

精密鍛造の概要

1.1 精密鍛造とは

1.1.1 精密鍛造の定義

精密鍛造 (precision forging) という用語は、金型を用いて互換性が要求される部品を量産するようになって特に意識されるようになった。1944年に発刊された堀岡米吉著『鍛錬鍛造下巻』に「切削機械仕上げ加工を省略でき得る程度の出来映え」として精密鍛造の定義が載っている。このような精密鍛造は室温で行う冷間型鍛造によって実現できるようになった。また、アメリカ合衆国の金属学会 ASM では次のように定義している。「標準的な鍛造作業で得られる寸法精度を越えた厳しい寸法公差と表面仕上がりに鍛造品を安定して仕上げることができる鍛造法。標準的な鍛造法に精密化を図るためになんらかの高精度鍛造技術を導入して総合的な製品コストと品質の向上が得られる場合に利用される」。

精密鍛造に似た用語として 25 年ほど前から国際的にニアネットシェイプ (near net shape)、ネットシェイプ (net shape) という用語が用いられている。ネットシェイプとは部品の最終形状であり、ニアネットシェイプは軽度の機械仕上げ加工で最終形状にできる半製品である。寸法公差がどの程度かの問題もあるが、いずれも精密鍛造に近い定義である¹⁾。

標準的な熱間鍛造、温間鍛造および冷間鍛造の寸法公差と他の塑性加工法ならびに機械仕上げ加工により達成できる寸法公差との比較を表 1.1.1²⁾ に示す。実線は標準的な精度を、破線はなんらかの高精度加工技術を応用した場合の精度を示す。通常の鍛造では、熱間で IT (ISO 公差等級) 12~16、温間で

表 1.1.1 鍛造の寸法公差と他の加工法の寸法公差との比較²⁾

50 mm に対する公差 [mm]	0.011	0.016	0.025	0.039	0.062	0.100	0.160	0.25	0.39	0.62	1	1.6
ISO 等級	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
加工方法	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
熱間型鍛造				-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
温間型鍛造			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
冷間型鍛造		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
圧延(厚さ)			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
仕上げ圧延(厚さ)	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
仕上げ圧印(厚さ)		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
深絞り						-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
しごき仕上げ加工	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
管、線引抜き					-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
せん断				-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
精密せん断	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
ロータリスエージング			-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
旋削		-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----
円筒研削	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

IT9~12、冷間で IT7~11、圧印（コイニング、coining）やしごき加工（アイロニング、ironing）の厚さ精度で IT7~9 である。精密鍛造では、通常鍛造より IT で 3~4 ランク上の公差と RZ で 10 μm 以下の表面粗さが目標とされる。

1.1.2 鍛造の種類と特徴

[1] 変形形態による分類

(i) 往復動形式による鍛造加工法

図 1.1.1¹⁾ に相対する金型の往復動形式による種々の鍛造加工法を示す。自由鍛造は上下の単純曲面形状の汎用工具で逐次成形する方法で、局所成形であるため鍛造品寸法に比べて小さな荷重で形状が付与できるのが特徴であり、少量生産に適している。

型鍛造は、鍛造品の表面形状・寸法に合わせた上下一対の専用の金型を鍛造機械に取り付け、素材を金型により加圧して変形させ、金型形状を転写して製

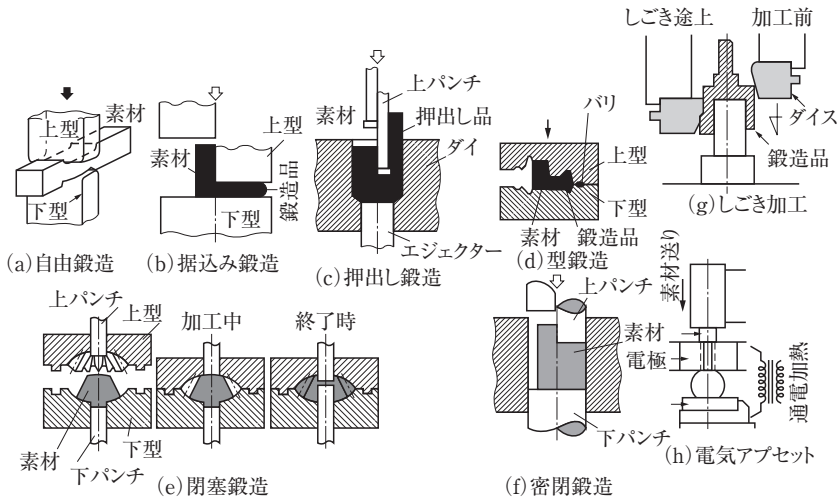


図 1.1.1 往復動形式の鍛造加工法¹⁾

品を作る方法である。素材表面の大部分を加圧あるいは拘束して成形するため大きな荷重を要すが、大量生産に向けた鍛造の総称である。通常、図 1.1.1 の (d) の余剰材をバリとして横方向に出す金型を用いるものを「型鍛造」と呼んでいる。寸法精度が高く、かつ複雑な形状の同一製品を迅速に多数製造する場合にこの方法が採用されている。

密閉鍛造はバリを出さない型鍛造であり、最終的に素材はパンチとダイスにより密閉される。閉塞鍛造は上下のダイスを閉じて素材を金型内に閉じ込めた後、複数個のパンチあるいは型を駆動して、素材を主として側方に押し出し変形させて側面に設けた型空間に流出させて、半径方向に突き出した部分を持つ部品を鍛造する方法である。閉塞鍛造や密閉鍛造では最終的に素材の全面が拘束されるため複雑形状の精密成形が可能であり、自動車部品等の鍛造の主流となっている。

(ii) 回転形式による鍛造加工法

回転を伴う鍛造には、図 1.1.2¹⁾ に示すように揺動鍛造、回転鍛造、ロール鍛造、クロスローリング、リングローリングおよびヘリカルローリングがあ

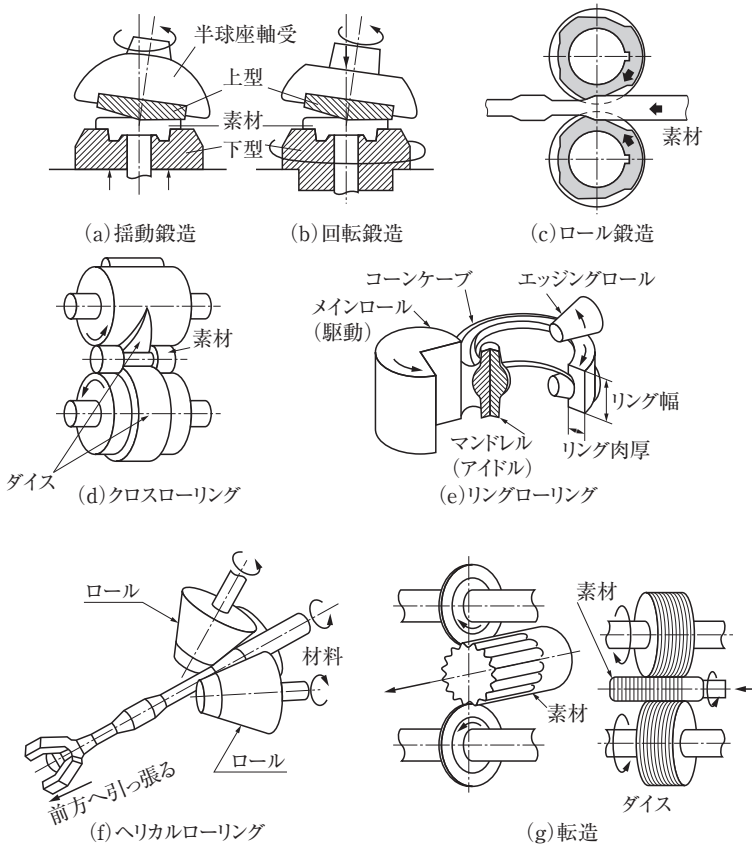


図 1.1.2 回転形式の鍛造加工法¹⁾

る。これら回転形式の鍛造は局所成形であるため鍛造品寸法に比べて小さな荷重で成形できるのが長所である。一方、逐次成形のため生産性は若干劣るといふ短所もある。揺動鍛造、回転鍛造およびリングローリングは仕上げ鍛造として利用され、ロール鍛造やクロスローリングは鍛造の前工程として材料配分を行うために利用されている。

[2] 作業温度による分類

鍛造は溶融温度近傍から室温までの広い温度範囲で行われている。鍛造温度

1.1 精密鍛造とは

表 1.1.2 鋼の熱間鍛造、温間鍛造、冷間鍛造の比較³⁾

比較項目		熱間鍛造	温間鍛造		冷間鍛造	
鍛造温度		1000~1250℃	750~850℃	300~500℃	常温	
成形方法		バリ出し方式	a) 押し出し方式 b) バリ出し方式 c) 密閉方式		a) 押し出し方式 b) バリ出し方式 c) 密閉方式	
材料の変形抵抗		小	中		大	
材料の加工限度		なし	なし	あり	あり	
鍛造圧力		低い	低い	高い	高い	
鍛造荷重		低い	熱間鍛造と冷間鍛造の間		高い	
材料に要求される寸法精度		低い	低い	高い	高い	
材料の前処理		不要	不要		焼なまし、球状化 焼なましなど	
潤滑	材料	——	グラファイトなど		りん酸塩皮膜+金属セッケンなど	
	金型	グラファイトなど	グラファイトなど		不用かクーラント オイルなど	
主な鍛造設備		クランクプレス スクリーブレス アプセッター ドロップハンマー	ナックルジョイントプレス クランクプレス 油圧プレス		多段フォーマー ナックルジョイントプレス クランクプレス 油圧プレス	
成形工程数		少ない	冷間より少ない		多い	
製品	組織	粗大化	微細化、急冷組織		微細化	
	脱炭層 [mm]	0.3~0.4	0.10~0.25	なし	なし	
	表面粗さ	<20 S	<10 S	<10 S	<10 S	
	抜け勾配	0.5°~6°	<1°	<1°	0°	
	寸法精度 [mm]	金型により規制あり	±0.5~±1.0	±0.05~±0.15	±0.05~±0.15	±0.025~±0.1
		厚さ	±1.0~±2.0	±1.0~±0.25	±1.0~±0.25	±1.0~±0.20
偏肉		0.7~1.0	0.10~1.40	0.10~1.40	0.05~0.20	
形状		複雑	複雑	複雑なものもある	複雑なものもある	

は対象とする製品の大きさ、材料の種類、材料の変形抵抗や変形能、鍛造設備の制約、製造数量の多少、競合するプロセスとのコスト対比など種々の因子を考慮して決めなければならない。表 1.1.2³⁾ に熱間、温間、冷間鍛造について、鍛造温度、成形方法、主な鍛造設備、製品品質等について各々の特徴および比較を示す。

(i) 熱間鍛造

材料を加熱して再結晶温度以上の温度範囲で行う鍛造で、圧縮応力下で変形を付与するとともに材質改善を行う。材料の変形抵抗は小さくかつ変形能は高くなるので、大寸法製品の加工、大変形の付与、複雑形状への加工や、室温で硬くてもろい材料の加工が可能になる。しかし、鋼材では約 900℃以上で酸化皮膜の形成や脱炭が生じ、温度変化による寸法変化が大きいため寸法精度 (IT12~16) や表面状態は冷間鍛造に比べて劣り、型寿命は比較的短い。

(ii) 冷間鍛造

室温または室温に近い温度で行う鍛造で、材料はある程度の変形能とあまり高くない変形抵抗であることが必要である。材料の加工硬化により変形抵抗が増大して工具に過大応力が加わり工具破損を生じることがあり、また、材料の変形能不足により変形中に割れることがある。したがって、加工しうる寸法形状には制限がある。しかしながら、冷間鍛造品は寸法精度 (IT7~11) と表面状態が良好のため、後仕上げ加工がまったく不要か、研削だけで済む場合も多い。中間焼なましや潤滑処理を施すことにより、冷間鍛造により大型製品や高強度材料を精密に鍛造することが可能である。型寿命は数千~数十万以上に及ぶ。

(iii) 温間鍛造

通常の熱間鍛造と冷間鍛造との中間の温度範囲で行う鍛造で、熱間鍛造と冷間鍛造の長所を兼ね持たせる鍛造法である。潤滑剤は熱間鍛造用グラファイトや白色潤滑剤を用いることが多い。寸法精度は IT9~12、型寿命は数千~2万である。

(iv) 恒温鍛造

耐熱性が優れているニッケル合金やチタン合金は加工が難しく、特定の温度における超塑性状態で成形する必要がある。素材と同じ温度に加熱した金型を用いて長時間かけて鍛造している。ジェットエンジン部品などの成形に応用されている。

(v) 溶湯鍛造・半溶融鍛造

材料の固相と液相の共存する温度域において型を用いて加圧成形する鍛造