

## 技 術 資 料

### 鋼材鍛錬成形比(鍛造比)の新規格について

近 藤 八 三\*

#### SOME REMARKS ON THE NEW JIS, "SYMBOLS OF FORMING RATIO FOR STEEL FORGINGS" —A REVIEW—

*Hachizo Kondo*

#### I. 緒 言

鍛鋼品の製造に当つては一般に鍛造比の指定があり、鍛錬効果保証の重要な指標とされている。わが国では、鋼材の各種鍛錬作業に対する鍛造比算出方式

鋼材鍛錬作業の称呼および鍛造比表示方式

JIS 第 428 号 G 54

(昭和 13 年 12 月 19 日決定)

として JIS に定め、爾来 20 年にわたつてこの規格は鍛鋼品の製造、検査、商取引に活用されて来たが、これは世界に先がけたものであつて、海外の諸規格にはこれに相当する例を見ない。

この鍛造比の規格は、当時日本学術振興会第 19 小委員会において制定されたものをそのまま受継いだのであるが、新発足した JIS の一つとして切りかえるに当つて種々検討を加えた結果、鍛造比算出の根拠、鍛造比の持つ意義などについて新しい見解が確立され、この精神に立脚した新規格は

鋼材鍛錬作業の鍛錬成形比の表わし方

JIS G 0701—1957

として去る昭和 32 年 6 月 28 日制定され、旧騰印刷配布の段階となつた。ここにいう鍛錬成形比とは、鍛造の前後の形状を比較して算出する鍛錬の成形程度を表わす比であつて、大多数の鍛錬作業に対しては、旧称鍛造比と同一の数値を有する数である。

日本鍛鋼会ではさきに工業技術院より JIS の鍛造比規格の改訂に関して原案の作製を委嘱され、昭和 30 年 10 月より一昨昭和 31 年 3 月にいたるまで数回の技術委員会にはかつて慎重研究の結果一つの成案をえたが、この原案はその後日本工業標準調査会金属部会鍛造比専門委員会の審議を経て、上述のごとくに制定された次第である。

原案の作製より新規格の制定にいたるまでの各段階の研究および審議を経て、鍛造比（旧称）に関する国内の関係各位の総意は、新規格の解説書にあますところなく盛られているが、筆者らは原案作製に当つて JIS の鍛造比制定当時の記録がとぼしかつたことと、後述のごとく鍛錬鍛造にはいくたの問題が残されており従つて新規格にもまた当然さらに脱皮すべき機会の早晚訪れるべきことを思い、ここに今回の改訂に当つての討論の経緯を簡単に取纏めて、つぎの改良に資したいと思う。

詳細は文末に附属せしめた規格とその解説書に譲り、骨子のみを敷衍して述べることにする。

#### II. 鍛錬鍛造に関する諸問題と新規格の主要改良点

鍛錬鍛造には周知のごとく成形と材質改善との二つの目的がある。成形とは製品に所要の形状を付与することであり、また材質改善とは機械的性質の改善および鋼材の内部欠陥の是正などを指すのであるが、前者を指して鍛造といい、両者を含めた意味で鍛錬ということが多いようである。

成形は材質の改善と密接な関係を有するが、しかし鍛造比のみによつて鍛錬の効果を判断するのは早計である。何となれば鍛造比は最初の鋼塊形状と最終打上り形状との間で算出するものであり、たとえ変形度が同一であつても、鋼塊の大きさおよび欠陥の程度、化学成分、および加工条件（例えば加熱条件、プレスの容量および速度、金敷の寸法および形状、圧下量など）あるいはそれらの組合わせによつて材質改善の程度の異なる場合があ

\* 日本製鋼所室蘭製作所次長，日本鍛鋼会技術委員会委員長

\* 日本学術振興会，学術部第 19 小委員会報告 V (昭 12—9)，p. 24—50

り、また材質改善自体についても、機械的性質の改善と内部欠陥の是正とが両立せぬ場合もあり得る。すなわち材質改善の程度は必ずしも鍛造比のみによつては表わし得ないのであつて、製品の使用目的あるいは応力状態をも省みずにとかくある方向の鍛造比のみを大きくしさえすれば良いと考えられがちであつたことは注意を要する。一方向の材質改善にはこれと直角の方向の材質劣化を伴うことは今日もはや常識である。

かくのごとき観点から、今回の新規格の作製に当つては従来の“鍛造比”を“鍛錬成形比”と呼びかえ、成形のみを問題とすることにしたのであつて、新規格のこの根本思想は解説書の序文にまず明瞭にされている。従つてまた、これは新規格の一つの限界を示すものでもある。

つぎに鍛錬成形比算出式誘導の細部に入つて、新規格が旧規格に比べて格段に進歩したと考えられる点は、歪の取扱い方を塑性変形論に則つた根拠の明瞭な体系に納めたことである。従来の算出方式は、一例を引いていえば断面積  $A$  のものを断面積  $a$  まで鍛伸したから鍛造比は  $A/a$  であるといつた類いで、体積不変律を念頭に置くなれば、この場合径方向、あるいは切線方向の歪の取扱いをどう決めるべきかこの問題は直ちに想到されねばならぬ筈であつた。今回は塑性論の根拠から出発して一貫した論議を進めた結果、旧規格の盲目鍛錬と穿孔鍛錬は現段階ではその鍛錬成形比を合理的に表現することが困難なため規格から除くこととし、また算出式自体は変らない実体、据込、中空、穴拡げの四つの鍛錬法の場合も、その意義は紛れのない基礎の上に置かれることとなつた。なお古くから型用鋼などに適用されている鍛錬法は従来実体鍛錬の一部とされて来たが、今回これを展伸鍛錬として独立させた。この場合の変形過程は本質的には3次元的である\*から、最大歪のほかにこれにつぐ大きさの歪を附記して、歪の方向性を完全に記述することをはかつた。

また歪の方向性の考慮から、いくつかの鍛錬法が連続重畳して実施される場合に対する鍛錬成形比は、各単一鍛錬における鍛錬成形比の相乗積とせず連記する形式とし、成形の過程と順序とを明示し得るようになつてある。

以上のごとく新規格はその根拠において、また表現において、旧規格に比していちじるしい改変を遂げたのであるが、しかしその大筋は旧規格の精神になるべく忠実

\* 展伸鍛錬以外の鍛錬作業の鍛錬成形比は、実際的な観点から円塘座標に従つて記述してある。この場合変形は軸対称的であるから長さ方向の歪(一様)が与えられると切線方向の歪は一義的に求められる。2次元と同等な変形過程である。

たらんとしたものであつて、いたづらに新しきにつくといつたごときものではない。

### III. 原案の作製とその討議

工業標準化法の制定施行に伴い JES 規格はすべて昭和 29 年 3 月末で廃止されたが、鍛造比の規格も新たに日本工業規格 (JIS) の一つとして制定されることになつていたにも拘らず、諸般の事情から一時空白状態に置かれていた。そこでこれに伴う製造上、商取引上の種種の問題を避けるべく、昭和 30 年 4 月日本鍛鋼会より工業技術院宛に關係の JIS 制定の必要を具申する一方、同会技術委員会において JES の鍛造比に関する規格を中心に種々研究を重ねていた。

昭和 30 年 10 月 5 日、工業技術院より日本鍛鋼会宛に鍛造比に関する工業標準原案作製の委託があつたので同会技術委員会では数回の会合を重ねて一案を作り、昭和 31 年 2 月 28 日これを工業技術院に答申した。

昭和 31 年夏には、日本工業標準調査会金属部会(部会長三島徳七博士)に「鍛造比専門委員会」(委員長早稲田大学教授山内弘博士)が構成され、前記答申案は同年 10 月および 11 月の専門委員会で討議を尽された後、金属部会の最終審議を経て前述のごとく新規格として制定された次第である。

この間の経緯については、日本鑄鋼会および日本鍛鋼会発行の「鑄鋼、鍛鋼情報」につぎのごとく掲載されている。

第 22 号 (昭 30-2), p. 31~35; 第 23 号 (昭 30-4) p. 9~12; 第 24 号 (昭 30-7), p. 38~45; 第 25 号 (昭 30-10), p. 40~41; 第 27 号 (昭 31-2), p. 74~83; 第 28 号 (昭 31-4), p. 39~49; 第 32 号 (昭 31-8), p. 35; 第 34 号 (昭 31-10), p. 50~52; 第 37 号 (昭 32-2), p. 65.

以上 9 冊の内、22~25号は工業技術院の委嘱を受けるまでの日本鍛鋼会技術委員会での討論、27~32号は委嘱を受けてから答申するまでの同委員会での討論と答申案 34 および 37 号は専門委員会における討議を紹介しているが、詳細は同誌に譲り、ここでは省略する。

### IV. 今後に残された問題

前述のごとく、新規格は旧規格に比べてかなり進歩したものと信ずるが、その反面種々の問題も残されている。筆者の感じている主なものはつぎの諸点である。

#### i) 表現上の問題

a) 数式の取扱い方: この規格は性質上理論的、数学

的表現が多く、実際日常の活用に対して果して抵抗なきやいなや、筆者は工業規格のあり方という点から一抹の懸念を抱いている。しかし一方では、案の作製に当つた優れた委員の中にはさらに正確な表現を望まれた人もある。

b) 添字(サフィックス): 新規格では歪の方向性の明確化に徹底すべく、鍛錬作業の種類を示す添字を書加えることとしたのであるが、これは正確な反面、煩わしさを増すことは事実である。

a) および b) とともに、いずれ今後3年間の使用実績に照らしての批判を受けて、この規格が工業規格本来のあり方に一層適応した形へと発展変貌することを願つて止まない。

#### ii) 規格の範囲

新規格は鋼材の熱間フリー・フォーミングのみを規定しているが、フリー・フォーミングでも「温間」あるいは冷間で行われることがあり、またフリー・フォーミングと他の鍛造法(広義)との境界の明瞭でない場合もある。従つて規格の範囲をどの辺に置くべきかについては固確たる根拠を求め難く、これまた今後変化の予想される点である。

#### iii) 鍛錬効果の問題

前述のごとく、鍛錬作業の二つの目的である成形と材質改善とはたがいに独立ではなく、成形は材質改善に大きな影響をおよぼすのであるが、その程度は従来漠然と考えられて来たほどには決定的なものではなく、場合によつていちじるしく異なるようである。いわゆる鍛錬効果におよぼす前述のごとき個々の条件およびそれらの任意の組合せの影響については、残念ながら一貫した認識がないのであり、これまで発表されて来たいわゆる「鍛造比の影響」に関する諸報告も、とくに大型品に対しては必ずしも充分なものではないようである。

この問題は実に複雑であるのみならず、いわゆる mass effect のため、小型のモデルによる試験はあまり意味がなく、従つて研究には多大の費用と時間とを要するほか、同一特性の鋼塊も得難いなど、その解明は至難の仕事である。

しかし問題は正にこの点にあるのであつて、われわれは新規格に明瞭にした変形過程の表現を足がかりに、普遍性のある資料の蓄積へと根強く進まねばならぬ。

## V. 結 言

最近制定公布された鋼材鍛錬成形比の新規格について JES からの改訂の経緯、新規格の主要改良点、今後の

研究課題などを中心として総括的に御紹介した。細部は文末の附録を御覧願いたい。もとより新規格も完全なものではない。今後この規格が気鋭の方方によつて実際の有用性と理論的明澄性とがさらに止揚されるための踏石となるならば、それこそ筆者らの本懐である。

この規格の制定に当つては、原案の作製から専門委員会での審議にいたるまで、早稲田大学教授山内弘博士の終始変らぬ御指導を戴いた。われわれは世界をリードするこの規格の生みの親として、山内先生に深い敬意と感謝を捧げたい。

また原案の作製に熱心に参加された日本鍛鋼会技術委員会の委員各位、とくに新崎正治、河合正吉、小河弘の諸氏、ならびに種々御尽力された同会調査課長今村実氏に対しても、同様心から御礼申上げる。(昭和33年2月寄稿)

## 附 録

規格の第1刷(昭和32年11月20日発行)にはかなりのミスプリントがある。これらの内明白なものを訂正してここに御紹介する。

## 日本工業規格

### 鋼材鍛錬作業の鍛錬成形比の表わし方

JIS G 0701—1957

(昭和32年6月28日制定)

#### 1. 適用範囲

この規格は鋼材の熱間鍛錬作業における鍛錬成形比の表わし方について規定する。

#### 2. 鍛錬成形比

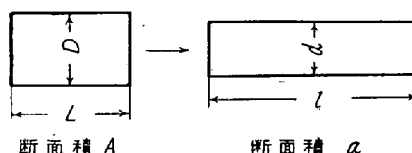
2.1 各種の鍛錬作業により鍛錬された鋼材の鍛錬成形比は3方向の主ヒズミ中、常に最大ヒズミの方向の変形比で表示する。

2.2 鍛錬成形比の表示方法は原則として鍛錬作業の種類を、定められた記号で添記して工程順に明りように記載する。

#### 3. 鍛錬作業の種類および鍛錬成形比の表わし方

##### 3.1 実体鍛錬

実体を鍛錬しその断面積を減少し長さを増した場合これを実体鍛錬といい、その鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。



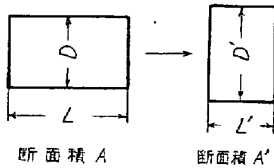
鍛錬成形比:  $\frac{A}{a}$  または  $\frac{l}{L}$

作業種類記号: S

表示例: 2S

3.2 スエ込鍛錬

実体を鍛錬しその断面積を増し長さを減少した場合はこれをスエ込鍛錬といい、その鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。

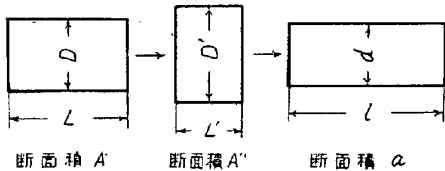


鍛錬成形比:  $\frac{1}{\frac{L}{L'}}$

作業種類記号: U

表示例:  $\frac{1}{2}U$

ただしこれに実体鍛錬を併せた場合はその鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。

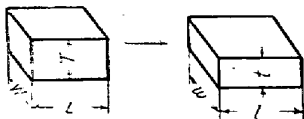


鍛錬成形比:  $\frac{1}{\frac{L}{L'} \cdot \frac{A'}{a}}$  または  $\frac{1}{\frac{L}{L'} \cdot \frac{l}{L'}}$

表示例:  $\frac{1}{2}U3S$

3.3 展伸鍛錬

実体角材を1方向より圧縮し、圧縮方向に直角な2方向の変形度にいちじるしい差を生ずるような鍛錬を展伸鍛錬といい、その鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。ただし圧縮はT方向に行い  $l/L > w/W$  とする。



鍛錬成形比:  $\frac{1}{\frac{t}{t'}} \left( \frac{l}{L} \right)$

作業種類記号: F

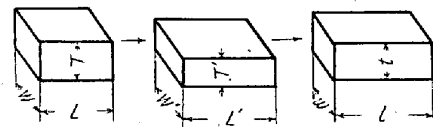
表示例:  $\frac{1}{2} (1.7) F$

2方向よりの展伸鍛錬を併せた場合はその鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。たとえばはじめの展伸では  $L'/L > W'/W$  とし、つぎの展伸ではW方向に圧縮するものとすれば、

鍛錬成形比

(1)  $\frac{l}{L'} > \frac{t}{T'}$  の場合  $\frac{1}{\frac{T}{T'}} \left( \frac{L'}{L} \right), \frac{1}{\frac{w}{W'}} \left( \frac{l}{L'} \right)$

(2)  $\frac{l}{L'} < \frac{t}{T'}$  の場合  $\frac{1}{\frac{T}{T'}} \left( \frac{L'}{L} \right), \frac{1}{\frac{w}{W'}} \left[ \frac{t}{T'} \right]$



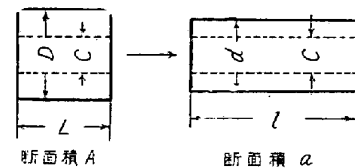
表示例: (1) の場合  $\frac{1}{2} (1.7) F, \frac{1}{2.2} (1.8) F$

(2) の場合  $\frac{1}{2} (1.6) F, \frac{1}{2.2} [1.9] F$

ここで(1)の場合は1.7と1.8との方向は同じであるが、(2)の場合は1.6と1.9との方向が異なるので、これをとくに大ガッコ記号で区別する。なお第2次の圧縮をL方向に行う場合も、以上に準じて表示する。

3.4 中空鍛錬

中空体を鍛錬し中空のままその断面積を減少し長さを増した場合これを中空鍛錬といい、その鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。

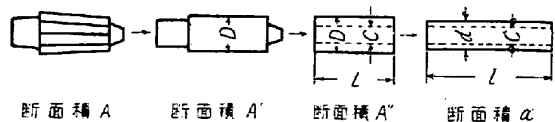


鍛錬成形比:  $\frac{A}{a}$  または  $\frac{l}{L}$

作業種類記号: M

表示例: 3M

ただし鋼塊の荒延べ(実体鍛錬)を併せた場合はその鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。

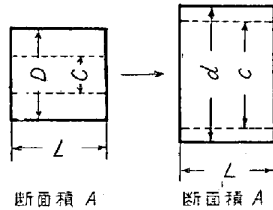


鍛錬成形比:  $\frac{A}{A'}$ ,  $\frac{l}{L}$  または  $\frac{A}{A'}$ ,  $\frac{A''}{a}$

表示例: 2.5S 3M

3.5 穴ヒロゲ鍛錬

中空体を鍛錬しその中空部を拡大した場合はこれを穴ヒロゲ鍛錬といい、その鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。

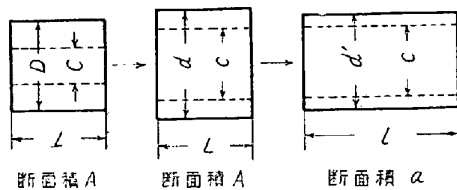


鍛錬成形比:  $\frac{D-C}{d-c}$

作業種類記号: E

表示例: 2E

ただし穴ヒロゲ鍛錬後中空鍛錬を併せた場合は、その鍛錬成形比をつぎのとおり表示する。



鍛錬成形比:  $\frac{D-C}{d-c}$ ,  $\frac{l}{L}$

表示例: 2E 3M

- 備考
1. 鋼塊の断面積はその平均値をもつて表示する。
  2. 鍛錬成形比は2.1に記したように3方向主ヒズミのうちの最大なものの変形比で表わすが、この主ヒズミの値は変形比の自然対数値を求めることによつてえられる。
  3. 鍛錬成形比の数値（スエ込鍛錬および展伸鍛錬は分母）は4捨5入によつて整数を採用することを原則とし、必要ある場合は小数点以下第1位までをとる。

例: 1. 鋼塊荒延べと中空鍛錬とを併せた場合は

$$\frac{A}{A'}, \frac{l}{L} = \frac{6300\text{cm}^2}{4840\text{cm}^2}, \frac{535\text{cm}}{135\text{cm}} = 1.3S 4M$$

2. スエ込鍛錬、実体鍛錬および穴ヒロゲ鍛錬を併せた場合は

$$\frac{1}{L'}, \frac{A'}{a}, \frac{D-C}{d-c}$$

$$= \frac{1}{\frac{320\text{cm}}{128\text{cm}}}, \frac{41600\text{cm}^2}{38000\text{cm}^2}, \frac{150\text{cm}}{36\text{cm}} = \frac{1}{2.5} U. 1.1S 4.2E$$

鋼材鍛錬作業の鍛錬成形比の

表わし方  
解 説

1. ま え が き

従来の海外諸規格を見ると、いわゆる鍛造比を規定している例はない。わずかに船用鍛鋼品に対して、早くから各船級協会の規格に鋼塊の断面積に対する鍛鋼品の断面積比が規定されているに過ぎない。

わが国においてはさらに進んで日本学術振興会第19小委員会において各種の鍛錬作業に対する鍛造比が制定され、これがそのまま JES に引継がれて今日にいたつている。この試みは基礎的資料の不足という点からは時期尚早のうらみはあつたが、諸外国に先んじて先駆的役割を果たした意味は大きい。

一般に鍛錬作業には成形と材質改善との二つの目的がある。

成形とは製品に所要の形状を付与することをいい、材質改善とは機械的性質の改善および鋼材の内部欠陥の是正などをいう。この規格では両者を含めたものを鍛錬といい、その成形比の表示方法について規定した。

成形は材質の改善と密接な関係を持つ。たとえば鋼塊を鍛伸する場合、鍛伸の程度が増大すればある程度までは鍛伸方向における機械的性質は改善されるが、これと直角方向ではかえつて劣化し、いわゆる方向性があらわれる。またスエ込に鍛伸を組合せた鍛錬を行うと、鍛鋼品の方向性は比較的少く、しかも全般的な材質改善の効果のあらわれることは鍛錬技術者の常識である。

しかし変形度が同一であつても、鋼塊の大キサ・化学成分および加工条件（たとえば加熱条件・プレス機の容量・金敷の寸法および形状・圧下量など）によつて材質改善の程度の異なる場合がある。すなわち材質改善の程度は必ずしも鍛錬成形比によつてあらわしえない。

このように加えた塑性変形の程度とその効果との間の普遍的な定量的関係を求めることは現状においてはいまだきわめて困難であるので、今回この規格の制定に当つては JES 同様鍛錬成形比の表示方式を定めるにとどめた。

ただし JES の鍛造比表示方式にはいくたの疑問が認められるので、塑性度形の理論に照らして算式の根拠を明確にし、また矛盾するものは除外することとした。

よつてこの鍛錬成形比を使用するに当つては、十分にこれらの点を考慮する必要がある。

2. 新旧両規格の比較と鍛錬成形比算出の根拠

ここにいう新旧規格とは、それぞれ JIS G 0701 および JES 第 428 号 G 54 (昭和 13 年 12 月 19 日決定) を指す。

2.1 新旧両規格の比較

この規格と旧規格とのおもな相違点はつぎのとおり変形度を代表するヒズミの意義を検討したことである。

(i) 三つの主ヒズミ中の最大値をもつて変形度を代表させ、これより鍛錬成形比を算出した。

(ii) ヒズミの方向性を明確に考慮した。

この原則に従つて第 1 に実体鍛錬・スエ込鍛錬・中空鍛錬および穴ヒロゲ鍛錬は従来とほぼ同じ表示方式をとつたが、メクラ鍛錬およびセン孔鍛錬のような複雑な成形過程に対しては簡単な表示方式を定めることはむづかしく、また鍛錬成形比の鍛錬効果におよぼす影響についても不明な点の多い現状では無理な点が多いので、この二つを除外することとした。その理由の詳細は 3. に述べてある。

第 2 に鍛錬成形比に鍛錬作業の種類を示す添字 (サブイックス) を付して、これを工程順に記載することによつて各段階における鍛錬成形比を区別し、かつ鍛錬成形過程を知り得るようにした。

なお添字は実体鍛錬 (Solid Forging), スエ込鍛錬 (Upsetting Forging), 展伸鍛錬 (Flatting Forging), 中空鍛錬 (Mandrel Forging), 穴ヒロゲ鍛錬 (Enlarging Forging) の頭文字を採用した。

第 3 の改良点は実際作業にしばしば用いられる実体角材を 1 方向より圧縮し、圧縮方向に直角な 2 方向の変形度にいちじるしい差を生ずるような鍛錬を展伸鍛錬と呼び、これを新たに加えた点である。

なお新規格では適用の範囲を熱間の鍛錬作業に限定し、かつまた鍛錬作業の種類を自由鍛錬 (フリー・フォーギング) のみとしたが、これも旧規格との相違点である。

2.2 鍛錬成形比算出の根拠

塑性学の示す所によれば、塑性変形における大きな変形度は対数ヒズミをもつてあらわすのが合理的である。たとえば長サ  $L_0$  の棒が  $L_1$  まで伸びるときの対数ヒズ

ミは

$$\bar{\epsilon} = \int_{L_0}^{L_1} \frac{dl}{l} = \log_e \frac{L_1}{L_0} \dots\dots\dots (1)$$

であらわされる。

今長サ  $x_0$ , 巾  $y_0$ , 厚サ  $z_0$  なる体積素片を変形して長サ  $x_1$ , 巾  $y_1$ , 厚サ  $z_1$  とすれば体積不変律より

$$\frac{x_1}{x_0} \cdot \frac{y_1}{y_0} \cdot \frac{z_1}{z_0} = 1$$

両辺の対数をとれば

$$\log_e \frac{x_1}{x_0} + \log_e \frac{y_1}{y_0} + \log_e \frac{z_1}{z_0} = 0$$

あるいは  $\bar{\epsilon}_x + \bar{\epsilon}_y + \bar{\epsilon}_z = 0$

実際鍛錬作業の場合は円トウ座標に従つて

$$\bar{\epsilon}_l + \bar{\epsilon}_t + \bar{\epsilon}_r = 0 \dots\dots\dots (2)$$

とあらわすのが便利である。ただし  $\bar{\epsilon}_l, \bar{\epsilon}_t, \bar{\epsilon}_r$  はそれぞれ軸方向、切線方向および半径方向の対数ヒズミをあらわす。

式 (2) に示すとおり、各種鍛錬成形過程における三つの主ヒズミの和は一定すなわち零であるから、三つの主ヒズミの絶対値の大小を比較することができる。この規格では前述のように絶対値の最大なる主ヒズミをとりこれによつて変形度を代表させた。

しかし現場的には対数ヒズミであらわされた絶対値の最大なる主ヒズミそのものよりも、それに対応する変形比の方が取扱いやすいから、鍛錬成形比としてはこの変形比をとることとした。なおここでたとえば鍛錬成形比が 2.5 のときの最大ヒズミの絶対値は

$$\log_e 2.5 = 0.916$$

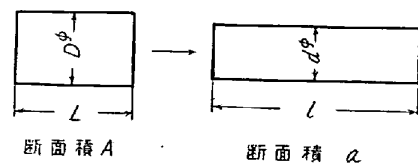
であり、また鍛錬成形比が 5 のときは

$$\begin{aligned} \log_e 5 &= \log_e 2.5 + \log_e 2 \\ &= 0.916 + 0.693 = 1.609 \end{aligned}$$

であつて、鍛錬成形比の倍数と主ヒズミの倍数とは必ずしも一致しないことに留意されたい。

このような考えに立つて各鍛錬過程に対する鍛錬成形比を計算するとつぎのようになる。

2.2.1 実体鍛錬



鍛錬成形比:  $\frac{A}{a}$  または  $\frac{l}{L}$

$$\bar{\epsilon}_l = \log_e \frac{l}{L} = \log_e \frac{A}{a} \dots\dots\dots (3)$$

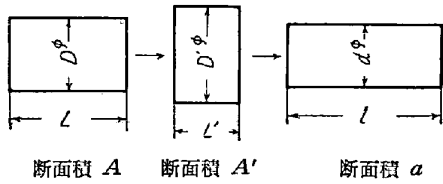
また  $\bar{\epsilon}_t$  は半径にそつて一定値をもち、その値は

$$\bar{\epsilon} = -\frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} = -\frac{1}{2} \bar{\epsilon}_l \dots\dots\dots (4)$$

である。

式(2)および(4)によつて  $\bar{\epsilon}_l$  が最大であるからこの場合の鍛錬成形比は(3)式より  $A/a$  または  $l/L$  をとる。

2.2.2. スエ込鍛錬



鍛錬成形比:  $\frac{1}{L}, \frac{A'}{a}$  または  $\frac{1}{L}, \frac{l}{L'}$

スエ込鍛錬の場合も実体鍛錬の場合と全く同様に  $\bar{\epsilon}_l$  が最大である。上図のようにスエ込後実体鍛錬を行う場合を考えると、変形は明らかに2段階に行われるから、まず第1段の変形では圧縮変形をとつて

$$\bar{\epsilon}_{l1} = \log_e \frac{1}{L} = \log_e \frac{1}{A'}$$

第2段の変形では伸び変形より

$$\bar{\epsilon}_{l2} = \log_e \frac{l}{L'} = \log_e \frac{A'}{a}$$

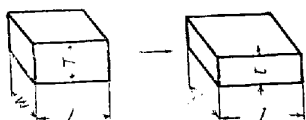
全変形より

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_l &= \bar{\epsilon}_{l1} + \bar{\epsilon}_{l2} = \log_e \frac{1}{L} \cdot \frac{A'}{a} \\ &= \log_e \frac{1}{L} \cdot \frac{l}{L'} \dots\dots\dots (5) \end{aligned}$$

$\frac{1}{L}, \frac{A'}{a}$  または  $\frac{1}{L}, \frac{l}{L'}$  を鍛錬成形比とする。

2.2.3. 展伸鍛錬

(i) 単純な展伸鍛錬の場合 (ただし圧縮はT方向に行い  $l/L > w/W$  とする)



鍛錬成形比:  $\frac{1}{T} \left( \frac{l}{L} \right)$

この場合  $l/L = w/W$  であるときはスエ込鍛錬にほかならない。よつて  $l/L \neq w/W$  である場合を対象とするが、簡単のために  $l/L > w/W$  としても一般性は損われない。しかるとき各方向の主ヒズミは

$$\bar{\epsilon}_t = \log_e \frac{t}{T} = -\log_e \frac{T}{t} = \log_e \frac{1}{T/t}$$

$$\bar{\epsilon}_w = \log_e \frac{w}{W}$$

$$\bar{\epsilon}_l = \log_e \frac{l}{L}$$

となり

$$\bar{\epsilon}_t = -(\bar{\epsilon}_w + \bar{\epsilon}_l), \bar{\epsilon}_l > \bar{\epsilon}_w > 0$$

であるから、絶対値の最大なる主ヒズミは  $\bar{\epsilon}_t$  となり、最小なる主ヒズミは  $\bar{\epsilon}_w$  となる。よつて鍛錬成形比は最大の主ヒズミに対応する変形比にこれに次ぐ大キサの主ヒズミに対応する変形比を付記して

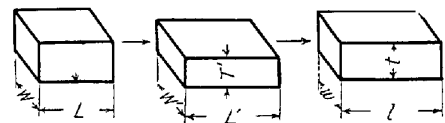
$$\frac{t}{T} \left( \frac{l}{L} \right) = \frac{1}{T} \left( \frac{l}{L} \right) \dots\dots\dots (6)$$

とする。

(ii) 2方向のよりの展伸鍛錬を合併した場合

たとえばはじめのT方向の圧縮では  $L'/L > W'/W$  とし、つぎのW方向の展伸では

- 鍛錬成形比
- (1)  $\frac{l}{L'} > \frac{t}{T'}$  である場合  $\frac{1}{T'} \left( \frac{L'}{L} \right), \frac{1}{w} \left( \frac{t}{L'} \right)$
- (2)  $\frac{l}{L'} < \frac{t}{T'}$  である場合  $\frac{1}{T'} \left( \frac{L'}{L} \right), \frac{1}{W'} \left[ \frac{t}{T'} \right]$



作業は2段階に行われ、第1段階では式(6)より

$$\text{鍛錬成形比} = \frac{1}{T'} \left( \frac{L'}{L} \right)$$

第2段階では同様に

鍛錬成形比

- (1)  $\frac{l}{L'} > \frac{t}{T'}$  である場合  $\frac{1}{w} \left( \frac{l}{L'} \right)$
- (2)  $\frac{l}{L'} < \frac{t}{T'}$  である場合  $\frac{1}{W'} \left[ \frac{t}{T'} \right]$

全変形については

鍛錬成形比

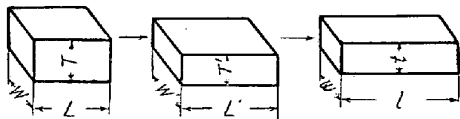
$$(1) \frac{l}{L'} > \frac{t}{T'} \text{ である場合 } \frac{1}{T'} \left( \frac{L'}{L} \right), \frac{1}{W'} \left( \frac{l}{L'} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$(2) \frac{l}{L'} < \frac{t}{T'} \text{ である場合 } \frac{1}{T'} \left( \frac{L'}{L} \right), \frac{1}{W'} \left[ \frac{t}{T'} \right] \dots\dots\dots (8)$$

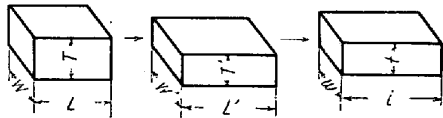
となる。

式 (7) の場合と式 (8) の場合の相違を示せばつぎの通りである。

式 (7) の場合



式 (8) の場合



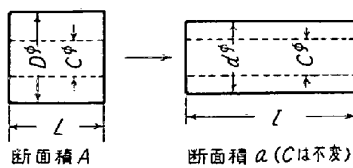
式(7)の場合には第2段階の変形により角材は一方(すなわちLの方向)に著しく長さを増すが、式(8)の場合には第2段階の変形により角材は原形に復帰する方向をたどることが知られる。

すなわち式(8)の場合の鍛錬成形比の大ガッコの記号は第2段階の変形により原形に復帰する傾向を示すものである。

なお第2次の圧縮をL方向に行う場合も以上に準じて表示できるが、比較の実用性に乏しいばかりでなく表示を複雑にするので省略した。

2.2.4 中空鍛錬

(i) 中空鍛錬だけの場合



鍛錬成形比:  $\frac{A}{a}$  または  $\frac{l}{L}$

下に示したとおり、この場合は  $\bar{\epsilon}_l$  が最大であるから

$$\bar{\epsilon}_l = \log_e \frac{l}{L} = \log_e \frac{A}{a} \dots\dots\dots (9)$$

鍛錬成形比は  $A/a$  または  $l/L$  をとる。

備考  $\bar{\epsilon}_t$  の求め方

鍛錬成形前に半径  $x_0$  にあつた体積素片が鍛錬成形後に半径  $x_1$  に移つたとすれば、相対応する体積素片  $x_0$  および  $x_1$  に関する切線方向ヒズミは

$$\bar{\epsilon}_t = \log_e \frac{2\pi x_1}{2\pi x_0} = -\log_e \frac{x_0}{x_1}$$

半径  $x_0$  および  $x_1$  の内側の体積の不変であることよ

$$\pi \left( x_0^2 - \frac{C^2}{4} \right) L = \pi \left( x_1^2 - \frac{C^2}{4} \right) l$$

$$\therefore x_0 = \sqrt{\frac{l}{L}} \sqrt{x_1^2 - \frac{C^2}{4}} \left( 1 - \frac{L}{l} \right)$$

$$\therefore \bar{\epsilon}_t = -\log_e \frac{\sqrt{\frac{l}{L}} \sqrt{x_1^2 - \frac{C^2}{4}} \left( 1 - \frac{L}{l} \right)}{x_1}$$

いま

$$\pi x_1^2 = F, \quad \frac{\pi C^2}{4} = F_0$$

と置くと

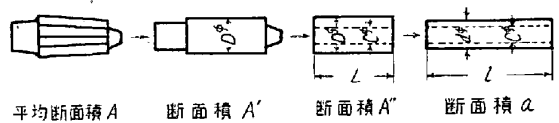
$$\bar{\epsilon}_t = -\frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} - \frac{1}{2} \log_e \frac{F - F_0(1 - L/l)}{F} \dots\dots\dots (10)$$

式(9)と式(10)とを比較すると

$$\bar{\epsilon}_l \approx -2 \bar{\epsilon}_t$$

であるが、式(10)の右辺の第2項は第1項よりも小さい。

(ii) 鋼塊の荒延べと合併する場合



鍛錬成形比:  $\frac{A}{A'}$ ,  $\frac{l}{L}$  または  $\frac{A}{A''}$ ,  $\frac{A''}{a}$

作業は2段階に行われ、第1段階では式(3)より

$$\bar{\epsilon}_{l1} = \log_e \frac{A}{A'}$$

穴あけおよび荒延べ材の上下端切断は鍛錬成形でないとするれば、第2段の変形では式(9)より

$$\bar{\epsilon}_{l2} = \log_e \frac{l}{L} = \log_e \frac{A''}{a}$$

全変形については

$$\bar{\epsilon}_l = \bar{\epsilon}_{l1} + \bar{\epsilon}_{l2} = \log_e \frac{A}{A'} \cdot \frac{l}{L}$$

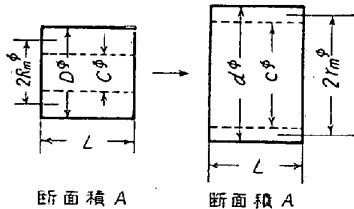


$$= \log_e \frac{A}{A'} \cdot \frac{A''}{a} \dots\dots\dots (11)$$

これより  $\frac{A}{A'}$ ,  $\frac{l}{L}$  または  $\frac{A}{A'}$ ,  $\frac{A''}{a}$  を鍛錬成形比とする。

2.2.5 穴ヒロゲ鍛錬

(i) 穴ヒロゲ鍛錬のみの場合



鍛錬成形比:  $\frac{D-C}{d-c}$

この場合は

$$\bar{\epsilon}_l = 0, \quad \bar{\epsilon}_t = -\bar{\epsilon}_r$$

であるから、いま  $\bar{\epsilon}_t$  を求めると

$$\begin{aligned} \text{断面積} &= \frac{\pi}{4}(D^2 - C^2) = \frac{\pi}{4}(D+C)(D-C) \\ &= \pi R_m(D-C) \\ &= \frac{\pi}{4}(d^2 - c^2) = \frac{\pi}{4}(d+c)(d-c) = \pi r_m(d-c) \end{aligned}$$

(ただし  $R_m$  および  $r_m$  は平均半径である)

より  $R_m$  および  $r_m$  における体積素片が変形の前後に近似的に相対応するものと仮定すれば

$$\bar{\epsilon}_t = \log_e \frac{2\pi r_m}{2\pi R_m} = \log_e \frac{D-C}{d-c} \dots\dots\dots (12)$$

$\frac{D-C}{d-c}$  を鍛錬成形比とする。

備考  $\bar{\epsilon}_t$  の厳密解は式 (10) と同様に計算して

$$\bar{\epsilon}_t = \frac{1}{2} \log_e \frac{F}{F - (F_0 - f)}$$

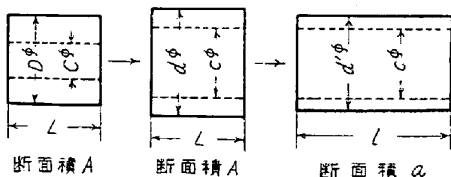
ただし  $F = \pi x_1^2$ ,  $x_1$  は鍛錬後の鋼材の任意の半径

$$F_0 = \frac{\pi c^2}{4}$$

$$f = \frac{\pi C^2}{4}$$

この  $\bar{\epsilon}_t$  は現場での使用に対して複雑にすぎるので、JES と同じ算式を式 (12) の意味でとつた。

(ii) 穴ヒロゲ鍛錬後中空鍛錬する場合



鍛錬成形比:  $\frac{D-C}{d-c}, \frac{l}{L}$

穴ヒロゲ鍛錬では式 (12) より

$$\bar{\epsilon}_{t1} = \log_e \frac{D-C}{d-c}$$

中空鍛錬では式 (9) より

$$\bar{\epsilon}_{l2} = \log_e \frac{l}{L}$$

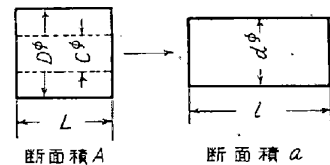
全変形については

$$\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}_{t1} + \bar{\epsilon}_{l2} = \log_e \frac{D-C}{d-c} \cdot \frac{l}{L} \dots\dots\dots (13)$$

すなわち  $\frac{D-C}{d-c}, \frac{l}{L}$  を鍛錬成形比とする。

3. メクラ鍛錬およびセン孔鍛錬を除外した理由

3.1 メクラ鍛錬を除外した理由.



2.2 の各項の計算と同様に

$$\bar{\epsilon}_l = \log_e \frac{l}{L} = \log_e \frac{A}{a} \dots\dots\dots (14)$$

であり、また

$$A = \frac{\pi}{4}(D^2 - C^2) = \pi R_m(D-C)$$

$$a = \frac{\pi}{4}d^2 = \pi r_m d$$

より、式 (12) の場合と同様に考えれば

$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}_t &= \log_e \frac{2\pi R_m}{2\pi r_m} = \log_e \frac{d}{D-C} \cdot \frac{A}{a} \\ &= \log_e \frac{d}{D-C} \cdot \frac{l}{L} \dots\dots\dots (15) \end{aligned}$$

がえられる。

いま  $\bar{\epsilon}_t$  の厳密解を求めるために式 (10) の場合と同様にして、鍛錬成形前に半径  $x_0$  にあつた体積素片が鍛錬成形後に半径  $x_1$  に移つたとすれば、相対応する体積素片  $x_0$  および  $x_1$  に関する切線方向ヒズミは

$$\bar{\epsilon}_t' = \log_e \frac{x_1}{x_0}$$

半径  $x_0$  および  $x_1$  の内側の体積の不変であることより

$$\pi \left( x_0^2 - \frac{C^2}{4} \right) L = \pi x_1^2 l$$

$$\therefore x_0 = \sqrt{\frac{l}{L}} \sqrt{x_1^2 + \frac{L-C^2}{l}}$$

$$\therefore \bar{\epsilon}'_t = -\log_e \sqrt{\frac{l}{L} \frac{\sqrt{x_1^2 + \frac{L-C^2}{l}}}{x_1}}$$

いま  $\pi x_1^2 = F, \frac{\pi C^2}{4} = f_0$

とすれば

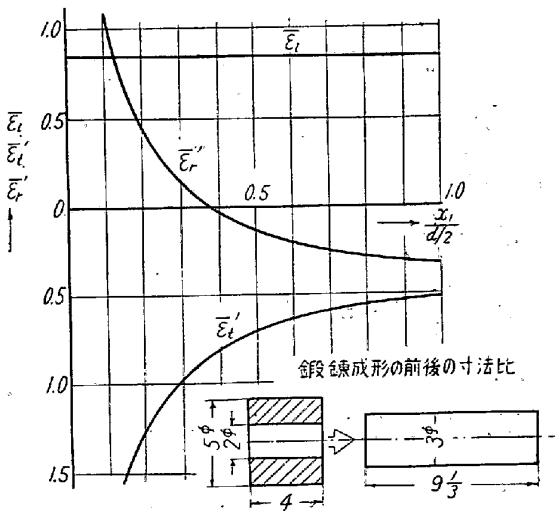
$$\bar{\epsilon}'_t = -\frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} - \frac{1}{2} \log_e \frac{F + \frac{L}{l} f_0}{F} \dots\dots (16)$$

を得る。式 (2), (14) および (16) より

$$\bar{\epsilon}'_r = -\log_e \frac{l}{L} + \frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} + \frac{1}{2} \log_e \frac{F + \frac{L}{l} f_0}{F}$$

$$= -\frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} + \frac{1}{2} \log_e \frac{F + \frac{L}{l} f_0}{F} \dots\dots (17)$$

これらの式によつて  $\bar{\epsilon}'_t, \bar{\epsilon}'_r$  の  $x_1$  に対する変化の一例を示せば下図のとおりであり、 $\bar{\epsilon}'_t$  および  $\bar{\epsilon}'_r$  の軸心付近における値がそれぞれ  $-\infty$  および  $+\infty$  に近づくことが知られる。

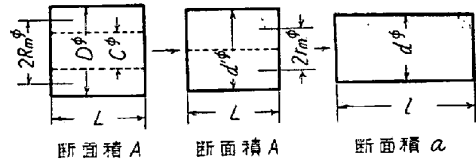


もちろん実際には成形比が $\infty$ なることはないはずであるが、いずれにせよこの場合の  $\bar{\epsilon}'_t$  あるいは  $\bar{\epsilon}'_r$  を半径に関係しない平均値たとえば式 (15) のような式で表わすことはできず、逆にまた半径位置によつて異なる  $\bar{\epsilon}'_t$  あるいは  $\bar{\epsilon}'_r$  に対応する鍛錬成形比を規定することは実用上疑問である。従つて変形度と鍛錬効果との間に普遍的定量的関係が確立されていない現在としては、このメクラ鍛錬に対する鍛錬成形比を規定しない方が合理的と考えられ、新規格から除外することとした。

備考 JES における算式

$$\sqrt{\frac{D+C}{D-C}} \times \frac{l}{L} \text{ または } \sqrt{\frac{D+C}{D-C}} \times \frac{A}{a} \text{ の検討}$$

いまメクラ鍛錬の工程を2段に分けて図のような経過をたどるものとするれば



$$A = \frac{\pi}{4} (D^2 - C^2) = \pi R_m (D - C)$$

$$= \frac{\pi}{4} d'^2 = \pi r_m d'$$

より、第1段の変形では

$$\bar{\epsilon}'_{t1} = \log_e \frac{2\pi R_m}{2\pi r_m} = \log_e \frac{d'}{D-C}$$

$$= \log_e \sqrt{\frac{D^2 - C^2}{(D-C)^2}} = \log_e \sqrt{\frac{D+C}{D-C}}$$

第2段の変形では

$$\bar{\epsilon}'_{t2} = \log_e \frac{l}{L} = \log_e \frac{A}{a}$$

全変形については

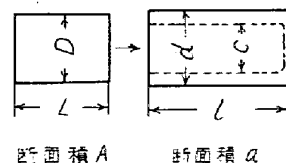
$$\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}'_{t1} + \bar{\epsilon}'_{t2} = \log_e \sqrt{\frac{D+C}{D-C}} \cdot \frac{l}{L}$$

$$= \log_e \sqrt{\frac{D+C}{D-C}} \cdot \frac{A}{a} \dots\dots (18)$$

すなわち JES では  $\sqrt{\frac{D+C}{D-C}} \cdot \frac{l}{L}$  または  $\sqrt{\frac{D+C}{D-C}} \cdot \frac{A}{a}$  を鍛錬成形比としたものと思われるが、メクラ鍛錬は2工程の和ではなくて1工程であるから、単一の鍛錬成形比をとらなければならないし、またそうでなければ上述の実体・スエ込・延伸・中空および穴ヒロゲ鍛錬の場合の推論とも一致しない。

さらに軸心部附近の大きな変形を考慮しなければならない点は上述と同様である。

### 3.2 セン孔鍛錬を除外した理由



式 (14) および (15) の場合と同様にして

$$\bar{\epsilon}_t = \log_e \frac{l}{L} = \log_e \frac{A}{a} \dots\dots\dots (19)$$

$$\bar{\epsilon}_t = \log_e \frac{2\pi r_m}{2\pi R_m} = \log_e \frac{D}{d-c} \cdot \frac{a}{A} \dots\dots (20)$$

3.1 の場合と同様に鍛錬成形前に半径  $x_0$  にあつた体積素片が鍛錬成形後に半径  $x_1$  に移つたとすれば、相对应する体積素片  $x_0$  および  $x_1$  に関する切線方向ヒズミは

$$\bar{\epsilon}'_t = \log_e \frac{x_1}{x_0}$$

半径  $x_0$  および  $x_1$  の内側の体積が不変であることにより

$$\pi x_0^2 L = \pi x_1^2 - \frac{c^2}{4} l$$

$$\therefore x_0 = \sqrt{\frac{l}{L}} \sqrt{x_1^2 - \frac{c^2}{4}}$$

$$\therefore \bar{\epsilon}'_t = -\log_e \sqrt{\frac{l}{L}} \frac{\sqrt{x_1^2 - \frac{c^2}{4}}}{x_1}$$

簡単のために

$$\pi x_1^2 = F, \quad \frac{\pi c^2}{4} = F_0$$

とおくと

$$\bar{\epsilon}'_t = -\frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} + \frac{1}{2} \log_e \frac{F}{F-F_0} \dots\dots\dots (21)$$

従つて

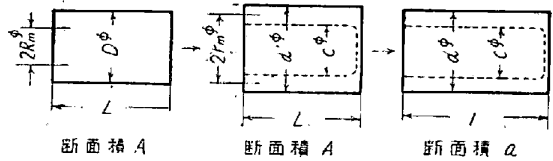
$$\begin{aligned} \bar{\epsilon}'_r &= -\log_e \frac{l}{L} + \frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} - \frac{1}{2} \log_e \frac{F}{F-F_0} \\ &= -\frac{1}{2} \log_e \frac{l}{L} - \frac{1}{2} \log_e \frac{F}{F-F_0} \dots\dots\dots (22) \end{aligned}$$

式 (21) および (22) より明らかであるように、 $\bar{\epsilon}'_t$  および  $\bar{\epsilon}'_r$  はうがつた穴の内面付近でそれぞれ  $+\infty$  あるいは  $-\infty$  に近づくから、上述 3.1 の場合と同じ理由でこの規格から際外することとした。

備考 JES における算式  $\frac{D}{d-c} \times \frac{A}{a}$  の検討

JES における算式は上述と同様の推論では求められない。しいて想像すれば、工程を二つに分けて図のような経過をたどるものとするとき、第1段の変形に対して

は



$$\bar{\epsilon}_{t1} = \log_e \frac{2\pi r_m}{2\pi R_m} = \log_e \frac{D}{d'-c}$$

第2段の変形に対しては式 (9) より

$$\bar{\epsilon}_{t2} = \log_e \frac{A}{a} = \log_e \frac{l}{L}$$

全変形に対しては

$$\bar{\epsilon} = \bar{\epsilon}_{t1} + \bar{\epsilon}_{t2} = \log_e \frac{D}{d'-c} \cdot \frac{A}{a} \dots\dots\dots (23)$$

となるが、 $d'=d$  にならない限り JES の算式の成立しないのは明らかでこれは誤りである。

これに加えて軸心部付近の大きな変形を考慮しなければならない点は上述と同様である。

#### 4. む す び

以上新規格における鍛錬成形比算出方式およびその根拠について、鍛錬と鍛錬成形との区別・鍛錬成形比にとる変形の大キサとその方向とを明確にしながら解説を加え、とくに旧規格に対する改良点を明らかにした。

しかしはじめに述べたとおり、この鍛錬成形比だけによつて鋼材の材質改善の効果を判断することはできない。従来ややもすれば鍛錬成形比を大きくしさえすれば良いと考えられたことはこの点からとくに注意を要する。

またこの意味においては新規格も暫定的なものといえよう。むしろわれわれはここに明りようにし得た成形過程の表示を利用して、まえがきに列挙したような諸条件の鍛錬効果におよぼす影響についての資料の蓄積につとめ、できるだけ近い将来において鍛錬効果の普遍的定量的表示方式の制定可能となる時を待望する。

#### 5. 鍛錬成形比新旧比較表

鍛錬成形比新旧比較表

鍛錬成形比新旧比較表		(I) 実体鍛錬		(II) スエス鍛錬(実体鍛錬を合併した場合)		(III) 展伸鍛錬		(IV) 2方向よりの展伸鍛錬を合併した場合	
鍛錬略図	旧法								
	新法								
表示方式(例)	旧法	$\frac{A}{a}$ または $\frac{l}{L}$	$\frac{A'}{a} \left( \frac{L}{L'} \right)$	$\frac{1}{L'} \cdot \frac{l}{a}$ または $\frac{1}{L'} \cdot \frac{l}{L'}$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$
	新法	$\frac{A}{a}$ または $\frac{l}{L}$	$\frac{1}{L'} \cdot \frac{l}{a}$ または $\frac{1}{L'} \cdot \frac{l}{L'}$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$	$\frac{1}{L'} \left( \frac{l}{L} \right)$
特徴	旧法	2	3 (2)	スエス鍛造比のみを区別する。	$\frac{1}{2} (1.7) F$	$\frac{1}{2} (1.7) F$	$\frac{1}{2} (1.7) F$	$\frac{1}{2} (1.7) F$	$\frac{1}{2} (1.7) F$
	新法	2S	$\frac{1}{2} U3S$		$\frac{1}{2} (1.7) F$	$\frac{1}{2} (1.8) F$	$\frac{1}{2} (1.6) F$	$\frac{1}{2} (1.6) F$	$\frac{1}{2} (1.6) F$
<p>(1) 三つの主ヒズミ中の最大ヒズミに対応する変形比を示す。 (2) 鍛錬作業の種類を示す。 (3) 鍛錬成形の過程を示す。</p>									
鍛錬略図	旧法								
	新法								
表示方式(例)	旧法	$\frac{A}{a}$ または $\frac{l}{L}$	$\frac{A''}{a}$ または $\frac{l}{L}$	$\frac{A}{A'} \times \frac{l}{L}$ または $\frac{A}{A'} \times \frac{A''}{a}$	$\frac{A}{A'} \times \frac{l}{L}$ または $\frac{A}{A'} \times \frac{A''}{a}$	$\frac{D-C}{d-c}$	$\frac{D-C}{d-c}$	$\frac{D-C}{d-c}$	$\frac{D}{c-d} \times \frac{A}{a}$
	新法	$\frac{A}{a}$ または $\frac{l}{L}$	$\frac{A}{A'} \times \frac{l}{L}$ または $\frac{A}{A'} \times \frac{A''}{a}$	$\frac{A}{A'} \times \frac{l}{L}$ または $\frac{A}{A'} \times \frac{A''}{a}$	$\frac{A}{A'} \times \frac{l}{L}$ または $\frac{A}{A'} \times \frac{A''}{a}$	$\frac{D+C}{D-C} \times \frac{l}{L}$ または $\sqrt{\frac{D+C}{D-C} \times \frac{A}{a}}$	$\frac{D+C}{D-C} \times \frac{l}{L}$	$\frac{D+C}{D-C} \times \frac{l}{L}$	$\frac{D}{c-d} \times \frac{A}{a}$
特徴	旧法	3	7.5		2	6	4	3	
	新法	3M	2.5S 3M		2E	2E3M			
<p>(1) 三つの主ヒズミ中の最大ヒズミに対応する変形比を示す。 (2) 鍛錬作業の種類を示す。 (3) 鍛錬成形の過程を示す。</p>									