

目次

	ページ
序文.....	1
1 適用範囲.....	1
2 引用規格.....	1
3 用語及び定義.....	2
4 記号及び内容.....	2
5 試験の原理.....	3
6 試験装置.....	3
7 試験片.....	3
8 試験.....	3
8.1 試験温度.....	3
8.2 試験の実施.....	3
8.3 塑性ひずみの範囲.....	4
8.4 真応力及び新ひずみの計算.....	6
8.5 n 値の計算.....	6
8.6 結果の丸め.....	7
9 報告.....	7
附属書 JA (参考) JIS と対応国際規格との対比表.....	8

まえがき

この規格は、産業標準化法第 16 条において準用する同法第 14 条第 1 項の規定に基づき、認定産業標準作成機関である一般社団法人日本鉄鋼連盟（JISF）から、産業標準の案を添えて日本産業規格を改正すべきとの申出があり、経済産業大臣が改正した日本産業規格である。これによって、JIS Z 2253:2011 は改正され、この規格に置き換えられた。

この規格は、著作権法で保護対象となっている著作物である。

この規格の一部が、特許権、出願公開後の特許出願又は実用新案権に抵触する可能性があることに注意を喚起する。経済産業大臣は、このような特許権、出願公開後の特許出願及び実用新案権に関わる確認について、責任はもたない。

薄板金属材料の加工硬化指数試験方法

Metallic materials—Sheet and strip—
Determination of tensile strain hardening exponent

序文

この規格は、2007年に第2版として発行されたISO 10275を基とし、技術的内容を変更して作成した日本産業規格である。

なお、この規格で側線又は点線の下線を施してある箇所は、対応国際規格を変更している事項である。技術的差異の一覧表にその説明を付けて、附属書JAに示す。

1 適用範囲

この規格は、薄板金属材料の加工硬化指数（以下、 n 値という。）を測定する方法について規定する。

なお、この方法は、応力-ひずみ線図の塑性域における連続した単調な部分に対してだけ有効である（8.3参照）。

加工硬化範囲で、のこぎり刃状の応力-ひずみ曲線を示すような材料〔ポルトバンール・シャトリエ効果（Portevin-Le Chatelier effect）を示す材料、例えば、アルミニウム・マグネシウム合金〕の場合、再現性のある結果を得るためには、自動による測定方法（真応力の対数及び真ひずみの対数間の直線回帰、8.5参照）を適用することが望ましい。

注記1 この規格では、加工硬化指数の計算に用いるひずみ値は、塑性ひずみの値を用いることとしているが、弾性ひずみが、計算に用いる全ひずみの10%未満である場合には、塑性ひずみに代えて全ひずみを用いてもよいこととしている。

注記2 この規格の対応国際規格及びその対応の程度を表す記号を、次に示す。

ISO 10275:2007, Metallic materials—Sheet and strip—Determination of tensile strain hardening exponent (MOD)

なお、対応の程度を表す記号“MOD”は、ISO/IEC Guide 21-1に基づき、“修正している”ことを示す。

警告 この規格に基づいて試験を行う者は、通常の試験室での作業に精通していることを前提とする。この規格は、その使用に関連して起こる全ての安全上の問題を取り扱おうとするものではない。この規格の利用者は、各自の責任において安全及び健康に対する措置をとらなければならない。

2 引用規格

次に掲げる引用規格は、この規格に引用されることによって、その一部又は全部がこの規格の要求事項

を構成している。これらの引用規格は、その最新版（追補を含む。）を適用する。

JIS B 7721 引張試験機・圧縮試験機—力計測系の校正方法及び検証方法

JIS B 7741 一軸試験に使用する伸び計の検証方法

JIS G 0202 鉄鋼用語（試験）

JIS Z 2241 金属材料引張試験方法

JIS Z 2254 薄板金属材料の塑性ひずみ比試験方法

JIS Z 8401 数値の丸め方

3 用語及び定義

この規格で用いる主な用語及び定義は、次によるほか、**JIS G 0202**による。

3.1

加工硬化指数、 n 値

試験力を単軸方向に適用したときの塑性ひずみ域における真応力の対数と真ひずみの対数との回帰直線の傾き

注釈 1 加工硬化指数は、式(1)における真ひずみ ε の指数 n である。

$$\sigma = C \times \varepsilon^n \quad \text{..... (1)}$$

ここで、
 σ : 真応力
 C : 強度定数

注釈 2 式(1)は、式(2)に変換することが可能である。

$$\ln \sigma = \ln C + n \times \ln \varepsilon \quad \text{..... (2)}$$

4 記号及び内容

n 値を決定するために使用する記号及びその内容を、**表 1**に示す。

表 1—記号及びその内容

記号	内容	単位
A_e	降伏伸び	%
A_g	最大試験力における永久伸び	%
C	強度定数	MPa
e	n 値の測定に使用する所定の塑性ひずみ	%
F	試験力	N
L	伸び計標点距離の瞬時値 $L = L_e + \Delta L$	mm
L_e	伸び計標点距離	mm
ΔL	伸び計伸びの瞬時値	mm
m_E	応力／伸び曲線の弾性域の傾き	MPa
N	n 値の測定に用いる測定点の数	—
n	n 値	—
R	応力	MPa
R_m	引張強さ	MPa
r	塑性ひずみ比	—

S	真断面積（試験力 F における試験片平行部の断面積）	mm^2
S_0	試験片平行部の原断面積	mm^2
A, B, x, y	手動測定による n 値の評価に使用される変数	
ε	真ひずみ	—
σ	真応力	MPa
注記 1 文献によっては、他の記号を用いている場合がある。 注記 2 $1 \text{ MPa} = 1 \text{ N/mm}^2$		

5 試験の原理

試験片平行部に均一塑性ひずみが生じている範囲内で、一定速度の単軸方向引張ひずみを与える。 n 値は、塑性ひずみ域の応力-ひずみ線図の一部、又は全域を対象にして求める。

6 試験装置

- 6.1 引張試験機** 引張試験機は、**JIS B 7721** の等級 1 級以上とする。試験片のつかみ方法は、**JIS Z 2241** の規定による。
- 6.2 伸び計** 標点距離の変位を測定するために用いる伸び計は、**JIS B 7741** の等級 2 級以上とする（**JIS Z 2254** の塑性ひずみ比の測定の場合には、その使用範囲において等級 1 級以上が使用される。）。
- 6.3 寸法測定器** 試験片平行部の幅及び厚さ測定に用いる寸法測定器は、**JIS Z 2241** に規定する試験片の寸法の許容差を測定できる精度とする。

注記 **JIS Z 2241** の**箇条 7**（原断面積の測定）には、“試験片の各寸法は、少なくとも 0.5 % の数値まで測定する。ただし、2 mm 以下の寸法は、0.01 mm にとどめてもよい。”と規定されている。

7 試験片

- a) 試験片の採り方は、それぞれの材料規格による。特に規定のない場合は、受渡当事者間の協定による。試験片の寸法精度、形状の許容差及び表示は、**JIS Z 2241** による。
- b) 塑性ひずみ比及び n 値を同時に測定する場合は、**JIS Z 2254** の条件を適用しなければならない。
- c) 試験片の厚さは、特に規定のない場合は、薄板材料の元の厚さのままとする。
- d) 試験片の表面は、かききずなど試験結果に影響を及ぼすような有害な欠点があってはならない。

8 試験

8.1 試験温度

通常、試験温度は、 $10 \text{ }^\circ\text{C} \sim 35 \text{ }^\circ\text{C}$ の範囲とし、厳格に管理された条件下での試験が要求される場合は、 $(23 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$ とする。ただし、材料規格に規定がある場合は、それによる。

8.2 試験の実施

試験片を、引張試験機に取り付け（**6.1** 参照）、試験力を **JIS Z 2241** に従って軸方向に加える。

塑性域では、試験片平行部のひずみ速度は、それぞれの材料規格で規定のない限り 0.008 s^{-1} を超えてはならない。この試験速度は、 n 値の測定範囲中は一定に保たなければならない。

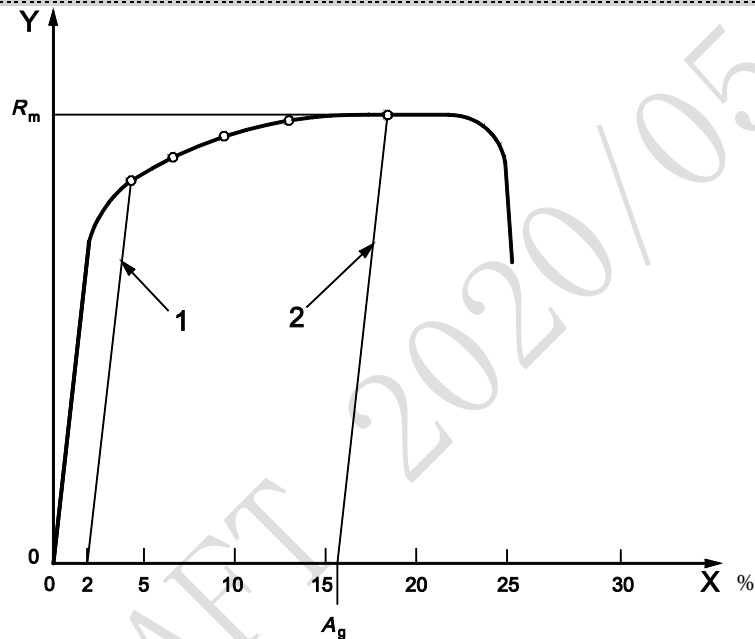
なお、測定時に耐力又は降伏点を同時に測定する場合は、**JIS Z 2241**による。

8.3 塑性ひずみの範囲

均一塑性ひずみ全域を使用して n 値を求める場合、計算に用いる塑性ひずみの最大値は、最大試験力の生じる直前の値とし、最小値については、次による。

- 上降伏点及び／又は下降伏点を示さない材料の場合には、引張強さの測定を行うひずみ速度に到達した点よりも後の値とする（**図 1** 参照）。
- 降伏点（上降伏点及び／又は下降伏点）の現れる材料の場合には、均一な加工硬化の開始時及び引張強さの測定を行うひずみ速度に到達した点よりも後の値とする（**図 2** 及び **図 3** 参照）。

なお、測定範囲の最大塑性ひずみ及び最小塑性ひずみは、記録しなければならない。



記号説明

X : ひずみ %

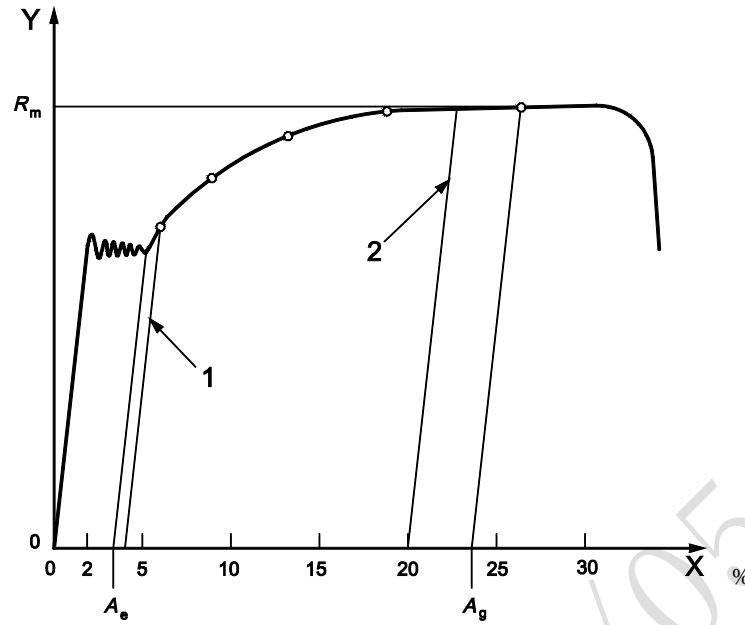
Y : 応力

1 : 測定範囲の最小塑性ひずみ (2%)

2 : 測定範囲の最大塑性ひずみ (20%、ただし A_g が 20% 未満の場合は、 A_g)

注^{a)} n の添字の付け方については、**8.5**を参照。

図 1 - n_{2-20/A_g} ^{a)} 又は n_{2-A_g} ^{a)} の範囲



記号説明

X : ひずみ %

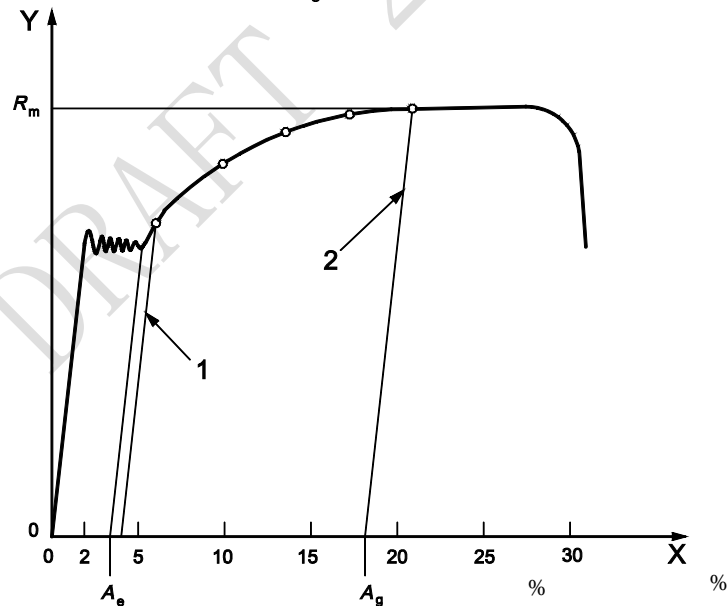
Y : 応力

1 : 測定範囲の最小塑性ひずみ (4%)

2 : 測定範囲の最大塑性ひずみ (20%、ただし A_g が 20% 未満の場合は A_g)

注^{a)} n の添字の付け方については、8.5 を参照。

図 2 - n_{4-20/A_g} ^{a)} 又は n_{4-20} ^{a)} の範囲



記号説明

X : ひずみ %

Y : 応力

1 : 測定範囲の最小塑性ひずみ (4%)

2 : 測定範囲の最大塑性ひずみ (20%、ただし A_g が 20% 未満の場合は A_g)

注^{a)} n の添字の付け方については、8.5 を参照。

図 3 - n_{4-20/A_g} ^{a)} 又は n_{4-A_g} ^{a)} の範囲

8.4 真応力及び新ひずみの計算

試験力及び対応する塑性ひずみを用いて、次の式(3)によって真応力を計算する。

$$\sigma = \frac{F}{S_0} \times \frac{L_e + \Delta L}{L_e} \quad \dots\dots\dots (3)$$

次の式(4)によって、真ひずみを計算する。

$$\varepsilon = \ln\left(\frac{L_e + \Delta L}{L_e} - \frac{F}{S_0 \times m_E}\right) \quad \dots\dots\dots (4)$$

弾性ひずみが、全ひずみの 10 %未満である場合には、式(4)に代えて式(5)によってもよい。

$$\varepsilon = \ln \frac{L_e + \Delta L}{L_e} \quad \dots\dots\dots (5)$$

注記 1 ISO 10275:1993 では、 n 値の計算は、全ひずみを用いて行っていた。従来のデータ及び取引で用いる多くの協定では、この計算方法[式(5)]で得られた結果を基に規定値が定められている。

注記 2 対応国際規格では、塑性ひずみによる式(4)のみを規定している。

物理的な観点によって、真ひずみを算出するためには、式(4)の原断面積 S_0 の代わりに、式(6)による真断面積 S を使用するのがよい。しかし、経験的に S 又は S_0 によって得られる結果に大きな差異のないことが証明されているので、計算を簡便にするために式(4)では原断面積 S_0 を使用することが望ましい。

$$S = S_0 \times \frac{L_e}{(L_e + \Delta L)} \quad \dots\dots\dots (6)$$

8.5 n 値の計算

測定を限られたデータ点数で評価する場合は、等比数列的に少なくとも 5 点以上のデータを用いて、最小二乗法を使用して、式(2)によって n 値を計算する (図 1 参照)。この目的で、式(2)は、次のように書き直すことができる。

$$y = Ax + B$$

ここで、

$$y = \ln \sigma$$

$$x = \ln \varepsilon$$

$$A = n$$

$$B = \ln C$$

この式から、 n 値に対して式(7)が導きだされる。

$$n = \frac{N \sum_{i=1}^N x_i y_i - \sum_{i=1}^N x_i \sum_{i=1}^N y_i}{N \sum_{i=1}^N x_i^2 - (\sum_{i=1}^N x_i)^2} \quad \dots\dots\dots (7)$$

自動で測定する場合には、 n 値は、直接、自動引張試験機及びデータ処理プログラムによって得ることが可能である。

n 値は、真応力の対数と真ひずみの対数との直線回帰から求める。直線回帰を求める区間は、2 %以上の塑性ひずみの範囲をもたなければならない。同じ試験を基に、異なる塑性ひずみの区間を用いて n 値を測定してもよい。

n 値の測定に用いた塑性ひずみの範囲は、下付きの添字によって表す (次の例を参照)。

例 n_{4-6} : 4 % ~ 6 % の塑性ひずみ域での直線回帰 $\log \sigma = n \times \log \varepsilon + \log C$

n_{10-15} : 10 % ~ 15 % の塑性ひずみ域での直線回帰 $\log \sigma = n \times \log \varepsilon + \log C$

n_{10-20/A_g} : A_g が 20 %未満のひずみの場合で、10 %～20 %の塑性ひずみ域で 20 %に代えて A_g までの直線回帰 $\log\sigma=n\times\log\varepsilon+\log C$

n_{2-20/A_g} : A_g が 20 %未満のひずみの場合で、2 %～20 %の塑性ひずみ域で 20 %に代えて A_g までの直線回帰 $\log\sigma=n\times\log\varepsilon+\log C$

最小ひずみ及び最大ひずみの範囲が指定されている場合 (例えば, n_{10-15}) で, A_g の値が指定の最大ひずみよりも小さい場合は, n 値は測定できない。

なお, 式(1)の指数式に従うことが既知な材料に対しては, n 値の測定に用いる最小データ数は二つでよい。

注記 1 2点法の場合, 式(7)は, 式(8)となる。

$$n = \frac{y_1 - y_2}{x_1 - x_2} \dots\dots\dots (8)$$

真ひずみ ε と塑性ひずみ e との関係 $\varepsilon = \ln(1+e)$ を用いて式(8)を書き直すと式(9)となる。

$$n = \frac{\log \frac{(1+e_1)F_1}{(1+e_2)F_2}}{\log \frac{\log(1+e_1)}{\log(1+e_2)}} \dots\dots\dots (9)$$

ここで, e_1, e_2 : それぞれ 2 点の塑性ひずみ
 F_1, F_2 : e_1, e_2 に対応した試験力 (N)

したがって, n 値は, 2 点の塑性ひずみ及び試験力だけを用いて式(9)によって算出することが可能である。

注記 2 ひずみ硬化率 (strain hardening rate) と応力との関係を計算し, グラフ化することも有用である。

8.6 結果の丸め

n 値は, 特に指定のない場合は, JIS Z 8401 の規則 A によって, 小数点以下 2 位に丸める。

9 報告

報告が必要な場合には, 受渡当事者間の協定のない限り, 少なくとも次の項目を含む。なお, 受渡当事者間の協定によって, 次の項目の一部を省略してもよい。

- a) この規格に従って試験したことの記述
- b) 試験材料を識別するために必要な情報
- c) 使用した試験片の種類
- d) n 値を測定した塑性ひずみの範囲 (8.5 の例を参照)
- e) 手動で測定した場合は, n 値を測定するために使用したデータの数
- f) 試験結果
- g) この規格に規定のない (受渡当事者間の協定などによる) 実施事項

附属書 JA
(参考)
JIS と対応国際規格との対比表

JIS Z 2253		ISO 10275 : 2007, (MOD)		
a) JIS の箇条番号	b) 対応国際規格の対応する箇条番号	c) 箇条ごとの評価	d) JIS と対応国際規格との技術的差異の内容及び理由	e) JIS と対応国際規格との技術的差異に対する今後の対策
1	1	追加	JIS では、注記で全ひずみの適用に関する 注記 を追加した。	全ひずみ適用削除を検討する。
6.2	6.2	変更	JIS では、伸び計の等級を 2 級以上とした。	国内の実態に合わせた。次回改正では、対応国際規格との整合を検討する。
6.3	6.3	追加	JIS では、試験片寸法の測定に関わる引用規格の規定内容を情報として追加した。	技術的差異はない。
8.3	8.4	変更	JIS では、測定範囲の最大塑性ひずみ及び最小塑性ひずみを報告から記録に変更した。	技術的差異は小さい。
8.4	8.5	追加	JIS では、全ひずみの適用に関する規定を追加した。	全ひずみ適用削除を検討する。
			JIS では、注記として、対応国際規格が塑性ひずみを用いた計算のみを規定していることを追加した。	技術的差異はない。
8.5	8.7	追加	JIS では、2 点の測定値を用いたの計算方法を追加した。	ISO へ提案する。
9	9	追加	JIS では、報告事項を受渡当事者間の協定によって一部省略できることにした。	国内の実態に合わせた。技術的差異は小さい。
<p>注記 1 箇条ごとの評価欄の用語の意味を、次に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> － 追加：対応国際規格にない規定項目又は規定内容を追加している。 － 変更：対応国際規格の規定内容又は構成を変更している。 <p>注記 2 JIS と対応国際規格との対応の程度の全体評価の記号の意味を、次に示す。</p> <ul style="list-style-type: none"> － MOD：対応国際規格を修正している。 				