長持ちする金型をつくるために

竹 内 榮 一*

* (株)ムロ・コーポレーション (〒321-0627 栃木県那須郡烏山町南 1-12-25)

Advices to Make Durable Die

Eiichi TAKEUCHI*

*Muro Corporation (1-12-25, Karasuyama-machi, Nasu-gun, Tochigi 321-0627)

Key Words : Durable Die, TD Process (Toyota Diffusion Process), Swaging Die, Warm Working Die, Thermal Fatigue

1. まえがき

筆者が金型に関係する仕事に携わったのは、わが国で初めて国
際見本市が東京で開かれ、その折り西ドイツから出品されたコー
ルドホッピングマシンが見本市終了後筆者が勤務する都立工業奨励
館(現、都立産業技術研究所)に貸与されたときから始まる。し
たがって 40 年余の昔となる。

実験はコールドホッピングマシンを使ってダイを製作するときの
加工条件、ならびに金型の耐久性向上を目的として行う熱処理が
精度に及ぼす影響などについて検討したものである¹⁾。この他、
論文としてはまとめてないが、合成樹脂の成形に使われる銅合金
あるいは亜鉛合金の金型の製作についても実験を行った。

また、絞り加工の際に使用される加工油の挙動について検討し
た²⁾。これはステンレス薄鋼板の深絞り加工において加工油が果
たす役割を調べたもので、粘度の異なる合成潤滑油を用い、粘度
ならびに油性向上剤、極圧剤の影響を検討した。すなわち、加工
の過程で die radius^{*1} に生ずる被加工材の移着現象は加工油の
物性および添加剤の影響を受けていることが認められた。ことに
die radius に被加工材が移着すると被加工材で被加工材を加工す
ることになり、同種金属同士の組合せとなって、ますます激しい
移着を生ずるようになる。このため、被加工品の品質を低下させ

るばかりでなく、金型の耐久性をも損う結果となることが明らか
となった。そこでこの現象を改善するためには被加工材の加工に
適した粘度をもつ加工油、ならびに加工の際の加工応力に適合し
た油性向上剤あるいは極圧剤を選ぶことが重要な課題となり得る
ことを認めた。

この他、一般的な考え方として金型材料の選択と表面処理を含
めた熱処理条件はその金型をもって加工する製品の生産量ならび
に品質を考慮して選ばなければならない。

筆者は 1980 年後半より企業へ移り、再び金型の関連する仕事
に携わる機会が多くなった。すなわち、1980 年から約 8 年間は
金型の耐久性向上を目的とする表面処理、その後は現在に至るま
で自社で使用するプレス加工用金型を製作している企業の世話に
なり、金型とは一層深い関係をもつようになった。この頃から常
に念頭にあったことは、いかに金型を長持ちさせるか、というこ
とである。たとえば上述の企業では汎用の金型と試作品の金型を
含めて 1 ヶ月に平均 120 型を製作している。もし、金型の寿命
が何等かの手法を加えることによって 2 倍に伸びたと仮定すれば、
単純計算で金型の製作数は半分の 60 型でよいことになる。こう
なれば、経費の節減は勿論のこと、生産性の向上、納期の短縮な
ど多くの利益を生むはずである。このように考えると金型の耐久
性向上は非常に重要な課題といえる。

以下、筆者が経験した金型の耐久性に大きな影響をもたらすと
考えられる材料の問題を中心に述べることにする。

* 1 絞り加工に使うダイスは角の部分に適当な丸みを付ける必要が
あり、この丸みの半径をダイラジラスという。
図解金属塑性加工用語事典, p.215 (日刊工業新聞社, 1974)

図 1 破損を起こした SKD 11 スエーシングダイの非金属介在物の一例
(A) 鍛圧と同一方向の断面、非金属介在物は鍛圧方向に流れている
(B) (A) と同一面、非金属介在物の流れはみられない
(C) 鍛圧方向に直交する断面の非金属介在物

図2 破損したSKD 11 スエーピングダイにみられる炭化物
(A) 鍛圧方向と直交する断面の炭化物(低倍率)
(B) 鍛圧方向と平行する断面の炭化物(低倍率)
(C) 鍛圧方向に平行する断面にみられる粗大炭化物(高倍率)
(D) 鍛圧方向に平行する断面にみられる炭化物の偏析(高倍率)

図3 破損したSKD 11 スエーピングダイの表面付近におけるき裂の伝播と炭化物の役割
き裂は表面よりB, C, Dに沿って進展している

2. 非金属介在物

金型の耐久性を損なうものにチッピングを含めた割れがあり、これらは非金属介在物を起点として発生することが多い。金型に利用される鉄鋼材料はいわゆる高級材料に属し、非金属介在物は少ないものとするのが一般的である。したがってJISでは軸受鋼を除き、規定されていない。しかしながら実際問題として、時には図1に示すような介在物の存在が観察されるようなものもある。

これは炭化物皮膜処理(以下、TD処理と記す)、焼入焼戻しを行ったSKD 11のスエーピングダイ*2が僅かな量加工した時点で破損を起こしたもののについて、その原因を究明する目的で介在物を調べた結果の一例である。これによると、非金属介在物はMnS₂を主要成分とするA系の他に、B, C系に属するものが認められ、JISに則って測定した清浄度は0.58%となる。ことにA系介在物の先端に応力集中が起こり、割れが発生したとみる

図4 抜型の切刃に生じたき裂

ことができる。

したがって、高級な材料といえども素材の段階でまず非金属介在物の存在を確認したのち金型の製作にかかることが耐久性向上のうえから重要と考える。

3. 炭化物

もう一つの耐久性に及ぼす因子として炭化物の形態や分布状態などが挙げられる。

高速度工具鋼の靱性に及ぼす炭化物の影響については清永の詳細な研究がある³⁾。これによると、粗大炭化物は割れまたは表面はく離の起点となる。また、数多くのマイクロクラックが発生し、これが成長して局所的な破壊を起こす原因となり得る。したがって、これらの欠陥の発生を抑えるためには炭化物の偏析をできるだけなくし、かつそれらを5 μm以下に微細化するとともに球状化することが望ましい。

以下、これらの現象に観点を置いて、事故を起こした各種金型を対象に、その検討結果を述べることにする。

3.1 スエーピングダイ

稼働の初期段階で破損したスエーピングダイはSKD 11材を機械加工によって所定の形状に仕上げたのち、N₂雰囲気中、600および800°Cで予熱し、1020°Cに1 h保持したのちガス冷却により焼入れ、さらに160°Cで2 h、2回焼戻し処理したものである。図2にそのミクロ組織を示す。このうち図2(A)は直径方向の断面、同図(B)は鍛圧方向の断面を低倍率(×100)でみたもので、前者は炭化物が樹枝状に分布し、後者では鍛圧方向に沿って配列し、かつ偏析していることが認められる。他方、これを高倍率(×400)で観察するときは図2(C), (D)から明らかなように鋭利な先端をもった粗大炭化物や、炭化物の集合した領域の存在が認められ、き裂はこれらが発生源となって隣接する炭化物を経て進行し、破断に至るものと考えられる。図3はその一例を示したもので、き裂は表面より炭化物B, C, Dを経て伝播している。

したがって、予め素材の段階で、まず低倍率で炭化物の偏析を含めた分布状態を観察し、つぎに高倍率で炭化物の形状を検討したうえで上述のような炭化物の形態を選けた材料の選択が必要である。

3.2 プレス金型

この項はプレス金型において炭化物の形態が耐久性に及ぼす影

*2 金型間で圧縮して加工素材の高さを縮め横に広げる加工(すえ込み加工)の一種で、線、管、棒などを工具間で圧縮成形する作業をスエーピング(Swaging)といい、これに使われる金型。図解金属塑性加工用語事典, p.163(日刊工業新聞社, 1974)

図5 破損した温間鍛造用パンチにみられる破面および周辺ミクロ組織

- (A) 破面
- (B) 頂点付近の組織，表面の白い層はTD処理によるVC層
- (C) 破損の起点と思われる部分の組織

響を述べたものである。

図4は検討の対象となった孔明パンチとそこに生じたき裂の状態を示したものである。パンチはSKH 51を所定の形状に加工したのち1020℃で5 h、TD処理を施し、表面に4～5 μmのVC層を生成させたのち正規の条件で素地の焼入焼戻しによる強化を図った。しかし約3000個加工した時点で図4にみられるようなき裂が発生した。ユーザは製鋼メーカーに対しその原因調査を依頼したが設計に問題があるとの結論であった。そこでユーザは別の製鋼メーカーに図面を渡し、同一鋼種でパンチの製作を依頼した。このメーカーは通常の条件で処理加工を行ったものを納品し、ユーザはこれを使って従来と同じ条件で打抜き加工を行い、約200,000個加工した時点で両者のパンチの耐久性の違いについて調査を依頼してきた。その結果は明らかに炭化物の形状、大きさ、方向性、分布状態の相違に起因するものである。すなわち、優れた耐久性がみられた後者のパンチは微細な粒状炭化物が方向性もなく、均一に分布しているのに対し、寿命の短かった前者のパンチは前項で述べたと同様な炭化物の分布状態を呈し、このようなときは表面の硬質皮膜の存在が逆に悪影響をもたらすこともあり得る。

3.3 温間鍛造用金型

つぎに温間で使われる深絞り用金型の破損における炭化物の影響について述べる。このパンチは仕上がり寸法よりも5～10 mm太い丸棒のSKH 51から材料取りをし、機械加工によって所定の形状に仕上げている。熱処理はまず1000℃で16 h TD処理したのち焼入焼戻しを行う。つぎに素地を強化させるための熱処理として2段階の余熱を経て1200℃から焼入れを行う。この場合、一旦1100℃までN₂ガス冷却後、油焼入れ、焼戻しは550℃で4 hを3回くり返し行ったものである。なお、寸法精度を規格内におさめるため、さらに焼戻しを加えることもある。

このようにして作製したパンチは600℃付近に加熱された被加工材を約3000個加工した時点で破損した。図5は金型の破面

図6 鍛圧方向と平行する方向より採取したSKD 11のS-N曲線に及ぼす試料採取の位置影響

および表面付近の組織をみたものである。このうち、図5 (A)の隅角部には矢印によって示された部分に2つのR面が交差している。このため加工時にこの部分に応力集中が起こり、この領域に加工油の浸み込んだ跡が観察されたことから、ここがき裂発生の起点になったとみることができる。このようにして一旦き裂が発生すると図5 (B), (C)にみられるように軸方向に沿って配列している炭化物を伝わって急速にき裂が進展し、破断に至るものとみることができる。この点からも予め素材の段階で炭化物の形態を十分観察し、対応しておくことが大切と考える。

なお、同様な現象は比較的大型のローリングダイについても経験している。

4. 材料取りと金型の耐久性

前項で述べたように金型の耐久性は炭化物の形態、すなわち、形状と大きさならびにその分布状態に影響されることが多い。したがって、耐久性に優れた金型を得るためには6面鍛造および熱処理によって炭化物を微細かつ粒状化し、しかも鍛圧方向に沿って集団で配列化したいわゆる偏析状態を消失させ、均一に分散させることが大切である。

しかし実状は金型の製作に当たって丸棒から材料取りすることが多い。この場合、素材の外径が大きいのほど中心付近の鍛造加工が不十分となり、前掲図2にみられるような樹枝状を呈する炭化物の分布が観察されるようになる。

一般に丸棒から材料取りした場合、丸棒の中心付近が金型の主要部分を占めることが多く、このようなときはいかに的確な熱処理を行ったとしても決して耐久性に優れた金型が得られるものではない。図6は外径503 mmのSKD 11からなる丸棒より外周付近(中心より240 mmの位置)、中心付近(中心より40 mm内側の位置)およびその中間(中心より125 mmの位置)より小野式回転曲げ疲れ試験片を採取し、所定の条件で熱処理を行ったものについてS-N曲線を求めた結果である。

これによると、疲れ限度は外周付近から採取したものが300 MPaであるのに対し、中心付近のものは200 MPaとなり、明らかに鍛圧状態が進んでいるものほど疲れ限度は高い値を示すようになる。なお、この材料にさらに鍛造加工を加えるときは鍛造比が高くなるにともなって疲れ限度の向上する傾向がみられる。この原因は明らかに炭化物の形態変化によるものと理解され、鍛造比が高くなるほど炭化物は微細化し、かつ粒状化するとともに分布に均一化がみられるようになり、これが金型の耐久性を向上

図7 塩浴浸硫窒化処理した金型用工具鋼の熱疲労(Tu-N)曲線

させる原因となっている。

このような観点から金型の製作に当たって丸棒からの材料取りをするような安易な手法は避けるべきであり、一つの金型で多量生産するようなものについては特に留意すべきことと考える。

5. 金型用鋼の熱疲労

熱間で使われる金型には熱疲労が重要な性質の一つとして挙げられる。また、ダイカスト金型ではこの他に熔融金属との反応も耐久性のうえから重要な課題である。古くから冷間で使われる金型の材料には SKD 11, また熱間金型には SKD 61 あるいはこれらをベースとした改良型の材料が適用されてきた。

しかし、最近では SKD 11 を使用目的に応じて 500～550°C で焼戻しを行うことが多々あり、このような処理を施したものはこれに相当する温度まで使用が可能と考えられ、ことにフェライト界域で表面熱処理したものについてその可能性を検討することは意味のあることと思える。

そこで、SKD 11 および SKD 61 についてそれぞれ適正な条件で焼入焼戻処理を行ったのち、塩浴による低硫黄系の浸硫窒化処理を施したものについて、コーフィン型試験機を使って熱疲労試験を行った⁴⁾。試験は大気中、常温から 450～650°C まで加熱、冷却をくり返し、熱疲れ限度を 10⁴回として表面層のはく離あるいは破断までのくり返し回数を求めた。図7はその結果を示したもので、SKD 11 は常温⇄600°C の加熱、冷却を 10⁴回くり返した時点で表面に形成された化合物層にはき裂が検出されるが、は

く離には至っていない。また、き裂は化合物層内に留まっている。

これに対し SKD 61 は常温⇄550°C のくり返し加熱、冷却では 10⁴回まで化合物層のはく離はみられないが、常温⇄600°C では約 2800 回で破断し、素地にまで達したき裂には酸化物の存在が認められた。

また、常温⇄650°C の試験では SKD 11 が約 1300 回、SKD 61 は 900 回前後の加熱、冷却で破断し、いずれも素地にまで達したき裂には酸化物が検出された。

このような結果から SKD 11 についても 600°C 以下で使用される熱間金型用鋼としては SKD 61 に匹敵あるいはより優れた熱疲れ強度をもち得るものと判断される。しかしこの実験は大気中での加熱、冷却のくり返しによる熱疲労であり、熔融金属と接触するダイカスト金型のようなものについては溶損現象も含めた金属間の反応を検討する必要があると考える。

6. あとがき

金型を長持ちさせることは、これを利用して生産する企業にとってきわめて重要な課題であり、これが材料、ことに炭化物の形態と密接な関係にあることを中心に記述した。そもそも炭化物の存在は金型としての耐久性を向上させる因子の一つであるが、その形態のいかんによっては逆に耐久性を損う因子ともなり得る。すなわち炭化物をコントロールすることが金型の寿命をコントロールすることにもなる。といっても過言ではないと考える。

金型に占める材料費の割合は設計や加工費と比較して小さいものであり、安易な考え方による材料取りを避けてあくまでも納得のいく材料を選ぶことが金型を長持ちさせる近道といえる。材料メーカーにのみ依存することなく、自らも材料に対する苦手意識を捨てて、正しい知識を持つことをおすすめする。

(2001-6-22 受理)

文 献

- 1) 小川喜代一, 竹内榮一; 精密機械, 24, 668 (1959)
- 2) 竹内榮一, 田中益夫; 日本金属学会誌, 35, 989 (1971)
- 3) 清永欣吾; 鉄鋼のじん性に関する国際会議予稿集, 京都国際会議場; 209 (10/1971)
- 4) 藤木 栄, 竹内榮一, 阿部敏夫; 日本熱処理技術協会第 17 回學術講演大会予稿集, p. 27 (12/1983)