



温間鍛造の現状

湯浅 紘二*・鈴木 康夫**

Recent Trend of Warm Forging Technology

Koji YUASA and Yasuo SUZUKI

1. ま え が き

鉄鋼材料の鍛造は古来 1000°C 以上の高温で行われる熱間鍛造が普通であつて、それ以下の温度で鍛造されることはほとんどなかつた。しかし第二次大戦中に冷間鍛造が開発され、その後急速に発達し、今日では広く普及している。ところが、熱間と冷間との中間の温度域で鍛造する温間鍛造は冷間鍛造よりもさらに遅れて発達してきた。熱間鍛造からしだいに温度を低下しながら、温間鍛造を経過して、冷間鍛造に至るといふ発達をしながらの発展は、一見不思議なことであつた。冷間鍛造が発達してはじめて、中間の温度域があらためて見直されるようになったものと思われる。

この中間温度域で従来の熱間鍛造や冷間鍛造よりも有利に鍛造しようとするのが温間鍛造の考え方である。端的に言えば、冷間鍛造よりも温度を高くすることによって被加工材の変形抵抗を低くし、熱間鍛造よりも温度を低くすることによって、鍛造品の寸法精度を高くすることが、温間鍛造の目的である。また、温間鍛造品には機械的性質が向上する効果も見出されており、この面の活用も期待できる。生産面では、冷間鍛造では困難な強度の高い材料のトランスファー鍛造が容易になるなどの利点がある。

このようなことから、従来かぎられた分野で行われていた温間鍛造が、ここ数年急速に普及するようになってきて、写真 1 に示すように各種の部品が鍛造されるようになった。

本文では、温間鍛造の特徴、基礎的事項、問題点などを解説し、最後にいくつかの温間鍛造実施事例を紹介する。

2. 温間鍛造の特徴

2.1 温間鍛造の利点

(1) エネルギーの消費が少ない。温間鍛造では焼鈍が不要なため、エネルギー消費が冷間鍛造の数分の 1 程

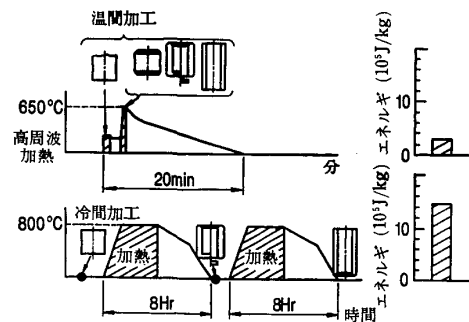


図 1 鍛造のリードタイムとエネルギーの比較



写真 1 温間鍛造品の例

昭和 61 年 2 月 10 日受付 (Received Feb. 10, 1986) (依頼解説)

* 小松キャスト・エンジニアリング(株)金型事業部副部長 (Die and Mold Department, Komatsu Cast Engineering Co., Ltd., 5 Youkaichi-Jikata Komatsu Ishikawa pref. 923)

** (株)小松製作所栗津工場プレス開発センター課長 (現: (株)小松製作所プレス工作部) (Press Technical Center, Awazu Plant, Now Press Manufacturing Department, Komatsu Ltd.)

度で済む(図1)。

(2) 材料の加工硬化が少なくなるので、中間焼鈍が省略できるため多工程にわたるトランスファー鍛造が可能となるとともにリードタイムが大幅に短縮できる(図1)。

(3) 加熱による変形抵抗の低下と変形能の向上により、冷間鍛造では困難な難加工材の鍛造が可能となる。

(4) 冷間鍛造品に比べ成形品のじん性が向上する。ある加工条件によつては焼入れ焼もどし材に匹敵する強じん性が得られ、熱処理の廃止が期待できる。

(5) 熱間鍛造とは異なり、鍛造品の酸化や脱炭による不良品の心配はほとんど無い。

2.2 温間鍛造の欠点

(1) 金型材料の選定と寿命の推定が難しい。

使用プレス、生産ピッチあるいは冷却潤滑方法によつて金型寿命が著しく変化する。またこれらに関するデータが乏しいため温間鍛造導入時のコスト計算が難しくなり、予測がはずれたりばらついたりする危険が残る。

(2) 冷間鍛造に比べ精度が若干低下する。

3. 加工温度の設定

温間鍛造の加工温度を設定するにあたって、まず加工温度での荷重(変形抵抗)を知る必要がある。変形抵抗に対する温度の影響は静的な引張試験と動的な実際の加工では同じでない。荷重を推定するには、できるだけ実際に近い加工条件で求めたデータを利用するのが望ましい。図2はメカニカルプレスで各種の材料を成形したデータを利用しやすいようにまとめたものである¹⁾。

500°Cを超えると変形抵抗が急激に低下する。金型の耐熱性の点では、加工温度が低いほうがよいが、材料の変形能の点からは温度が高いほうがよい。潤滑方法や鍛造品表面粗度を配慮すると、鉄鋼材料では600°C~900°Cで鍛造するのがよく、一般的に言えば700°C前後が最も良いと考えられる。

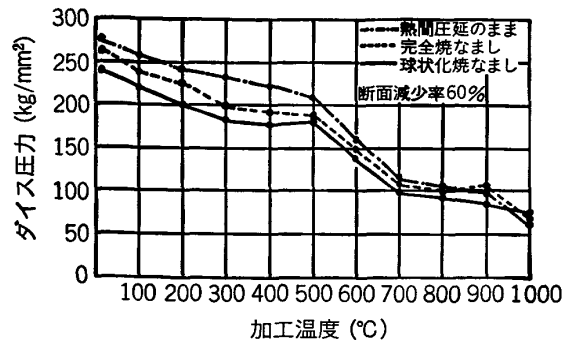


図3 S43C材の前方押し出し加工における変形抵抗におよぼす素材熱処理の影響

冷間鍛造の場合よりもわずかでも荷重低減をしたい時に、200°C~300°Cで鍛造する場合もある。

図3は、S43C材の素材条件と変形抵抗の関係を調べたものであるが、熱間圧延材(未焼鈍材)を200°C~300°Cに加熱すれば、焼鈍材の常温と同程度の変形抵抗となる。これを利用すれば焼鈍を省略できる。また焼鈍をしても常温では成形困難な材料をこの温度に加熱することにより鍛造できる場合がある。

閉塞鍛造およびステンレス鋼²⁾の鍛造でこの温度範囲を採用することがある。

この温度での鍛造は基本的には冷間鍛造の延長ではあるが、素材に処理したりん酸亜鉛皮膜の耐熱限界を超える場合には焼付きを生じやすいので、温間鍛造技術の範囲として取り扱うほうが現実的な解決策を得ることができる。

4. 温間鍛造における潤滑

温間鍛造においては、冷間鍛造におけるりん酸亜鉛皮膜処理のような決定的な潤滑方法はない。現在最もよく行われているのは、被加工材(以下、素材と称する)には黒鉛をコーティングし、金型には水の中に黒鉛を懸濁させた液を噴射する方法である。

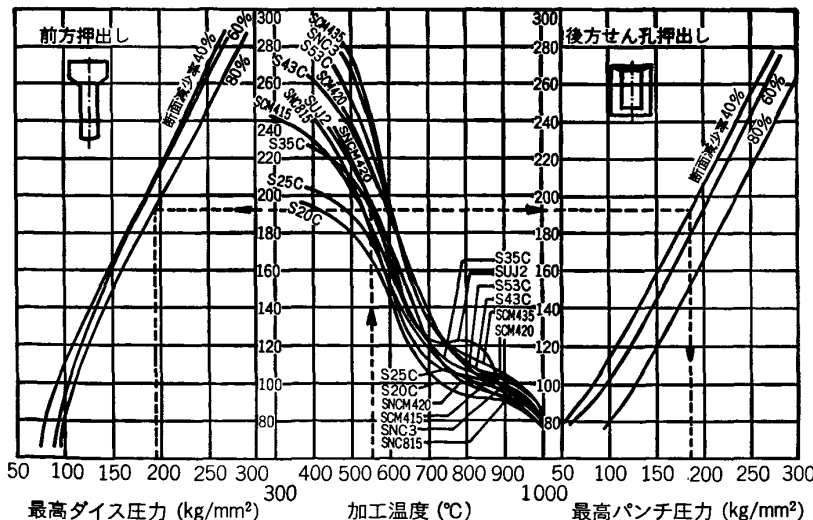


図2 鋼の前方押し出しおよび後方せん孔押し出しにおける最高ダイス圧力および最高パンチ圧力を求めるための計算図表

潤滑剤 GM番号	市販名称	内 容
I	Bonderlube 235	ナトリウムせっけん
II	Molydag 15	二硫化モリブデンベースの潤滑剤の水溶液
III	Delta 31	黒鉛の水分散液
IV	dag 1713K	コロイド状黒鉛の水溶液
V	VN 4096	水溶性合成油中に高濃度の固体潤滑剤 (黒鉛, 無機りん酸塩) を入れたもの
VI	VN 4111	同 上
VII	VN 4112	水溶性合成油中に高濃度の固体潤滑剤 (黒鉛, 硫化亜鉛を入れたもの)
VIII	Pnosphatherm RN,S	りん酸塩潤滑剤

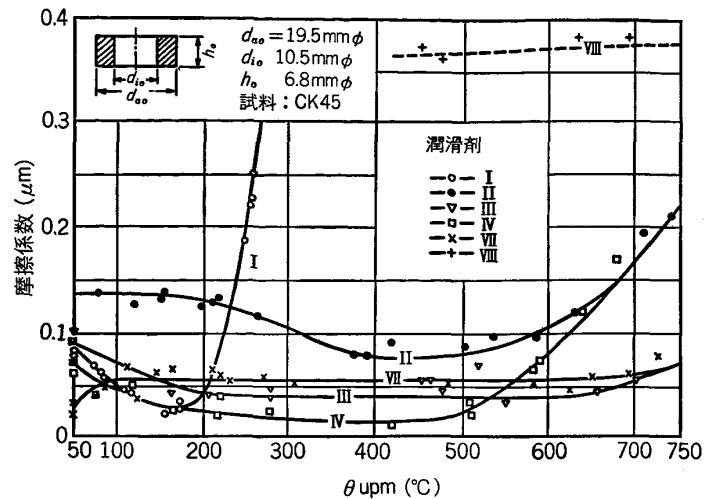


図 4 各種潤滑剤に対する μm と θ upm との関係 (CK45)³⁾

4.1 金型の潤滑

温間鍛造用潤滑剤としてこれまで各種の物質が検討されているが、一般には黒鉛がよく用いられている。図4はその一例を示す³⁾。黒鉛系の潤滑剤が広い温度範囲にわたって低い摩擦係数を示している。そのために金型には一般に水の中に黒鉛を懸濁させた液が噴射される。本来ならば潤滑液を噴射した時に金型の表面で水分が蒸発して黒鉛の皮膜が形成されるのが、潤滑状態としては最も望ましい。しかし、後述するように実際の鍛造においては潤滑よりもむしろ金型を冷却するために大量の噴射をしなければならないので、黒鉛の皮膜が形成されにくい。よって、素材と金型との間にまき込まれたわずかの黒鉛が潤滑の役目をするものと考えられる。したがって、金型の潤滑剤はむしろ、冷却剤としての役割の方が大きいといえる。

4.2 素材の潤滑

素材は本格的に加熱される前に約 200°C に加熱され、黒鉛コーティング剤の液の中に浸漬され、直ちに引き上げられて余熱によつて急速に水分は蒸発し、表面に黒鉛の皮膜が形成される。

ついで素材は高温に加熱されるから、その表面にコーティングされた黒鉛膜が燃焼してしまつては意味がない。黒鉛そのものは 600°C を越えると急速に燃焼してしまうので、耐熱性の高い黒鉛コーティング剤が開発されている。図5は各種のコーティング剤の耐酸化性を示している⁴⁾。最も耐酸化性の良いものでは 980°C で約 20 min くらい加熱しても黒鉛がいくらか残留しているくらいに改良されてきた。

4.3 潤滑に関する問題点

(1) 潤滑剤による腐食

温間鍛造が普及してくるにつれて、黒鉛潤滑剤による金型や付帯設備の腐食がクローズアップされてきた。金型の中でも消耗部品として短期間に交換してゆくものについては問題にならないが、ダイセット、プレスボール

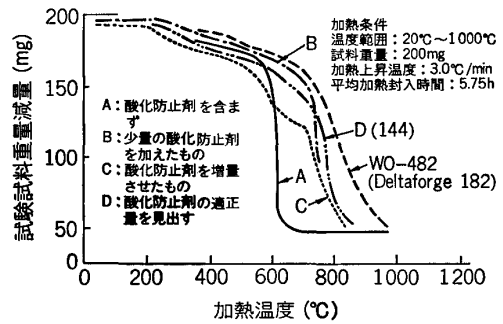


図 5 潤滑被膜熱酸化減量比較⁴⁾

スタなど長期間そのまま使用するものについては問題となる。

腐食の原因は電気の導体である黒鉛を含んだ水が電解液と同じ作用をするために、電気化学的な腐食が起きるためであるといわれている。黒鉛を使用するかぎり本質的に避けられない問題であるので、プレス、周辺装置、潤滑装置の主要部分は腐食対策を施しているのが現状である。将来的には、潤滑剤メーカーでの改善が望まれる。

(2) 作業環境

黒鉛潤滑剤は金型やプレスはもちろんのことその作業環境を著しく汚すために嫌われる。最近白色の潤滑剤が開発され、一部使用されているようであるが潤滑性能が黒鉛よりもいまひとつ劣るといわれている。潤滑剤そのものの改善と共に使用方法と鍛造設備の改善も今後の課題である。鍛造設備メーカーでは、黒鉛潤滑剤がプレス外へ出てゆかないようなクローズドシステムを考案しているが、必ずしも完全であるとはいえないのが実状である。

5. 温間鍛造用金型

5.1 温間鍛造用金型の構造

温間鍛造は冷間鍛造と熱間鍛造の中間に位置する加工

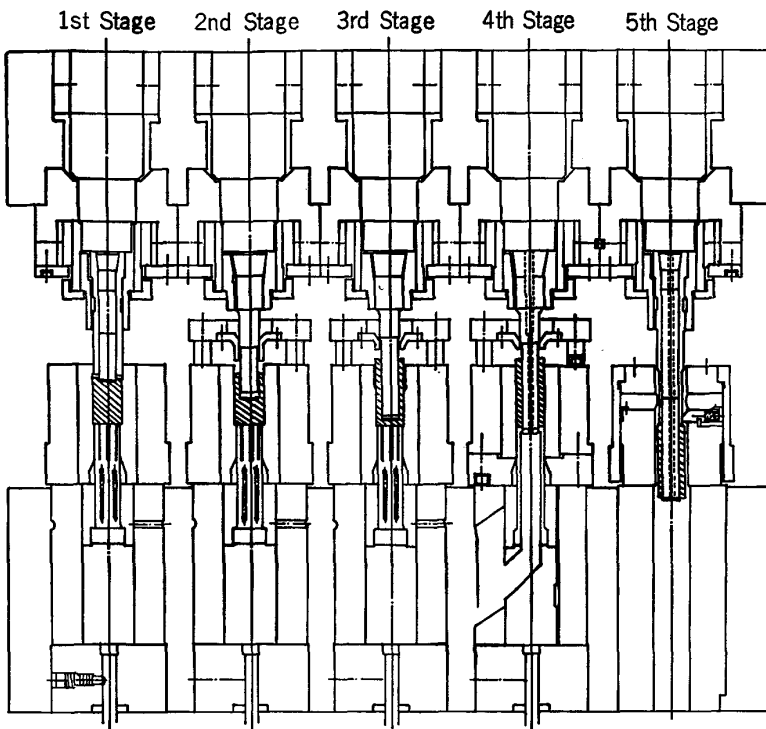


図 6 温間トランスファー鍛造金型の一例

法とはいうものの、使用する金型の構造からいえば冷間鍛造に近い。また金型は苛酷な面圧で使用され、要求製品精度も冷間鍛造品と同程度を目標にしているから基本的には冷間鍛造の金型設計を参考にすればよい。図 6 に温間トランスファー金型構造の一例を示す。

後述するように、金型を十分に冷却することが、金型寿命を長くするのに最も重要なことであるから、金型の温度の高くなりそうな部分に、冷却を兼ねた潤滑液を噴射するような金型構造にしなければならない。また、潤滑液が型の中に溜って加工品に欠肉が生ずるのを防ぐために、潤滑液が排出しやすいような工夫も必要である。さらに潤滑液が素材に大量にかかると素材を冷却してしまわないように、潤滑液の噴射をプレス動きとタイミングをとって行わねばならないこともある。

ダイニブを補強する補強リングの締め代は、成形中のダイニブの温度上昇を考慮して、冷間鍛造型よりも小さく、ダイニブ外径の 0.25~0.3% 程度としている。

5.2 温間鍛造用金型材料

図 7 に各種金型材料の硬さに対する温度の影響を示す⁵⁾。いずれの鋼種も 500°C を超えると硬さは急激に低下する。高速度鋼はすべての温度域で硬さが高いという点では優れている。高温における硬さは金型の摩擦やへたりに影響する要因であるから金型の選定にあたって重要な指標の一つである。

700°C 前後で温間鍛造する場合、金型の冷却は非常に重要である。ところが従来の冷間鍛造用型材は耐熱衝撃性や耐熱疲労性があまり良くないため、あまりに急激な冷却を行うと加工中と冷却中の温度差が大きくなり、かえって早期にクラックが入る傾向がある。

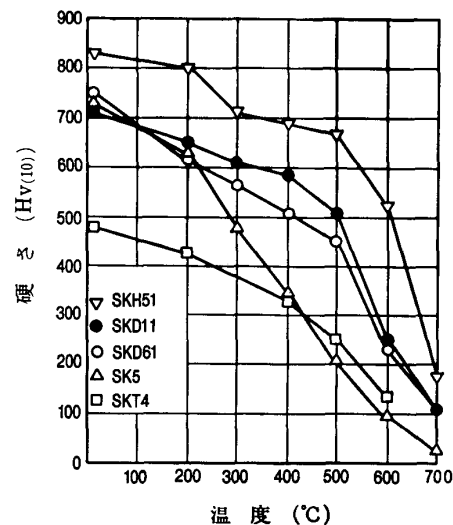


図 7 各種工具鋼の硬さに対する温度の影響⁵⁾

これに対して SKD 61 のような熱間ダイス鋼は強度は冷間鍛造用型材よりも低いですが、耐熱衝撃性や耐熱疲労性が優れているのでこの種の材質を選び冷却を十分に行いながら用いるのがよい。

最近ではセミハイスあるいはマトリックスハイスと称する炭素含有量がいくぶん低い高速度工具鋼が使用されるようになってきた。

また、金型に窒化、TiN、TiC などの表面硬化処理をすることも、金型寿命を長くするのに効果があることが確認されている⁶⁾。

5.3 金型の耐久性、寿命について

温間鍛造の適用に際して最も難しい点は金型の寿命をいかに長くするかという点である。適用方法を誤ると金

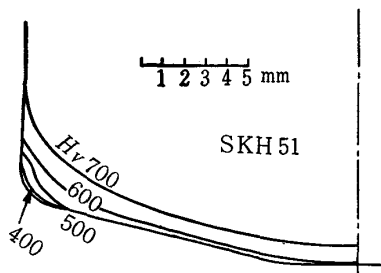


図 8 円筒部品を 2500 個加工後の後方押しパンチノーズの硬さ分布

型寿命が極度に短くなることもある。金型寿命を決定する要因として、使用するプレス機の種類、潤滑・冷却剤およびその使用法、金型材質およびその熱処理、型設計、鍛造サイクルタイムなどがあり、それらは互いに複雑に絡みあっている。

温間鍛造における金型寿命はたいいていの場合、金型のコーナー部が摩耗することによつてつきる。この摩耗を微視的に観察すると、コーナー部の表面近傍が塑性流動を起こしていることがわかる。この塑性流動を俗に“だれ”と称しているが、このだれを防ぐことが金型寿命を長くする要点である。

図 8 は 700°C で 2500 ショットの 後方せん孔押し加工を行つた後のパンチ (材質 SKH 51) のコーナー近傍の硬さ分布を測定したものである。コーナー部が著しく軟化しており、この部分が使用中に高い温度にさらされたことを示している。二次元的な後方せん孔押し加工のモデルを設定し、パンチコーナー部の温度を計算した結果では、素材の温度が 700°C、素材とパンチの接触時間 0.25 s の時にパンチコーナー部が 640°C になると推定

された⁷⁾。また、金型の表面近くの温度を測定し、表面の温度を推定した例では、素材の温度 670°C の場合に、パンチコーナー部は約 700°C にも達したと推定された⁶⁾。このような高温になるために金型の強度は低下し、またこのような高温にさらされている間に焼入れされた金型はしだいに焼もどされて、さらに強度が低下するものと考えられる。

金型寿命に影響する要因の効果を実際の生産現場で確認することは、なかなか困難なことである。鍛造品を不良にしない範囲内での限られた実験結果ではあるが、一例を紹介する。鍛造品と金型は図 9 に示す形状である。実験に取り上げた要因と水準を表 1 に示す。この結果を多変量解析して、金型のコーナー部のだれに対して有効な要因を取り出したのが表 2 である。この表から、熱容量の小さなパンチに対しては冷却の効果が大きいことがわかる。またパンチとダイスに共通の要因としてプレスの種類があつている。他の要因を同じにして、プレスだけを変えて生産した結果から、パンチとダイを合わせた金型寿命の平均値は、ナックルモーシヨンプレスで約 5 万ショット、クランクモーシヨンプレスで約 8 万ショットであつた。これは、素材と金型の接触時間が重要な要因であることを示している。

金型の寿命がコーナー部のだれによつて決まり、だれは金型が高温にさらされることによつて起こるとすれば、その金型がさらされた温度と時間によつて金型寿命を予測する目安が得られそうである。焼入れされた金型材料が高温にさらされることによる強度の変化を焼もどしパラメーターによつて評価できる。これは(1)式で表され、焼もどしされた材料の常温での硬さと対応づける

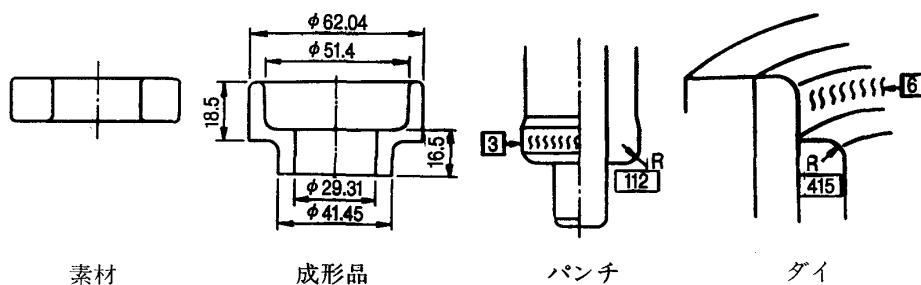


図 9 実験にとりあげた鍛造品と金型

表 1 実験にとりあげた因子と水準

因子	水準		備考
プレスの種類	ナックルモーシヨンプレス	クランクモーシヨンプレス	素材と金型の接触時間は 0.34s : 0.20s
素材の温度	650°C	670°C	
鍛造荷重	90~110 t · f	170~210 t · f	前方押し端を拘束するかしないかで荷重を変えた
素材の潤滑	無	有	黒鉛コーティングの有無
油の混入率	0%	1.0%	プレスの潤滑油が混入し、冷却能を低下させる
潤滑・冷却量	1 (比率)	2.6 (比率)	金型に塗布する潤滑・冷却液の比率

表 2 金型のだれに影響する要因

順位	パンチに対して	ダイに対して
1	油の混入率	プレスの種類
2	潤滑・冷却量	素材の温度
3	プレスの種類	素材の潤滑

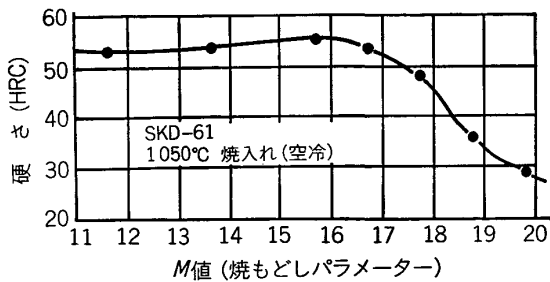


図 10 M値と硬さの関係 (焼もどし基本曲線)

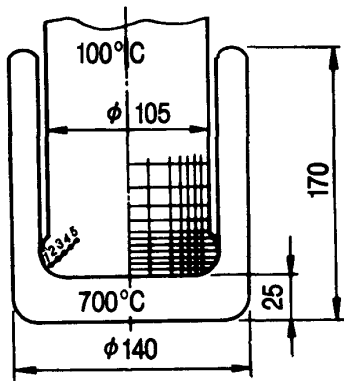


図 11 温度解析モデル

ことができる。

$$M = T(c + \log t) \times 10^{-3} \dots\dots\dots (1)$$

M: 焼もどしパラメーター T: 絶対温度

t: 時間 c: 定数

温間鍛造によく用いられる金型材料 SKD 61 の M 値と硬さの関係を図 10 に示す。実際の金型は一定温度ではなく変動しているが、定常な生産にはいけば 1 ショットごとの温度変化は同じであるから、この変化の曲線を求めることができれば、一定温度での M 値と同じ M 値に相当する温度 (T_{eq}) を求めることができ⁷⁾、(1) 式を利用することができる。

ここで M 値を利用して、温間鍛造の生産条件を金型寿命が長くなるように設定した例を示す⁸⁾。鍛造品は大きな円筒形部品で、図 11 に示すようにパンチコーナー部の各点 1~5 の定常な生産状態での温度変化を計算した。ついでこの温度変化と(1)式とを用いて担当温度 T_{eq} を計算した。時間 t と 1 ショット当たりの時間からショット数が求められる。また M 値と硬さの関係は図 10 から求められる。そして、焼入れされた型材がある値まで硬さが低下するまでのショット数で金型寿命を評価することとする。ショット数をパラメーターとしてパンチコーナー部の軟化をシミュレートしたものが図 12 である。ケース I は最初の生産計画で、素材と金型の接触時間が 4.5 s、スプレーによる冷却時間が 10 s、生産ピッチが 30 s である。パンチコーナー部の点 1 の位置の硬さが HRC 45 にまで低下するまでのショット数を金型寿命とすると、ケース I の金型寿命は約 900 個となる。ケース II はプレスのスライド速度がケース I と同じで生産ピッチを 60 s にすることにより冷却時間を長くした場合である。この場合の金型寿命は約 2000 ショ

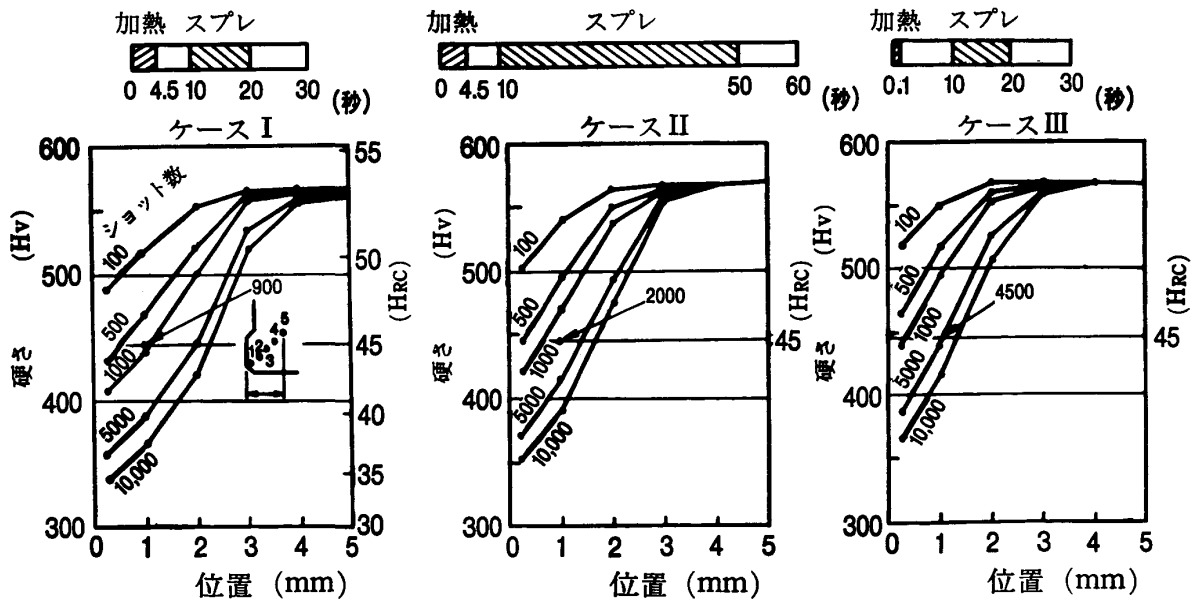


図 12 パンチコーナー部の軟化のシミュレーション

ットとなつた。ケースⅢは接触時間が 2.5 s になるようにプレスのスライド速度を速くした場合である。最初の計画に比較して生産ピッチを低下せず約 5 倍 (4500 ショット) の金型寿命が得られることとなる。

以上は、焼入れされた金型がある硬さまで焼もどされる時間でもつて金型寿命とするという非常に単純な仮定に基づいているから、定量的には実際と合致することは望むべくもないが、いろいろの条件を比較して金型寿命にとつていずれが有利であるかを判断する目安にはなるであろう。

6. 温間鍛造品の機械的性質

温間温度域で鍛造された鋼は加工条件によつてさまざまな機械的性質を示す。温間鍛造品がそのまま部品として使用されたり、温間鍛造後冷間鍛造を行う場合があるためこれらの鍛造品の機械的性質を知っておく必要がある。押出加工において、材質、断面減少率、加工温度を変えると衝撃値は複雑に変化する。図 13 は S43C 材の押出加工品の硬さと衝撃値に対する加工度と加工温度の影響を示す。本図の右上方にくるほど強じん性が高くなってくる。加工温度が 300°C~500°C で断面減少率が 80% の時に、焼入れ焼もどし材に匹敵するほどの強じん性を有し、焼入れ焼もどしの省略を示唆するような興味ある現象を示す⁹⁾。このような強靱化のメカニズムに

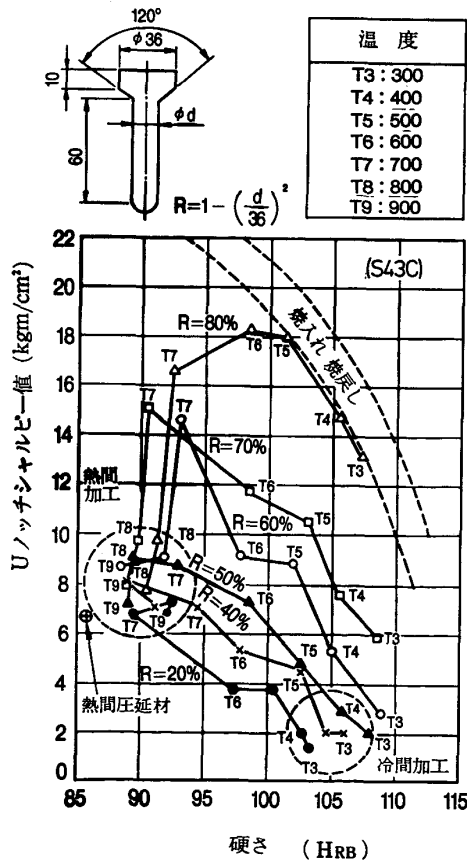


図 13 温間押出加工品の硬さと衝撃値の関係

化学成分(%)

C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr	Mo	V
0.46	0.27	0.81	0.027	0.023	0.16	0.06	0.23	—	0.071

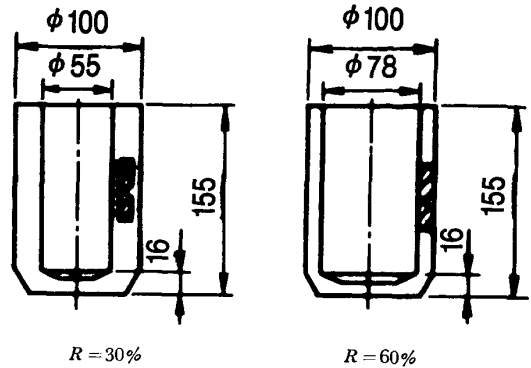


図 14 非調質鋼の後方押出加工形状

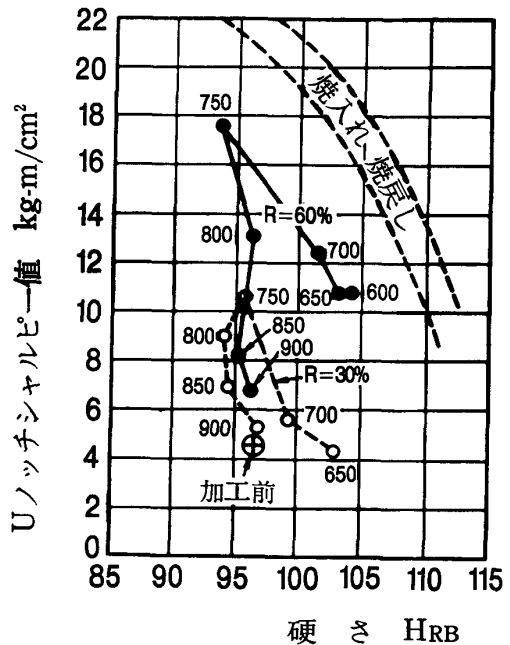


図 15 非調質鋼の後方押し後の硬さと衝撃値の関係

については最近さらに詳細に研究された¹⁰⁾。

最近、省エネルギーの点から非調質鋼の使用が増えてきている。非調質鋼を図 14 のような後方押出加工を行いカップ部の硬さと衝撃値を調べたものが図 15 である。750°C 以下で大変形を与えると、硬さは上昇し、しかも非調質鋼の欠点であるじん性の低さが大幅に改善される。

7. 温間鍛造設備

温間鍛造技術が効率よく生かされ、温間鍛造のメリットが最大限に引き出されるためには、それに適したプレスシステムが必要になる。

温間鍛造プレスシステムとして具備すべき特性は、以下のとおりである。

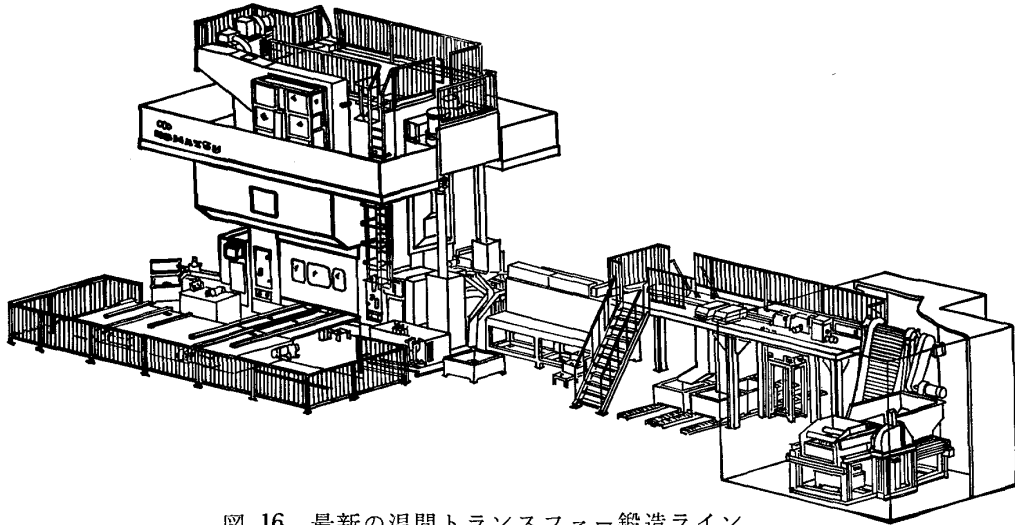


図 16 最新の温間トランスファー鍛造ライン

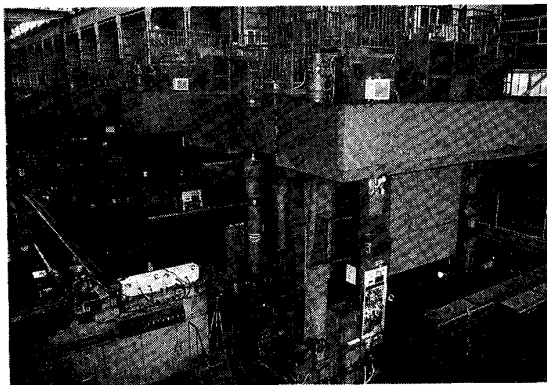


写真 2 1600 t 温間鍛造システムの出荷前テスト風景

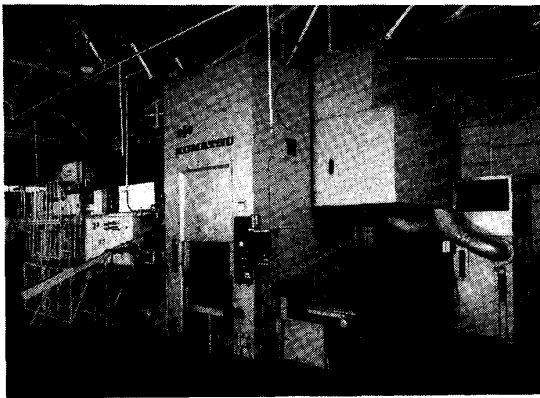


写真 3 630 t 温間鍛造システム

1. 型接触時間が短く、かつ型潤滑、型冷却時間が十分確保できるよう、ロングストロークで、かつハイスピードであること。
2. 型潤滑、型冷却には水ベースグラファイトが現在のところ最適である。しかしこの潤滑剤は腐食性がある上、電導性も高く、その対策が行われていること。たとえば、以下のようなものである。

- a) 潤滑剤が機械各部に侵入しないよう、シールされていること。
- b) 潤滑剤により、ベッドが腐食されないよう耐食処理されていること。
- c) 潤滑システムの主たる部分は耐食処理されていること。

3. 温間鍛造は一般に多工程トランスファー成形されるのが普通であり、したがって偏心荷重に強い構造であること。

4. トランスファーフィーダーは剛性が高く高速運転が可能であること。

このような条件を満たすシステムの開発事例を以下に紹介する。

図 16 は等速ジョイントアウトレースを温間鍛造するプレスシステムの全景を示す。

写真 2 は、1600 トンプレスを中心とした温間鍛造システム（3 ラインが写っている）を工場出荷前にテストしている風景を示している。プレス、自動化装置、金型を含めたプレスシステムとしての品質確保を行うため工場出荷前に生産テストを行い合格したもののみ、分解されユーザー工場へ向け出荷される。ユーザーの工場にて再度組み立てられ生産テストを行い、その後メーカーからユーザーに引き渡されるものである。

以上紹介した温間鍛造システムは、5~6 工程の金型を組み込むことができるものであり、プレス能力も 630 t から 1600 t までのものが開発されている。

最近では、ギャブランク等のように工程数が 2~3 工程で良いもの、プレス能力も小さくて良いものに対するニーズが高まり、写真 3 に示すような小形の温間鍛造プレスシステムが開発された。

8. 温間鍛造事例

8.1 ベアリングレースの温間トランスファー鍛造

現在温間鍛造されている部品の中でベアリングレース

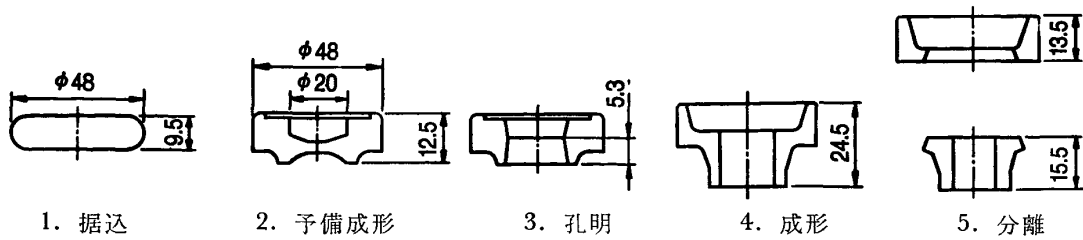


図 17 ベアリングレースの温間鍛造工程

表 3 温間鍛造と他の鍛造法のコスト比較
等速ジョイントアウトレースの場合

	熱間鍛造	冷間鍛造	温間鍛造
設備費	53.6	51.2	43.9
材料費	313.6	286.0	195.8
金型費	120.0	38.6	70.2
電気代	17.8	3.8	11.3
焼鈍費	—	99.0	—
型潤滑費	0.6	99.0	33.0
人件費	9.0	12.5	4.8
ユーザーズコスト	514.6円 + 機械加工費 + 摩擦溶接費	590.1円	359.0円

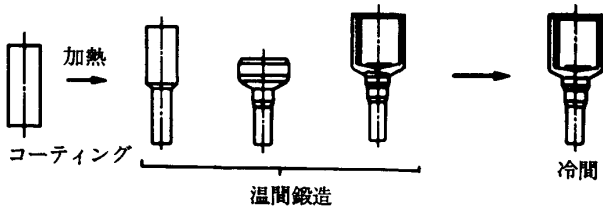


図 18 等速ジョイントアウトレースの工程

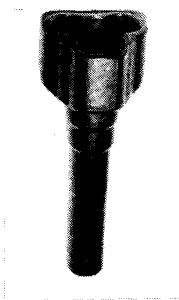


写真 4 等速ジョイントアウトレース

は最も量の多いものであろう。ベアリングレースの材料として使用される高炭素クロム軸受鋼（たとえば SUJ 2）は一般に球状化焼なましされた状態で市販されている。この材料は炭素を 1% 以上含んでいるため、球状化焼なましをした状態でさえもかなり硬くて冷間鍛造はなかなか困難である。一方熱間鍛造すれば球状化組織が変化してしまい、その後の機械加工や熱処理に支障をきたすため、球状化組織を変化させない温度範囲で鍛造できれば、鍛造後再度球状化焼なましをしなくてもよいと

いうメリットがある。SUJ 2 材の加熱温度による球状化組織の変化を調査したところ A_1 変態点直下の 700°C ではもちろんほとんど変化せず、高周波誘導炉による短時間に加熱した場合には 750°C (750°C まで 40s で加熱し、さらに 26s 保持) でも球状化組織はほとんど変化しなかつた。約 750°C 以上に加熱すると球状化組織がパーライト組織に変化することによつてかえつて変形抵抗が増加するので、SUJ 2 を温間鍛造するには 700°C 前後が適当と考えられる。

ベアリングレースは非常に生産量の多いものであるから、トランスファー鍛造すればメリットが大きい、図 17 は温間トランスファー鍛造の工程である。素材の切断、素材のコーティング処理、高周波加熱、成形内外輪および抜きかすの分離搬出を一貫ラインで実施している。

8.2 等速ジョイントアウトレースの温間トランスファー鍛造

従来熱間鍛造により製造されていた等速ジョイントのアウトレースは、ごく最近まで、冷間鍛造にすべて置き換わつてきたが、現在では冷間鍛造時の焼鈍ボンデ処理のエネルギーロス、および鍛造後の高周波焼入技術の向上による材質の変化（肌焼鋼→中炭素鋼）にともない、ここ 4~5 年のうちに温間鍛造化が急速に注目されてきた。表 3 に等速ジョイントアウトレースを各種の鍛造法にて製造した場合の単品あたりのユーザーズコストを計算した。これによると、材料歩留りエネルギーロスの観点より温間鍛造法がいかに有利であるかがうなづけよう。図 18 は等速ジョイントアウトレースの工程を示す。温間鍛造品を写真 4 に示す。

温間鍛造後に内径の精度を向上させるため、冷間にてしごき加工を実施する。

8.3 ベベルギヤの温間閉塞鍛造

最近閉塞鍛造が注目されているが、材料の強度が高い場合や形状が複雑な場合には冷間閉塞鍛造が困難なことがある。このような場合に温間鍛造を適用した例を紹介する。図 19 に工程を、写真 5 に鍛造品を示す。

素材は JIS SNC 815H であり、1000 個鍛造した場合で、温間鍛造後歯車精度は JIS 2~3 級程度を満足することができた。本成形の場合特別な閉そく鍛造プレスを用いず、金型に工夫をこらすことにより汎用のプレスで生産できることが特徴である。金型構造は図 20 に

表 4 鍛造したべベルギヤの精度

(単位: μm)

	歯溝のフレ	隣接ピッチ誤差	単一ピッチ誤差	累積ピッチ誤差	
マスター歯車	17 ₍₀₎	17 ₍₂₎	12 ₍₂₎	16 ₍₀₎	
電極	18 ₍₀₎	14 ₍₂₎	16 ₍₂₎	34 ₍₁₎	
温間鍛造後	24 ₍₁₎ ~53 ₍₃₎	14 ₍₂₎ ~33 ₍₃₎	14 ₍₂₎ ~26 ₍₃₎	31 ₍₁₎ ~67 ₍₂₎	
冷間サイジング後	21 ₍₁₎ ~58 ₍₃₎	10 ₍₁₎ ~25 ₍₃₎	10 ₍₁₎ ~28 ₍₃₎	26 ₍₁₎ ~71 ₍₃₎	
浸炭処理後	11 ₍₀₎ ~46 ₍₃₎	13 ₍₂₎ ~28 ₍₃₎	12 ₍₂₎ ~18 ₍₃₎	21 ₍₀₎ ~40 ₍₂₎	
規格値	JIS 0 級	20	7	6	22
	JIS 1 級	30	12	10	38
	JIS 2 級	45	22	17	67
	JIS 3 級	67	39	30	120

1000 個中から 20 個サンプリング, () 内は JIS の等級を示す

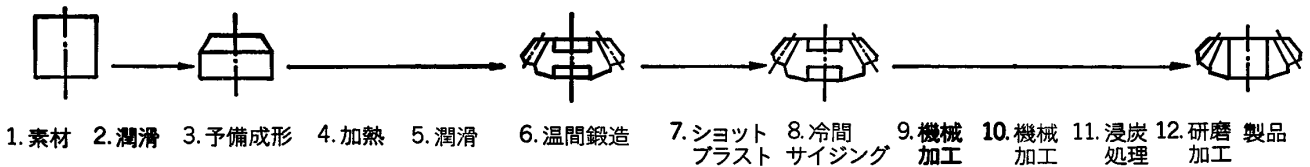


図 19 ベベルギヤの加工工程

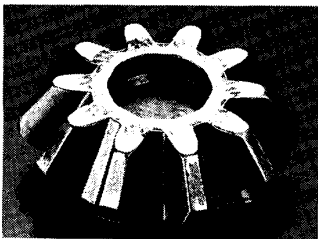


写真 5 ベベルギヤ鍛造品

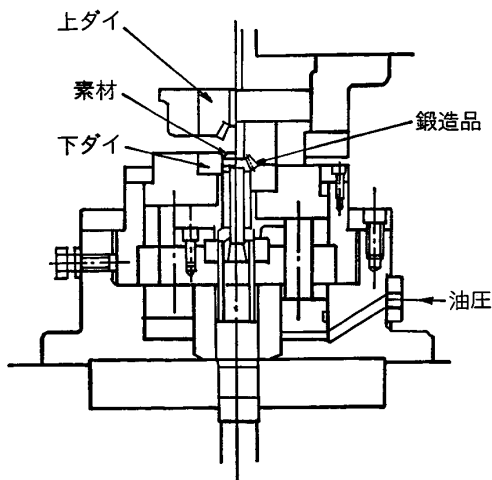


図 20 ベベルギヤ閉塞鍛造金型

示す。

9. あとがき

以上著者らのこれまでの研究および経験を基にして,

温間鍛造の現状を解説した。温間鍛造を有利に活用するためには、加工温度、加工サイクル、金型温度、潤滑・冷却条件などを常に安定した状態に管理することが重要である。温間鍛造で最も重要な問題である金型寿命についても、管理された状態が維持されてはじめて、原因の解析や対策を打てるようになる。生産立上がり段階では金型寿命が短かつたけれども、生産が安定し、改善が進むにつれてどんどん金型寿命が向上していった例がいくつも知られている。これらの改善が経験や試行錯誤で行われているのが実状であるため、積極的な活用によつてますます経験を積み重ねるとともに、基礎的な研究・開発がさらに望まれる。

文 献

- 1) 湯浅紘二: 塑性と加工, 11 (1973), p. 32
- 2) Wu SHICHUN: Journal of Mechanical Working Technology, 6 (1982), p. 333
- 3) R. GEIGER: Indust-Anz, 92 (1970), p. 623
- 4) 森 幹: 塑性と加工, 24 (1983), p. 844
- 5) 鍛造ハンドブック編集委員会: 鍛造ハンドブック (1971), p. 416 [日刊工業新聞社]
- 6) 金子秀一: 日本塑性加工学会長野地方第 18 回研究集会資料 No. 3
- 7) 湯浅紘二, 岡本治郎: 塑性と加工, 22 (1981), p. 133
- 8) 草田祥平: 私信
- 9) 湯浅紘二, 村田義人: 日本金属学会誌, 35 (1971), p. 788
- 10) 高橋 渉, 福田 隆: 第 33 回塑性加工連合講演論文集 (1982), p. 351
- 11) 草田祥平: 塑性加工春期講演論文集 (1984), p. 655