

特集 合金工具鋼の組織・強度改良を伴う塑性加工法*

Plasticity Working Method with the Improved Structure and Strength of Alloy Tool Steels

宮下 修

Syu MIYASHITA

田中雅三

Masami TANAKA

For parts processing using alloy tool steels (SKD11), we have developed a plasticity working method which combines low-temperature forging at around 300°C and hydrostatic stress (use of an HIP furnace). This method has allowed an actual improvement in parts strength and a cost reduction through net shaping, and has therefore been adopted as the means of mass producing the plungers for common-rail diesel injection pumps.

Key words : Plasticity working method, Improvement of structure and strength, Alloy tool steels

1. はじめに

合金工具鋼の中では『SKD11』が板金プレスなど冷間加工用の金型材として最も広く使用されている。これは、一般的金型向けとして性能・コスト面など総合点で優れていることに他ならないが、本鋼種の特徴である金属組織内の粗大な1次炭化物（First Stage Carbide：これで耐摩耗性を得ている）は、時折に型故障等の起点となることもある。Fig. 1の白い敷石状に見えるものが1次炭化物で、Fig. 2はその炭化物が欠落したことにより（図中→部：プレス抜き型の事例）型寿命に至ったものである。

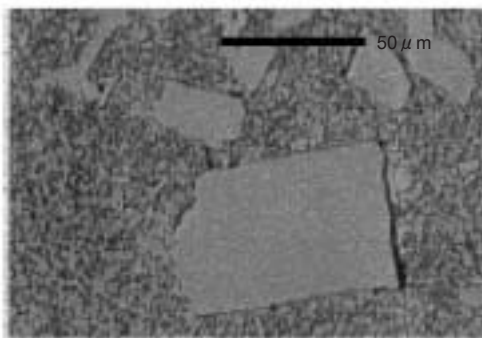


Fig. 1 Example of microstructure of SKD11

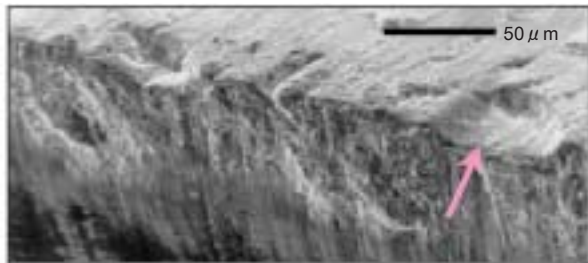


Fig. 2 Cave mark on carbide
(Material from Uddeholm KK)

近年のコーティング技術によりこの難点を補える所もあるが、軟弱な路肩のアスファルトに穴があくように、やはり素地自体を十分に安定した状態とすることは耐久強度等の信頼性向上のために必要と考える。この“粗大炭化物”の微細化など金属組織の改良では、従来よりESR（Electro Slag Remelting）等の再溶解法が鉄鋼メーカー等で実用化されているが、主にコスト面からそれほど普及はしていないようである。

他方、当該鋼種は“工具鋼”とは言っても自動車向けの高圧しゅう動部品など量産品にも採用されており、これを塑性加工で生産する場合はホットフォーマ等による熱間鍛造が一般的に用いられている。当社製品においても、従来から分配式のVEディーゼル噴射ポンプのプランジャ用材料としてSKD11を使用しており、1000°C以上の加熱によるヘッディング成形法により量産対応してきた。

2. HP型噴射ポンプ用プランジャの塑性加工法

Fig. 3は、コモンレール式HP3型ディーゼル噴射の構成図で、このプランジャもSKD11が採用される。

ディーゼルエンジンのクリーン化が望まれ燃焼効率向上に向けての更なる高圧化が進む中、圧力発生部品であるプランジャにはこれに対応できる高強度・高耐摩耗性が要求されるが、前述したように本鋼種には“粗大炭化物起因の欠落・亀裂”という品質面における心配がある。一方で工具鋼は元々高価な鉄鋼材料であり、かつ難加工材のため部品コストの観点からも大きな課題をもっている。

この両者課題の同時解決策として、コスト低減を実現するためのネットシェイプ化が可能な鍛造方法と、

*2006年8月25日 原稿受理

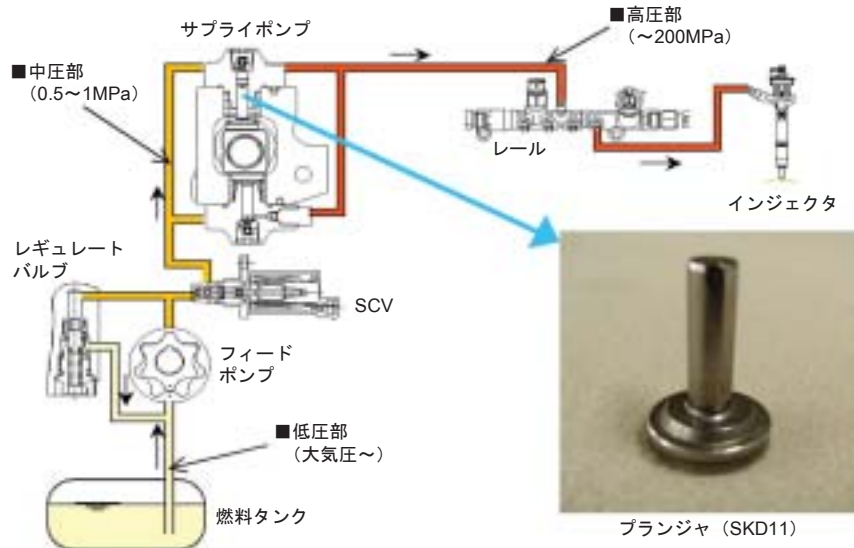


Fig. 3 HP3 block diagram and a plunger

粗大炭化物の細粒化・安定保持をねらった静水圧 (HIP) の組合せ加工を提案した。



2.1 Tepid鍛造法 (仮称)

Fig. 4はSKD11の加熱温度上における引張強さと、各鍛造法の加工温度域を示したものである。HP型プランジャの体形は、旧タイプのVE型に較べ最大/小径差が大きいため塑性加工度が高くなるが、従来の鍛造法では、①冷間鍛造：高変形抵抗による金型寿命と被加工材破壊の問題から大きな変形を与えることができない。②温間鍛造：潤滑剤 (グラファイト・高分子系

等) の性能限界で密閉押しなどの高い型面圧となる強加工が困難である。③熱間鍛造：更に熱収縮等による形状精度限界と表面酸化も加わり、いずれにおいてもネットシェイプ化が困難で大きなコスト効果は期待できない。

また一方の懸念点である粗大炭化物は温間域以下の塑性加工で破碎が可能であることの知見により、この両者課題に対応する提案が④低温域加熱鍛造 (Tepid Forgingと呼ぶことにした) である。ここでの加熱条件は、量産鍛造向けに最も高面圧下に耐えられる固形潤滑剤 (蔞酸ボンデ+二硫化モリブデン) が使用可能で、かつ被加工材の変形抵抗が工業的型寿命を確保できる『300°C ± 30°C』とした。

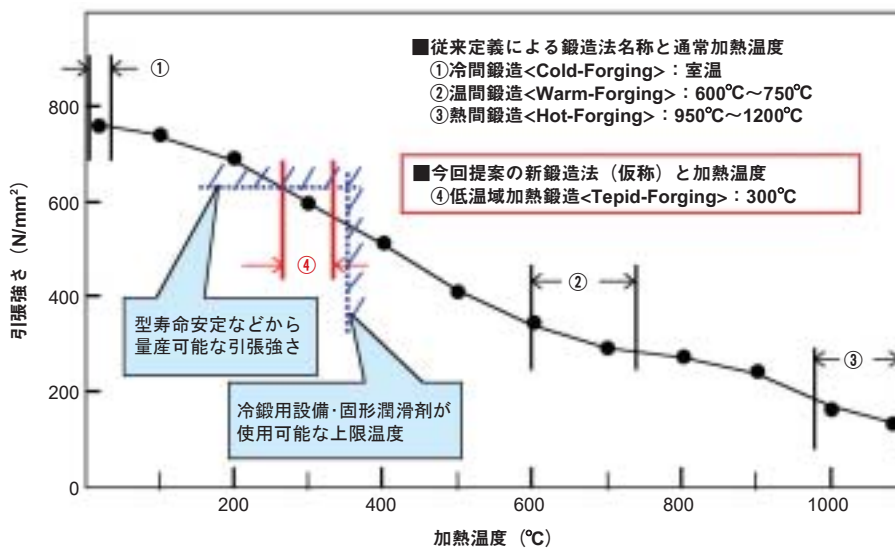


Fig. 4 Tensile strength of SKD11 when heated and forging temperature

HP型プランジャの鍛造工程サンプルをFig. 5に示す。(1)鋸切断ブランク：φ17Bar材を30mm長さに切断し、ショットブラストにてエッジ部除去後に潤滑処理（蔦酸塩皮膜とMoS2溶融槽浸漬）を施す。(2)前方押出し：トランスファ連続プレスを使用して第1ステーションの直前でリダクションヒータにより300℃に加熱後φ17mmからφ9.3mmまで（断面減少率：70%）前方へ押出す。(3)据込み：続けて第2ステーションで未加工のφ17部高さ20mmから9mmへ（高さ減少率55%）半拘束据込みを行う。

この潤滑処理仕様は通常ステンレスなど高クロム系鋼の冷間鍛造に用いられるものであるが、今回のように300℃程度の加熱条件下であれば期待する性能を十分発揮する。但し、350℃を超える辺りから急激に劣化が進むため温度幅は±30℃とした。すなわち管理幅上限の330℃近くまで加熱し、温度低下によって被加工材の変形抵抗が、金型寿命などで許容限界となる270℃を下回る前に第2ステーションの据込み加工を終える設定となっている。



Fig. 5 Samples of tepid forging

また、加熱がこの程度の低温域であれば、プレス本体・周辺機器を含めて冷間鍛造の仕様そのまま使うことが可能である。本例では既設の冷鍛用設備にヒータを直結したバイパス投入シュートを併設し、従来からの冷鍛品と交互に生産している。

2.2 HIP処理

粗大な炭化物は、800℃程度以下×10%程度以上の冷間加工によるマトリックス部材の圧縮力にて破砕が始まり、更に温度低×加工度大となるにしたがって細粒化が進展する。Fig. 6は前述したTepid鍛造における(a)前方押出しと(b)据込み（加工軸はいずれも図の横方向）での炭化物の破砕状態である。前方押出しではマトリックスの伸びで加工軸と直交方向に引きち切られており、据込みの場合は押し潰されて加工軸方向に剪断されている。

この破砕で分割された炭化物の間に空隙が生じる（Fig. 6→部：真黒に見える箇所）が、静水圧によって埋め戻すことが可能であり、ここでは量産設備としてHIP（Hot Isostatic Pressing）炉を使用する。

またFig. 7に示すように元の素材においても空隙が潜在することがあり、これが冒頭に型寿命の事例（Fig. 2）として述べた炭化物欠落に繋がる不安定な保持状態である。この空隙は、炭化物サイズが大きくなるほど顕著で、Bar材の製造段階に圧延方向（図横軸）の炭化物輪郭へ現れる場合が多いが、これもHIP処理で同時に消滅できる。



Fig. 7 Void of bar material

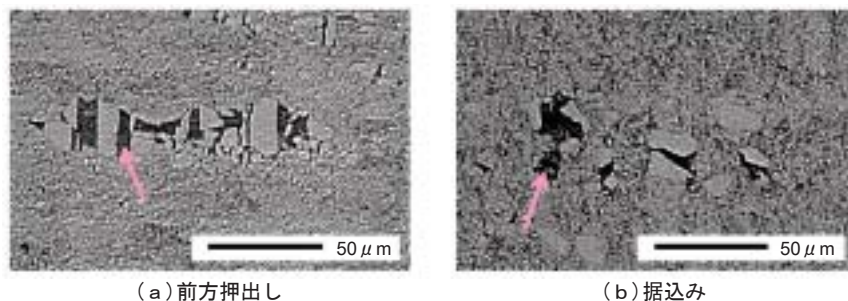


Fig. 6 Crushing condition of first stage carbide

Fig. 8は、950°C×90MPa条件のHIP処理による被加工品の寸法（体積）変化を時間軸で示したもので、1時間の経過で収縮が終了しており、この時点で空隙が埋め戻されたと判断できる。

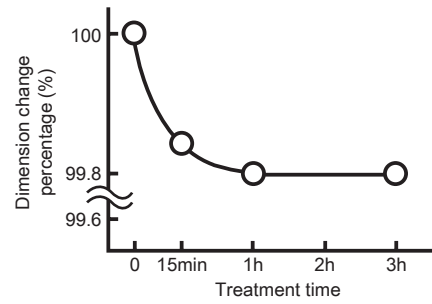


Fig. 8 Dimensional change of processed product

炭化物が丸みも帯びており理想的（応力集中緩和など）な金属組織に近くなっている。

3. Tepid鍛造とHIP処理の効果

3.1 金属組織の改良

Fig. 9は工程順における炭化物の形態変化である。Bar素材の熱間圧延による炭化物輪郭の空隙とTepid鍛造の炭化物破碎によって生じた空隙とともに、次のHIP処理で完全に埋め戻されている。更に、細粒化された

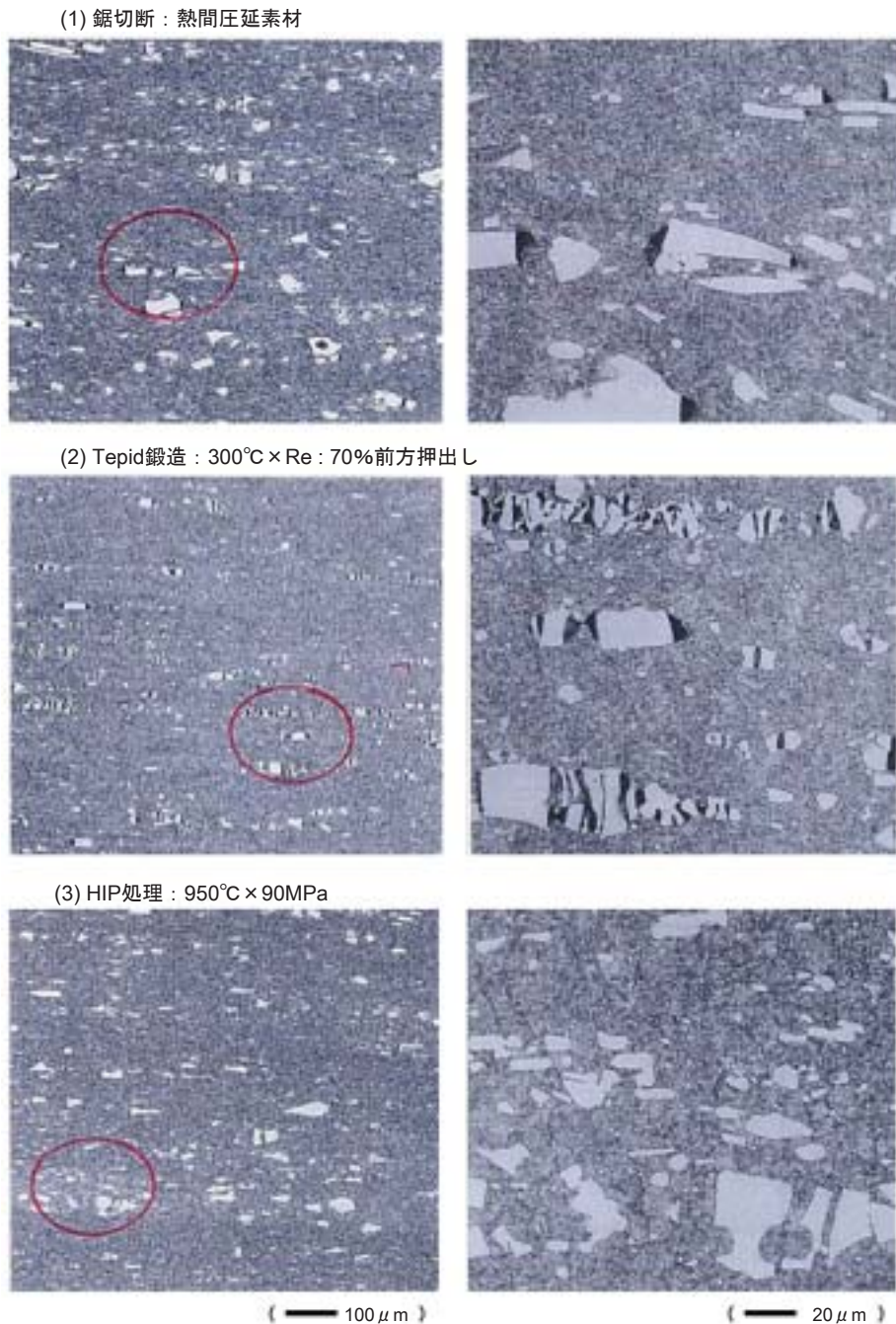


Fig. 9 Form change of the first stage carbide

3.2 機械的性質の向上

前述の金属組織改良による効果を衝撃値でみたものがFig. 10である。A：熱間圧延素材，B：Tepid鍛造後，C：HIP処理（完成品）で，元の素材に対して加工完了後では20%程度向上する結果となった。

また耐摩耗強度においても本加工によって元の素材より5%程度の向上（ピニオンディスク試験法による摩耗抵抗値）が確認されている。

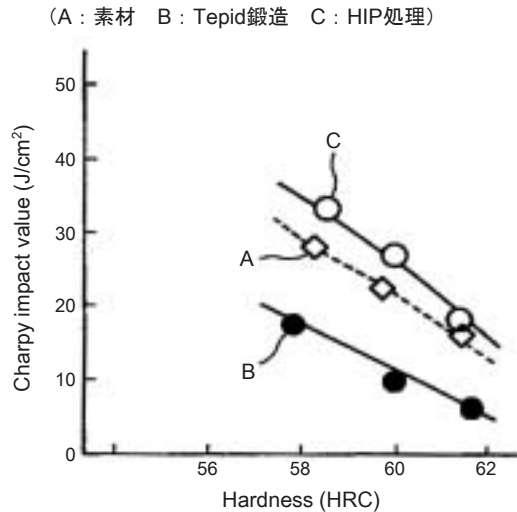


Fig. 10 Charpy impact value of raw material and processed items (Effect of strength improvement)

4. まとめ（SKD11鋼種において）

- (1) 300℃程度に加熱することにより，50%を超える押し出し・据込み加工などが工業的の量産ベースにて可能であり，また冷間鍛造並の精度も得られる。

- (2) 本Tepid鍛造法にて，素材に内在する粗大炭化物の破碎・細粒化ができる。
- (3) 炭化物の破碎によって生じた空隙は，たとえば950℃×90MPaのHIP処理で消滅する。これにより元の素材以上の強度・組織安定性が得られる。
- (4) 以上の知見から，コモンレール式HP型ディーゼル燃料噴射ポンプのプランジャ量産工法として採用した。（生産実績：300万本/年，日米特許取得済）

5. おわりに

本加工法の展開として，タペットなど高圧しゅう動部品の熱間鍛造からの切替えによるコスト低減効果等が期待できるが，鍛造工法以外への応用では板金プレス向けの圧延鋼板や全切削加工用のみがき棒鋼など鉄鋼材料の製造工程に組入れることでも同様の効果が得られそうである。実際に“SKD11：3.2 t冷間圧延鋼板”を試作してみたが，当プランジャ例に近い炭化物の破碎が確認できた。みがき棒鋼の場合はRe20%程度で冷間引抜きを行えば同レベルの結果となるはずである。

また，SKD鋼種本来の用途である金型への展開も進行中で，例えば消耗性の異形（楕円）穿孔パンチ製作過程にて異形部加工を押し出し成形（金属組織の改良）することでパンチ寿命を確保し，高級ハイスから一般工具鋼への置換えと面倒な異形の型加工も容易にする型経費低減策として評価中である。以上のように本方案の可能性はまだ広く，今後多方面において展開拡大を進めていきたいと考えている。



< 著 者 >



宮下 修
(みやした しゅう)
部品エンジニアリング部
鍛造加工技術開発に従事



田中 雅三
(たなか まさみ)
部品エンジニアリング部
部品加工技術開発全般に従事