

型鍛造クランク軸の高性能化と 高生産トータルシステムの開発

Development of High-Performance Forged Crankshafts and
its Advanced Total Design and Manufacturing System

住友金属工業株式会社

1. 研究開発の背景と目標

自動車に対するニーズは年々多様化、高度化してきており、エンジン高性能化への開発が進んでいる。このような背景のもと、軽量・コンパクト化とこれに相反する高機能化（すなわち高強度・高剛性・高バランス化）を両立させる高性能の型鍛造クランク軸の経済的製造技術の開発が望まれていた（図1に型鍛造クランク軸の製造プロセスと特性を示す）。また特に、鋳造で製造されていた複雑形状のV型6気筒（V6）用クランク軸の鍛鋼化を始めとする製造技術の革新や、地球環境への負荷軽減も望まれていた。

その開発目標は次の2点に集約される。

（1）高性能化：V6クランク軸を始めとする軽量・コンパクト化とこれに相反する高機能化を両立させるクランク軸の最適形状設計技術の開発。

（2）低コスト化：材料設計開発から型設計、性能および強度評価、製造に至るトータル生産技術効率化によるコストダウンと、これら技術への多品種・短納期化対応システムの構築。

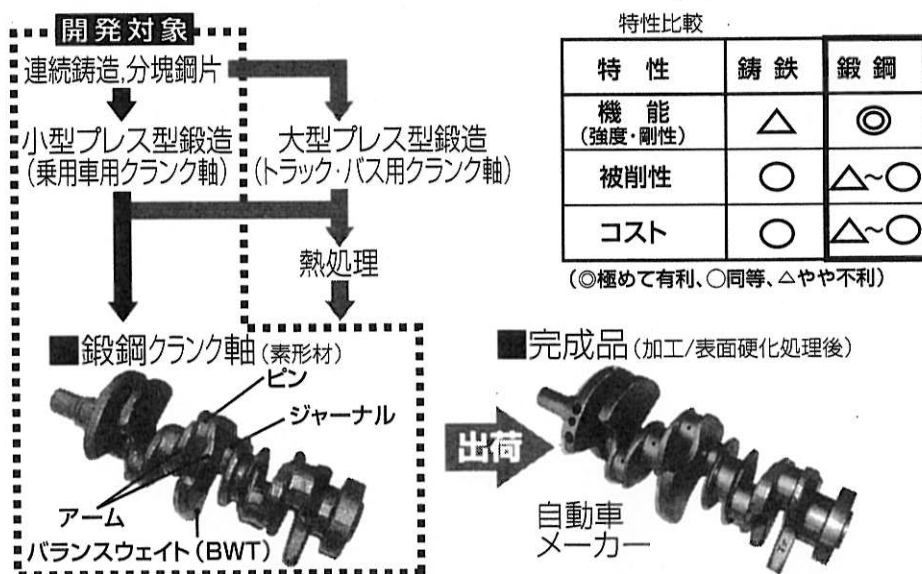


図1 型鍛造クランク軸の製造プロセス

2. 研究開発の経過

(1) 従来、乗用車用クランク軸は鋳鉄が主であったが、軽量・コンパクトなエンジン開発に対応するため鍛鋼化による高性能化を推進した。なかでも極めて複雑形状の鍛鋼V6クランク軸を、従来のねじり加工法を応用した革新技術により1989年に実用化した。

(2) この鍛鋼V6クランク軸は、環境に優しく快適性を求める社会ニーズに応えるものであり、経済性に優れることが普及の鍵であった。そこで、1991年より倍速全自動化&非調質化の新型鍛造ライン導入により量産化を実現した。

(3) コンカレントエンジニアリング開発の重要性及びニーズを予見し、CAD/CAE及び評価技術を総合的に活用する最適形状設計技術を1995年に確立した。更に、これらのデータ情報を総括的に取り込んだ高生産トータルシステムへ発展、完成させた。

3. 研究開発の内容と特徴

クランク軸の高性能化と経済性を追求する取組みとして、図2に示すCAE最適形状設計・V6クランク軸の鍛鋼化・倍速全自動化・非調質化成分設計の要素技術を開発し、これらに高度ベース技術(材料開発・金型製作・実体評価)を加えた総合化により、高生産トータルシステムを構築した。以下に開発内容の特徴を述べる。

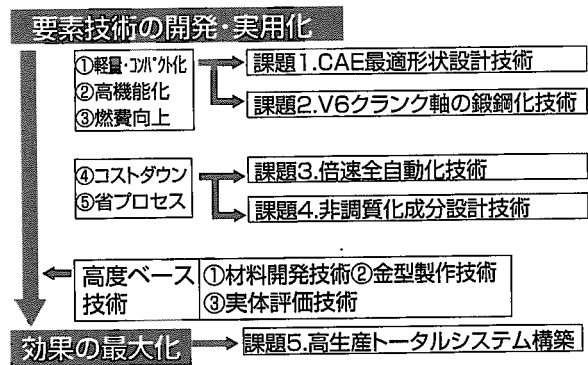


図2 研究開発内容の位置づけ

(1) CAE最適形状設計と革新鍛造技術によるクランク軸の高性能化

1) CAE最適形状設計

自動車メーカーに代わり基本諸元から、図3に示すCAE/CADにより形状設計の検討を行い、鍛鋼クランク軸の特性(高強度・高剛性特性と各部硬度管理等の材質設計、

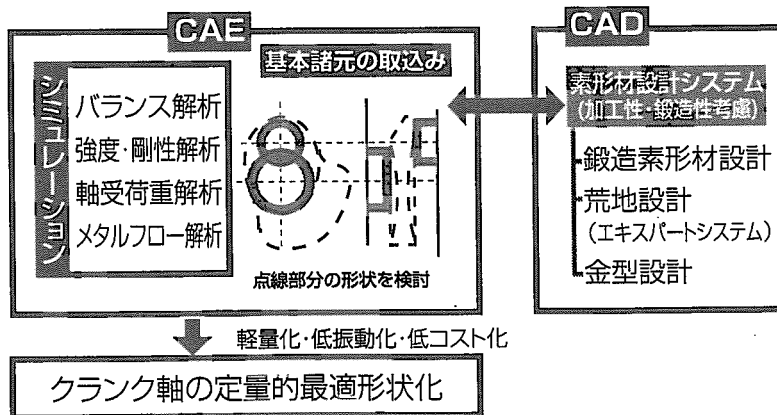


図3 CAE/CADによるクランク軸の最適形状設計手法

抜き勾配・機械加工代等の鍛造成形性)を配慮しつつ、軽量化・低振動化・低コスト化を評価し最適化する定量化設計技術を世界に先駆け実用化した。

図4は本技術によるクランク軸軽量化設計の事例であり、ピンと反対方向のバランスウエイトを大きくして慣性力を上げ、軸受荷重を抑えつつ他のアーム部の軽量化を行い、トータルとして軸受荷重の増加なしに3%の軽量化を定量的に実現した。

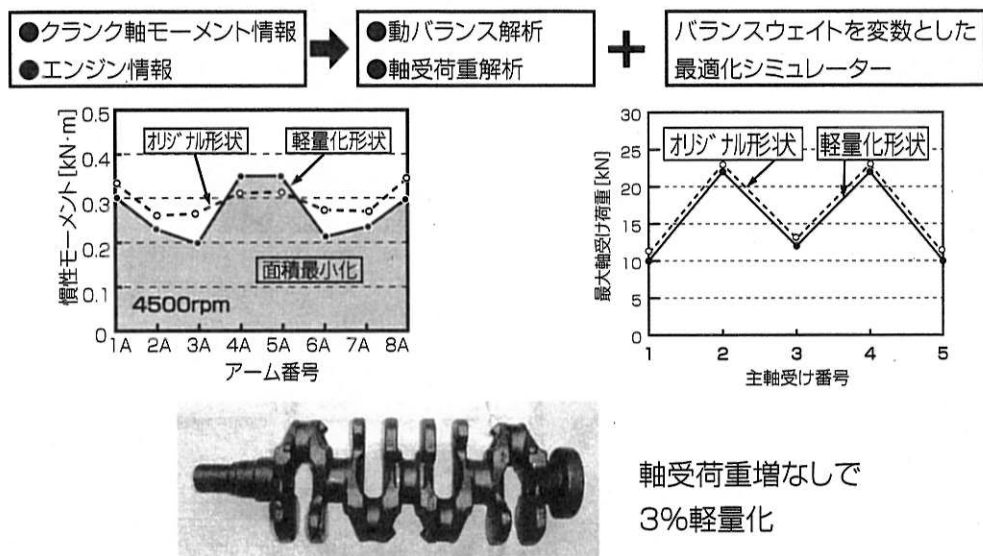


図4 直列4気筒クランク軸の最適形状設計の事例

2) 複雑形状V6クランク軸の鍛鋼化

形状が複雑なため鋳造でしか製造できないとされていたV6クランク軸の鍛鋼化を、高性能クランク軸化への総合化技術の集大成として位置づけ、図5に示す製造工程により世界に先駆け開発した。

その革新的鍛造技術は、熱間ねじり加工を応用した図6に示すねじり前型鍛造形状の設計である。型鍛造の際に発生する金型ピンエッジ部の変形及びねじり時のアーム部スリップとねじり形状変形等を抑え込むことにより、量産時の高精度化を実現した。図7は、アーム部が薄くて深いため倒れ易いV6金型のピンエッジ部の両側を、CAEにより面圧が均衡する評価関数を求め、適正バリ厚差を基準化したものである。図8は、同様にアーム部が薄くてねじり時の圧縮・引張応力により寸法変化する肉厚部を、CAEによりその補正値を基準化したものである。

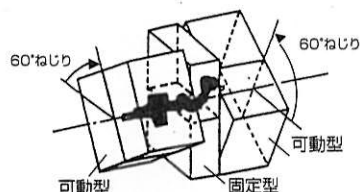
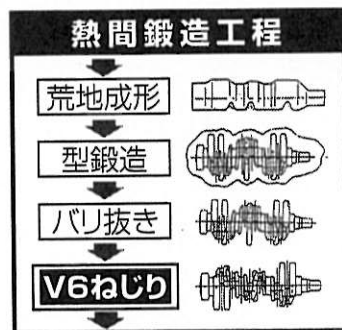


図5 V6クランク軸製造工程

鍛鋼化によるV 6 クランク軸の高性能化実現（従来型 6 気筒クランク軸に較べ約30% 軽量・コンパクト化）は、V 6 エンジンの普及・拡大に大きく貢献した。

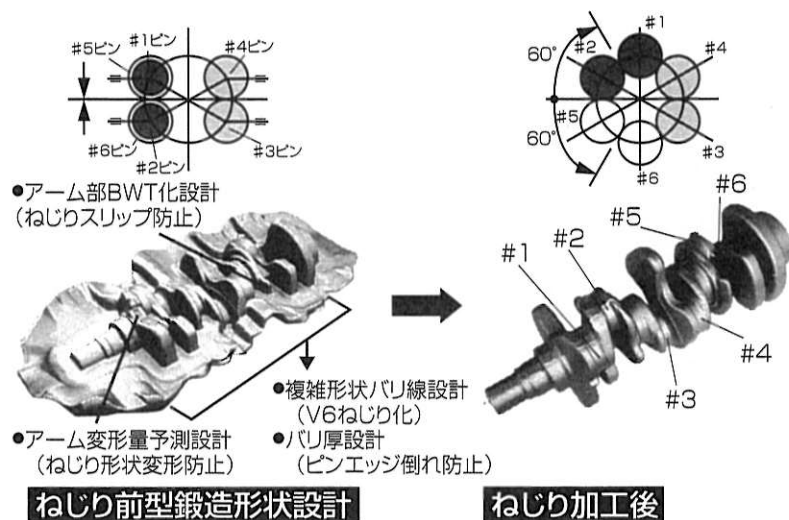


図6 複雑形状V 6 クランク軸の高性能化設計の事例

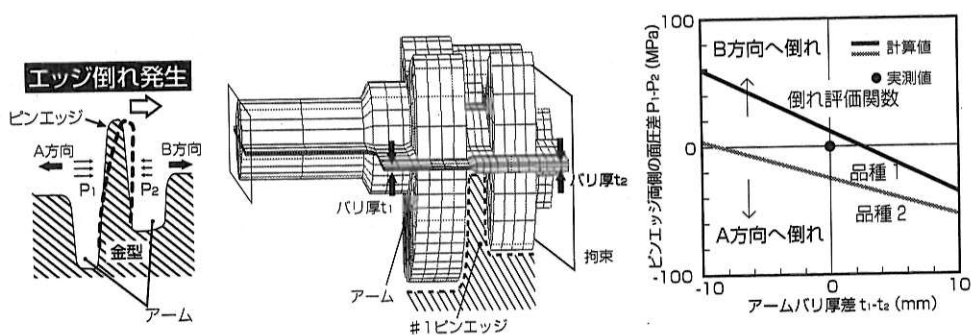


図7 金型ピンエッジ倒れの防止技術

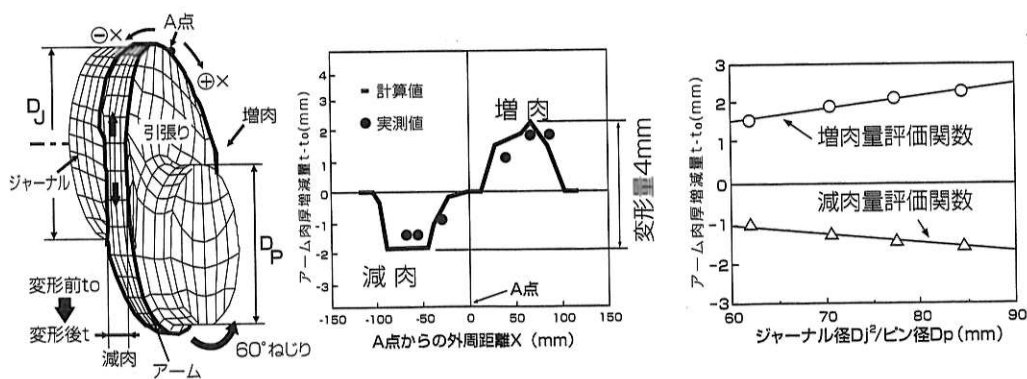


図8 ねじり加工時のアーム変形防止技術

(2) 倍速全自動化による高生産性と非調質化による低コスト化の追求

1) 倍速全自動化

低コスト化追求のため、図9に示すねじり・整形工程を一体化したコンパクト&スリムなプレスの開発等、徹底した設備集約を実施し、鍛造ライン長及び鍛造設備数を半減、また、多品種対応の高速搬送方式開発等により、図10に示す生産量3,700T/月の世界一を誇る経済性に優れた新型鍛造ラインを開発した。ブレークスルーは、倍速化を阻害する図11の高速鍛造下のトライボロジー問題を追求し、①水溶性黒鉛の強分散機による黒鉛均一分散性改善とバインダー成分の適正化を行ない、耐薄膜性に優れた新金型潤滑剤の開発(図12)と②金型寿命のシミュレーション予測技術開発により、材質による寿命特性を定量化して、高強度・高靱性に優れた新熱間工具鋼SDH3の開発(図13)に成功し、金型密着・型寿命低下を防止した点である。その結果、労働生産性460T/人・月による大幅なコストダウンを達成した。

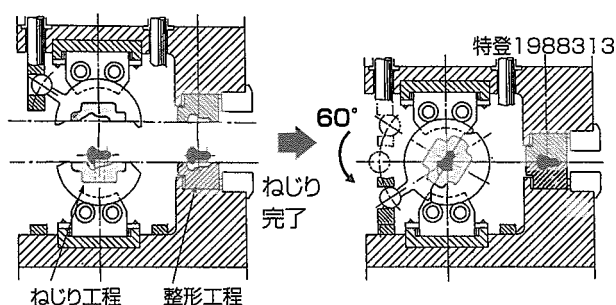


図9 ねじり・整形工程一体化による省設備化

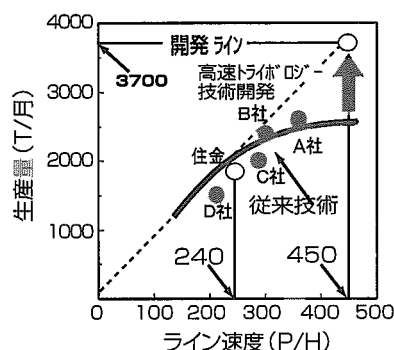


図10 新開発ラインの生産性

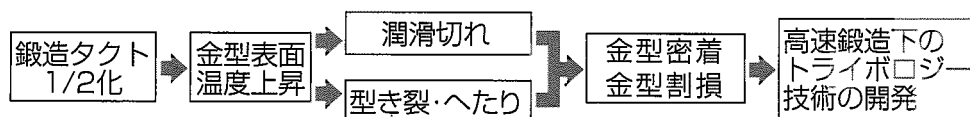


図11 生産性に及ぼす高速鍛造下のトライボロジー問題

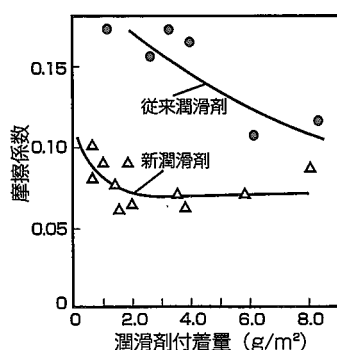


図12 水溶性黒鉛新潤滑剤の特性

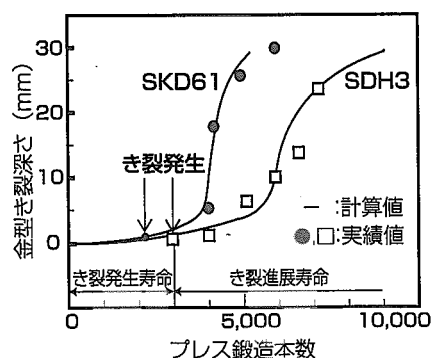


図13 新金型材SDH3の特性

2) 非調質化成分設計

省プロセス・省エネルギーによるコストダウンとリードタイム短縮が図れるクランク軸用非調質鋼を、合金元素の最適添加設計により、図14に示すあらゆるニーズに対応できるように、国内に先駆けてシリーズ化した。

高強度型はフェライト率をアップし、Si・Vで強化することで（図15）、快削型については、快削元素を複合添加することで（表1）、乗用車用クランク軸の非調質化96%を実現させた。

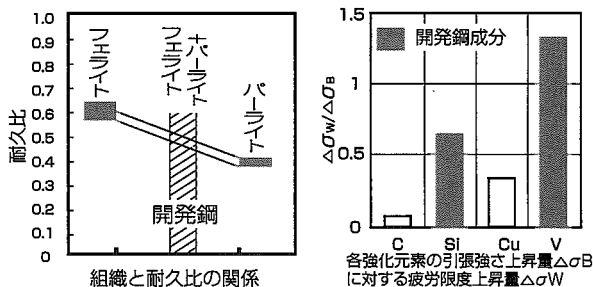


図15 高強度型非調質鋼の開発

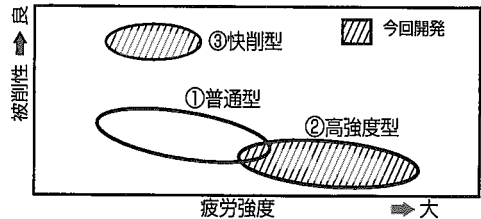


図14 クランク軸用非調質鋼マップ

表1 快削型非調質鋼の開発

項目	元素	S(ベース)	Pb	Ca	S-Pb-Ca
旋削		×	○	◎	◎
穴明け		○	◎	×	◎
切屑破碎		△	◎	△	◎

◎効果大 ○中 △小 ×なし

(3) トータルシステム開発による性能/経済性の効率化

コンピュータ情報をベースに、クランク軸の最適形状設計と共に各工程/システム間の効率的なデータ交換により、材料/設計/評価/製造を一元管理する生産システムを構築し、104種に亘るクランク軸につきタイムリーに開発工期1/2で高能率生産できるように対応させた。その結果、コンカレントエンジニアリングを実現し、総合成果として、クランク軸の高性能化・トータルコストダウン・多品種対応・短納期化を達成した。

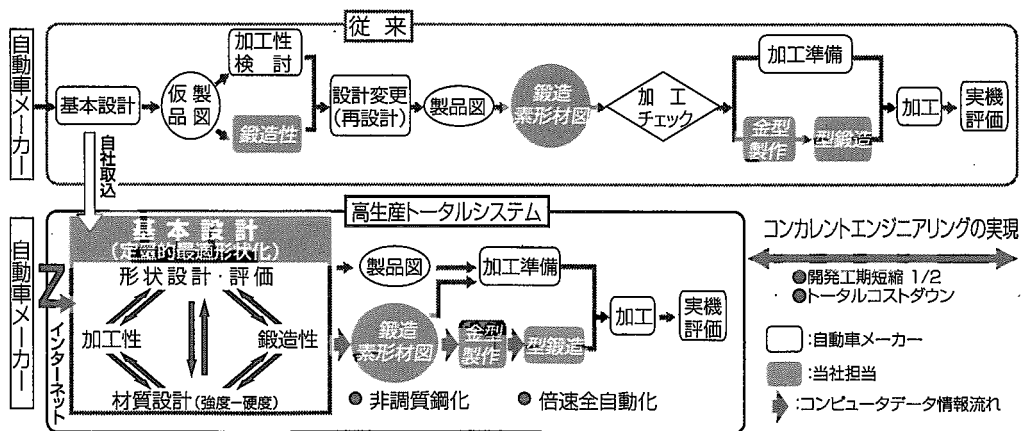


図16 高生産トータルシステムの特徴

すなわち、今回開発した要素技術の一元化により、世界で初めてクランク軸生産のトータルシステム化に成功し、高性能化と経済性の最大発揮を実現した。

4. 研究開発の成果

(1) 乗用車用クランク軸の高性能化と低コスト化、特に高性能鍛鋼V6クランク軸の開発により、北米向けを含めた販売数量は最近の8年間で1.5倍以上に増加し、1998年度で年間約290万本に達した。また、日本車ブランド鍛鋼クランク軸に占める当社シェアは1.3倍に拡大した。

(2) 鍛鋼V6ねじり新加工技術の開発により、高性能V6クランク軸を自動車メーカーに供給すると共に技術供与を行い、自動車業界へ大きく貢献した。また、コンカレントエンジニアリング実現によるエンジン開発工期短縮へ寄与し、自動車メーカーの国際競争力の向上及び合理化にも貢献した。

(3) クランク軸の軽量・高強度化による燃費向上、非調質化による熱処理エネルギーの節減等で省エネルギー約12億円/年、CO₂削減2万トン/年（全世界V6車種へ適用時の効果はこれの約6倍）と地球環境保全に貢献した。

(4) 開発された高靱性新金型材の国内11社、海外4社への他社提供により、鍛造業界に大きく貢献した。

なお1995年にクランク軸の倍速全自動化技術につき日本塑性加工学会会田技術賞を、更に同年高性能V6クランク軸開発が大きく評価されて、素形材センター通商産業大臣賞を受賞した。

5. 学会発表、特許等

本研究開発に関するこれまでの学術発表、特許等の実績は、学術論文等：16編、学術講演：26件、特許・実用新案出願数：国内56件、外国：6件である。その内、国内外にコンパクトプレス化特許実施権3件、V6量産化技術1件の技術供与実績を有する。

6. 今後の展望

「高性能クランク軸の高生産トータルシステムの開発」は、当社がこれまで蓄積してきた高度ベース技術に、材料/設計/評価/製造の一元管理化を加え総合化技術として、自動車に対する高度化・多様化する社会のニーズに対しタイムリーに開発したものである。これにより、高性能クランク軸の極みとも言える複雑形状のV6クランク軸の鍛鋼化を実現することができ、高生産性を有したプレスラインで安価に量産・供給することができるという、自動車にとっての長年の技術課題を解決し、社会のニーズと自動車業界の要求に大きく寄与することができた。

今後自動車に対するニーズは益々高度化すると考えられ、乗用車用クランク軸の鍛鋼化は更に進む傾向にある。従って、現在、一層の低コスト化を狙い、更にコンパクト&スリム化した新ラインの開発を検討中である。またVタイプの製品精度向上を含め黒皮化等さらにレベルアップするように努力し、自動車及び鍛造業界の益々の発展に寄与していく所存である。