderungskurve —
Teil 2: Bestimmung von Grenzformänderungskurven im Labor
(ISO 12004-2:2008)

Metallic materials —
Sheet and strip —
Determination of forming-limit curves —
Part 2: Determination of forming-limit curves in the
laboratory
(ISO 12004-2:2008)

Matériaux métalliques —
Tôles et bandes —
Détermination des courbes limites de formage —
Partie 2: Détermination des courbes limites de formage en
laboratoire
(ISO 12004-2:2008)

Diese Europäische Norm wurde vom CEN am 12. Oktober 2008 angenommen.

Die CEN-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist. Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Management-Zentrum des CEN oder bei jedem CEN-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CEN-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Management-Zentrum mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CEN-Mitglieder sind die nationalen Normungsinstitute von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



EUROPÄISCHES KOMITEE FÜR NORMUNG
EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION
COMITÉ EUROPÉEN DE NORMALISATION

Management-Zentrum: rue de Stassart, 36 B-1050 Brüssel

Inhalt

	Seite
Vorwort	3
Einleitung.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Symbole und Begriffe.....	5
3 Kurzbeschreibung	6
4 Proben und Prüfeinrichtung	7
5 Analyse des Formänderungsprofils und Messung von ϕ_1-ϕ_2-Paaren	14
6 Dokumentation.....	19
7 Prüfbericht.....	20
Anhang A (normativ) Zweite Ableitung und „gefilterte“ zweite Ableitung.....	21
Anhang B (normativ) Berechnung der Breite des Ausgleichsfensters	23
Anhang C (normativ) Bewertung der inversen Best-Fit-Parabel an der „Glockenkurve“	24
Anhang D (normativ) Anwendung/Messung des Rasters – Bewertung mithilfe einer Lupe oder eines Mikroskops.....	26
Anhang E (informativ) Tabellen experimentell ermittelter Daten für die Validierung des Rechenprogramms	27
Anhang F (normativ) Darstellung und mathematische Beschreibung von FLC.....	28
Anhang G (informativ) Beispiele für kritische Querschnittsdaten	29
Anhang H (normativ) Ablaufdiagramm für den Prozess von den gemessenen Formänderungsverteilungen bis hin zu den FLC-Werten	30
Literaturhinweise	32

Vorwort

Dieses Dokument (EN ISO 12004-2:2008) wurde vom Technischen Komitee ISO/TC 164 „Mechanical testing of metals“ in Zusammenarbeit mit dem Technischen Komitee ECISS/TC 1 „Stahlprüfung“ erarbeitet, dessen Sekretariat vom AFNOR gehalten wird.

Diese Europäische Norm muss den Status einer nationalen Norm erhalten, entweder durch Veröffentlichung eines identischen Textes oder durch Anerkennung bis April 2009, und etwaige entgegenstehende nationale Normen müssen bis April 2009 zurückgezogen werden.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CEN [und/oder CENELEC] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Entsprechend der CEN/CENELEC-Geschäftsordnung sind die nationalen Normungsinstitute der folgenden Länder gehalten, diese Europäische Norm zu übernehmen: Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, Schweiz, Slowakei, Slowenien, Spanien, Tschechische Republik, Ungarn, Vereinigtes Königreich und Zypern.

Anerkennungsnotiz

Der Text von ISO 12004-2:2008 wurde vom CEN als EN ISO 12004-2:2008 ohne irgendeine Abänderung genehmigt.

Einleitung

Ein Grenzformänderungsdiagramm (en: Forming Limit Diagram, FLD) ist ein Diagramm, das Punkte der größeren und kleineren Formänderung enthält.

Ein FLD kann zwischen sicheren und eingeschnürten oder schadhaften Punkten unterscheiden. Der Übergang von sicheren zu schadhaften Punkten ist durch die Grenzformänderungskurve (en: Forming Limit Curve, FLC) definiert.

Um die Grenzformänderung von Werkstoffen zu bestimmen, sind zwei verschiedene Verfahren möglich:

- 1) Formänderungsanalyse von schadhaften Stanzteilen zur Bestimmung von stanzteil- und prozess-abhängigen FLC:

In der Stanzerei sind die zur Erreichung dieser Punkte erforderlichen Formänderungsverläufe in der Regel nicht bekannt. Eine solche FLC hängt vom Werkstoff, vom Stanzteil und den gewählten Formgebungsbedingungen ab. Dieses Verfahren ist in ISO 12004-1 beschrieben.

- 2) Bestimmung von FLC unter klar festgelegten Laborbedingungen:

Um die Verformbarkeit beurteilen zu können, ist für jeden Werkstoff genau eine eindeutige FLC für verschiedene Formänderungszustände erforderlich. Die Bestimmung der FLC muss für jeden Einzelfall gesondert erfolgen, und es müssen verschiedene lineare Formänderungsverläufe angewendet werden. Dieses Verfahren sollte, wie in ISO 12004-2 beschrieben, bei der Ermittlung der charakteristischen Eigenschaften von Werkstoffen angewendet werden.

Für diesen Teil von ISO 12004 (der die Bestimmung von Grenzformänderungskurven im Labor behandelt) gelten darüber hinaus folgende Bedingungen.

- Für die zu untersuchenden Werkstoffe werden Grenzformänderungskurven (FLC) bestimmt, um das Ausmaß zu ermitteln, in dem sie sich durch Ziehen, Strecken oder eine beliebige Kombination aus Ziehen und Strecken verformen lassen. Dieses Ausmaß wird durch das Auftreten von Brüchen und örtlichem Einschnüren begrenzt. Es gibt eine ganze Reihe von Verfahren zur Bestimmung der Grenzformänderung eines Werkstoffs, es sollte jedoch beachtet werden, dass sich Ergebnisse, die nach unterschiedlichen Verfahren erhalten wurden, nicht zur Verwendung für Vergleichszwecke eignen.
- Die FLC beschreibt die Verformungsgrenze eines Werkstoffs im Zustand nach einer festgelegten thermomechanischen Behandlung und in der analysierten Dicke. Für die Beurteilung der Verformbarkeit ist darüber hinaus die Kenntnis der mechanischen Eigenschaften des Werkstoffs und seiner Geschichte vor der Prüfung zur Bestimmung der FLC von Bedeutung.

Für den Vergleich der Verformbarkeit unterschiedlicher Werkstoffe ist es wichtig, nicht nur die FLC, sondern auch die folgenden Parameter zu beurteilen:

- a) mechanische Eigenschaften mindestens in der Hauptrichtung;
- b) die prozentuale proportionale Dehnung bei Maximalkraft nach ISO 6892-1;
- c) r -Wert mit gegebenem Verformungsbereich nach ISO 10113;
- d) n -Wert mit gegebenem Verformungsbereich nach ISO 10275.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von ISO 12004 legt Prüfbedingungen fest, die bei der Erstellung einer für den betreffenden Werkstoff bei Umgebungstemperatur geltenden Grenzformänderungskurve (FLC) mit Hilfe von linearen Formänderungsverläufen anzuwenden sind. Das Prüfmaterial ist eben, metallisch und von einer Dicke zwischen 0,3 mm und 4 mm.

ANMERKUNG Die Begrenzung der Dicke auf bis zu 4 mm wird vorgeschlagen, um das zulässige Verhältnis Dicke/Stempeldurchmesser maximal werden zu lassen.

Für Stahlbleche wird eine Maximaldicke von 2,5 mm empfohlen.

2 Symbole und Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in Tabelle 1 angegebenen Symbole und Begriffe.

Tabelle 1 — Symbole und Begriffe

Symbol	Englisch	Französisch	Deutsch	Einheit
e	Engineering strain	Déformation conventionnelle	Technische Dehnung	%
ε	True strain (logarithmic strain)	Déformation vraie (déformation logarithmique)	Wahre Dehnung (Umformgrad, Formänderung)	—
ε_1	Major true strain	Déformation majeure vraie	Größere Formänderung	—
ε_2	Minor true strain	Déformation mineure vraie	Kleinere Formänderung	—
ε_3	True thickness strain	Déformation vraie en épaisseur	Dickenformänderung	—
σ	Standard deviation	Écart-type	Standardabweichung	—
D	Punch diameter	Diamètre du poinçon	Stempeldurchmesser	mm
D_{bh}	Carrier blank hole diameter	Diamètre du trou du contre-flan	Lochdurchmesser des Trägerblechs	mm
$X(0), X(1), X(m) \dots X(n)$	X-position	Position en X	X-Position	mm
$f(x) = ax^2 + bx + c$	Best fit parabola	Parabole de meilleur fit	Best-Fit-Parabel	—
$f(x) = 1/(ax^2 + bx + c)$	Best fit inverse parabola	Parabole inverse de meilleur fit	Inverse Best-Fit-Parabel	—
$S(0), S(1) \dots S(5)$	Section	Section	Schnitt	—
n	Number of X-positions	Nombre de points en X	Anzahl der X-Positionen	—
m	Section number of the failure position	Numéro de la section correspondant à la rupture	Nummer des Schnittes zum Riss	—
w	Width of the fit window	Largeur de la fenêtre de fit	Breite des Best-Fit-Fensters	mm
t_0	Initial sheet thickness	Épaisseur initiale de la tôle	Ausgangsblechdicke	mm
r	Plastic strain ratio	Coefficient d'anisotropie plastique	Senkrechte Anisotropie	—

Tabelle 2 ermöglicht den Vergleich der in verschiedenen Ländern verwendeten Symbole.

Tabelle 2 — Vergleich der in verschiedenen Ländern verwendeten Symbole

Englisch	Französisch	Deutsch	Deutsches Symbol	Angloamerikanisches Symbol	Format	Einheit
Engineering strain	Déformation conventionnelle	Dehnung	ε	e	—	%
True strain (logarithmic strain)	Déformation vraie	Wahre Dehnung (Umformgrad, Formänderung)	φ	ε	Dezimalzahl	—
$\varepsilon = \ln(1 + e)$	$\varepsilon = \ln(1 + e)$	$\varphi = \ln(1 + \varepsilon)$	—	—	—	—

Im angloamerikanischen Bereich wird für die wahre Dehnung das Symbol „ ε “ verwendet, in den deutschsprachigen Ländern dagegen das Symbol „ φ “.

Das Symbol „ ε “ wiederum wird in den deutschsprachigen Ländern für die technische Dehnung verwendet.

Im Text dieser Norm wird der angloamerikanischen Definition folgend für die wahre Dehnung die Notation „ ε “ verwendet.

3 Kurzbeschreibung

Die FLC dient zur Darstellung der für jeden Werkstoff nahezu spezifischen Verformungsgrenze unter der Annahme eines proportionalen Formänderungsverlaufs. Für die genaue Bestimmung der FLC muss die Reibung im beurteilten Bereich nahe Null sein.

Auf die ebene und noch unverformte Oberfläche eines Schnittteils wird ein deterministisches Raster mit genauen Maßen oder ein stochastisches Muster aufgelegt. Danach wird das Schnittteil entweder nach dem Nakajima-Verfahren oder nach dem Marciniak-Verfahren bis zum Reißen verformt, woraufhin die Prüfung sofort abgebrochen wird.

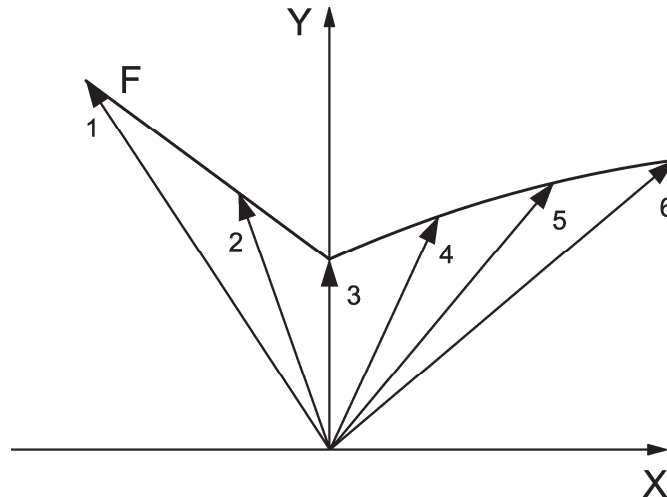
Die Messung sollte mit Hilfe eines „positionsabhängigen“ Verfahrens durchgeführt werden (siehe 5.2).

ANMERKUNG Ein „zeitabhängiges“ Verfahren befindet sich derzeit noch in der Entwicklung.

Danach wird die Verformung (Formänderung) über die gesamte verformte Probe bestimmt, und die gemessenen Formänderungen werden auf eine Weise verarbeitet, die dafür sorgt, dass eingeschnürte oder schadhafte Bereiche nicht in die Ergebnisse eingehen. Anschließend wird durch Interpolieren die maximale Formänderung bestimmt, die der Werkstoff einnehmen kann, ohne Schaden zu nehmen. Dieses Maximum der interpolierten Kurve ist als die Grenzformänderung definiert.

Die Grenzformänderungen werden für mehrere Formänderungsverläufe (verschiedene Verhältnisse von ε_1 zu ε_2) bestimmt. Die ermittelten Formänderungsverläufe reichen von einachsiger bis zu zweiachsiger Zugspannung (Streckziehen). Die gesammelten Daten der einzelnen Grenzformänderungen in unterschiedlichen Formänderungszuständen werden als Grenzformänderungskurve aufgetragen. Die Kurve wird als Funktion der beiden wahren Dehnungen ε_1 und ε_2 auf der Blechoberfläche ausgedrückt und in ein Diagramm, das Grenzformänderungsdiagramm, eingetragen. Die kleineren wahren Dehnungen ε_2 werden auf der x-Achse abgetragen, und die größeren wahren Hauptdehnungen ε_1 auf der y-Achse (siehe Bild 1).

Die Standardumrechnungsformeln erlauben die Berechnung der größeren und kleineren wahren Dehnungen (ε_1 bzw. ε_2). Die im Folgenden verwendete Benennung Formänderung impliziert die wahre Dehnung, die auch als Umformgrad (en: logarithmic strain) bezeichnet wird.



Legende

X = kleinere wahre Dehnung ε_2

Y = größere wahre Dehnung ε_1

F = FLC

1 = einachsige Zugspannung $\varepsilon_2 = -[r/(r+1)] \varepsilon_1$

2 = Zwischen-Zugverformung

3 = zweiachsiger Spannungszustand

4 = Zwischenzustand der Zugverformung

5 = Zwischenzustand der Zugverformung

6 = zweiachsig gleichachsige Zugspannung (= Zugverformungszustand)
 $\varepsilon_2 = \varepsilon_1$

Bild 1 — Darstellung sechs verschiedener Formänderungsverläufe

4 Proben und Prüfeinrichtung

4.1 Proben

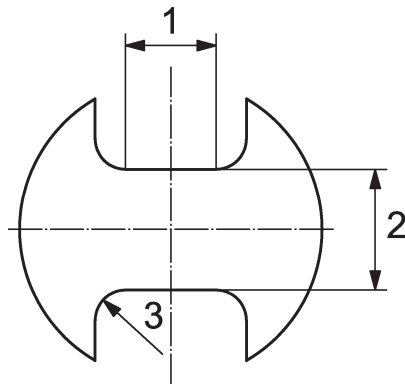
4.1.1 Dicke der Proben

Dieses Verfahren ist für ebene Bleche mit einer Dicke zwischen 0,3 mm und 4 mm vorgesehen.

4.1.2 Probengeometrie

Es werden folgende Geometrien empfohlen:

Ausschussschnitteile mit einer mittigen, parallelen Aussparung von einer Länge, die größer als 25 % des Stempeldurchmessers ist (im Falle von 100-mm-Stempeln: vorzugsweise Aussparungen mit einer Länge von 25 mm bis 50 mm und einem Kehlradius von 20 mm bis 30 mm) (siehe Bild 2).



Legende

- 1 Länge der Aussparung
- 2 verbleibende Breite des Schnittteils
- 3 Kehlradius = $R = 20 \text{ mm bis } 30 \text{ mm}$

Bild 2 — Geometrie von Ausschussproben mit paralleler Aussparungslänge (Knochenform)

Für $\varepsilon_2 > 0$ sind Schnittteile mit halbkreisförmig ausgeschnittenen Aussparungen unterschiedlicher Radien möglich.

Bei Stahl (vor allem für weiche Stahlsorten) genügen rechteckige Bänder unterschiedlicher Breiten, sofern die Proben nicht beim Radius des Schneideisens bzw. Gesenks versagen, anderenfalls ist die oben beschriebene Probengeometrie zu verwenden.

Ist die Außenform der Schnittteile kreisförmig, so lässt sich eine gleichmäßigere Verteilung der experimentell ermittelten Grenzformänderungspunkte erreichen als bei Verwendung rechteckiger Bänder.

4.1.3 Vorbereitung der Proben im Prüfbereich

Fräsen oder Funkenerosion oder sonstige Verfahren, die keine Sprünge, Kaltverfestigung oder eine Änderung der Mikrostruktur verursachen, dürfen angewendet werden, wobei sicherzustellen ist, dass der Bruch niemals von der Kante der Probe ausgeht.

4.1.4 Anzahl der unterschiedlichen Probengeometrien

Für die Beschreibung einer vollständigen FLC sind mindestens fünf Geometrien erforderlich. (Es wird eine gleichförmige Einteilung der FLC von einachsiger zu zweiachsig gleichachsiger Zugspannung angestrebt.)

Falls die Beschreibung einer vollständigen FLC nicht erforderlich ist, darf eine geringere Anzahl an Geometrien verwendet werden, dies muss dann jedoch im Prüfbericht erwähnt werden.

4.1.5 Anzahl der Prüfungen für jede Geometrie

Es sind so viele Proben notwendig, wie erforderlich sind, um mindestens 3 gültige Prüfungen zu erhalten.

4.2 Anwendung des Rasters

4.2.1 Art des Rasters

Als Größe für das Raster wird die Dicke des betreffenden Materials empfohlen (die Rastergröße steht aufgrund der Einschnürungsbreite in Beziehung zur Werkstoffdicke), zulässig ist eine maximale Rastergröße vom 2,5-fachen der Werkstoffdicke, und das für einen 100-mm-Stempel zulässige größte Rastermaß beträgt 2,54 mm (0,1 Zoll). In der Regel werden Rastergrößen von 1 mm oder 2 mm verwendet. Die Verwendung kleinerer Rastergrößen ist häufig aufgrund ihrer mangelnden Genauigkeit begrenzt (falls das unverformte Raster nicht vor Beginn der Prüfung gemessen wird).

Im Falle stochastischer Muster sollte die „virtuelle“ Rastergröße der empfohlenen Rastergröße entsprechen. Es darf jedoch eine kleinere „virtuelle“ Rastergröße verwendet werden.

4.2.2 Rasteranwendung

Deterministische Raster (z. B. Quadrate, Kreise, Punkte) sollten kontrastreich sein und müssen ohne Kerbwirkung und/oder Änderung der Mikrostruktur angewendet werden. Zu den allgemein üblichen Anwendungsverfahren gehören elektrochemische Verfahren, photochemische Verfahren, Offsetdruck und Rastertransfer.

Stochastische (Speckel-)Muster können durch Aufsprühen auf die Probenoberflächen aufgebracht werden. Die Haftung von Anstrichstoffen an der Oberfläche sollte nach der Verformung überprüft werden. Um Rückstrahlungen der Probenoberflächen zu vermindern, darf eine dünne, matte, weiße Grundierung aufgebracht werden. Anschließend kann eine Wolke von zufällig verteilten schwarzen Flecken aufgesprüht werden (z. B. schwarzer Spritzlack oder Graphit).

4.2.3 Genauigkeit des unverformten Rasters

Um die geforderte Systemgenauigkeit von 2 % zu erreichen, sollte die Anfangsgenauigkeit des Rasters auf der Grundlage der einfachen Standardabweichung (1σ) besser als 1 % sein. Dies ist nur für Systeme erforderlich, bei denen der unverformte Zustand nicht in die Bewertung einbezogen wird.

4.3 Prüfeinrichtung

4.3.1 Allgemeines

Die folgenden Parameter gelten sowohl für Nakajima- als auch für Marciniak-Prüfungen.

Stempelgeschwindigkeit: $(1,5 \pm 0,5)$ mm/s

Vermeidung von Einschnüren des Werkstoffs: Das Einschnüren muss so weit wie möglich verhindert werden, um annähernd lineare Formänderungsverläufe sicherzustellen. Mögliche Maßnahmen sind: die Verwendung von Ziehleisten, die Aufbringung geeigneter Kräfte zum Halten des Schnittteils, die Verwendung gezahnter oder gerändelter Werkzeuge (unter der Voraussetzung, dass die beiden letzteren Verfahren kein Risiko der Formänderungsortung oder des Bruchs mit sich bringen).

Kraft zum Halten des Schnittteils in kN: Das Einschnüren muss so weit wie möglich verhindert werden.

Prüftemperatur: (23 ± 5) °C

Prüfrichtung: für eine gegebene FLC ist die Hauptrichtung aller Proben die gleiche in Relation zur Walzrichtung, siehe Bild 3.

Aluminium: längs (Aussparung parallel zur Walzrichtung)

Stahl: quer (Aussparung senkrecht zur Walzrichtung) mit Ausnahme von Sonderfällen

Falls die bevorzugte Versagensrichtung nicht bekannt ist, sollte sie mit Hilfe einer zweiachsigen Dehnungsprüfung oder nach einem beliebigen anderen geeigneten Verfahren ermittelt werden.