

## 連続注入13Cr-5.5Vクラッド材の鍛造と機械的性質

Forgeability and Mechanical Properties of 13Cr-5.5V Clad Material by Continuous Pouring Process for Cladding.



特許管理室長  
森 靖之助  
Yasunosuke Mori

CPC技術開発室  
木下 利哉  
Toshiya Kinoshita

事業開発本部長  
山本 厚生  
Atsuo Yamamoto

### 要 旨

芯材となる固体金属表面にクラッドする溶融金属を高周波加熱によって連続的に融接する連続注入クラッド法による13Cr-5.5Vクラッド材について鍛造し、その鍛造性と機械的性質におよぼす鍛造の影響について試験した結果、13Cr-5.5V材の鍛造は可能で、しかもきわめて軽度の鍛造で顕微鏡組織が急速に改善され、それにともない機械的性質が著しく向上することを明らかにした。

### Synopsis :

As for the 13 Cr-5.5V clad material made by continuous pouring process for cladding, in which cladding molten metals are heated by high frequency and continuously bonded to the solid metal surface that becomes the core, it was forged, and its forgeability and the effect that forging exerted to the mechanical properties were tested. As the results, the forging of the 13Cr-5.5V material was feasible, and it was made clear that by very light forging, the microscopic structure was improved rapidly, and accompanying it, the mechanical properties were heightened remarkably.

## 1 緒 言

芯材となる固体金属表面にクラッドする溶融金属を高周波加熱によって連続的に融接する連続注入クラッド法(Continuous Pouring Process for Coadding 以下C. P. C法と略す<sup>1)</sup>)により造られたクラッド材は必要に応じて機械加工、熱処理などを行って各種搬送、圧延のロール、ローラーとして広く使用され、その優れた性能を発揮している。

芯材と外層材の組合せはクラッド材に対する要求特性に応じて種々の材料の組合せがなされているが、通常芯材は比較的靱性、延性の高い炭素鋼、低合金鋼が主として用いられている。一方外層材はその特性として耐摩耗性が要求される場合が多く、主に中炭素ないし高炭素系でCr、Mo、W、V等の炭化物形成元素を合金成分として含有する低合金鋼、高合金鋼および合金鋳鉄等が使用されるが、これらの材料は鋳造、凝固ままの状態において結晶粒界および粒

内に炭化物が分布する金属組織を呈し、芯材にくらべ本質的に低靱性となっている。しかしながら、これら外層材も熱間で塑性加工を加え凝固組織を破壊することにより強靱化し、さらに高い強靱性が要求される部材にも用途の拡大が期待される。本報ではC. P. C法によるクラッド材の強靱化手段の一つとして鍛造に着目し、当社の代表的材料である13Cr-5.5V材を外層としたクラッド材を鍛造し、機械的性質におよぼす鍛造効果について外層材を中心に調査するとともに熱間変形抵抗のへだたりの大きい2種類の材料からなるクラッド材の鍛造時の変形挙動について調査したので、その結果について報告する。

## 2 実験方法

主要試験工程をFig. 1に示す。

芯材として中実でφ280の市販のSCM440を用い、その周囲にC. P. C法によりTable 1に示す化学成分組成の

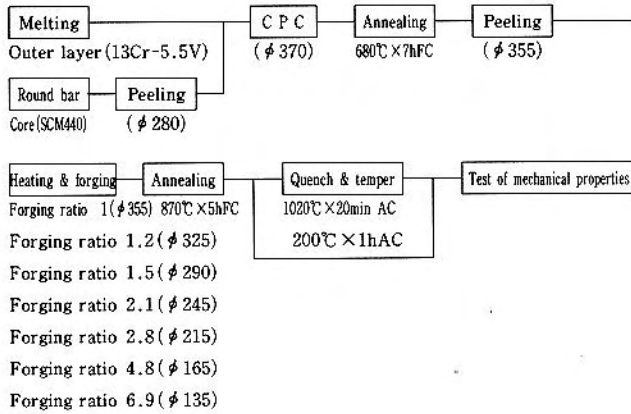


Fig. 1 Flow of forging test

Table 1 Chemical composition of outer layer (wt. %)

C	Si	Mn	Cr	V
1.75	1.21	0.73	13.10	5.68

13Cr-5.5V材の外層を形成せしめ外径φ370のクラッド材とした。さらに焼なまし後皮削りによりφ355とし鍛造した。13Cr-5.5V材はその化学成分組成から変形抵抗が大きく変形能も低く熱間加工性が悪いと考えられるため、鍛造に先立ちグリーン試験を行って熱間加工性を評価し鍛造条件を設定した。鍛錬成形比は1（鍛造なし）、1.2、1.5、2.1、2.8、4.8、6.9の7水準とし鍛錬成形比1の場合をのぞき500tプレスで熱間鍛造して丸棒とし、鍛造後870℃×5h焼なまし、1020℃で焼入れ200℃で焼きもどしを行った。鍛錬成形比1（鍛造なし）のものについても鍛造したものと同熱処理を行った。

焼なまし後および焼入れ、焼きもどし後の外層材の長さ方向からサンプリングし、硬さ、引張特性、衝撃特性および顕微鏡組織について調査するとともに、焼なまし後についてはさらに横断面マクロ組織観察を行い、焼入れ、焼きもどし後については外層材と芯材の境界部の主要元素の分布をEPMAにより調査した。

なお鍛造前後にUT検査を行った結果、外層材と芯材の境界部に鍛造による割れ等の欠陥はみとめられなかった。

### 3 実験結果および考察

#### 3.1 熱間加工性

13Cr-5.5V材の熱間加工性をみるためAs C. P. Cの外層材の長さ方向からサンプリングしグリーン試験を行った。

試験結果をFig. 2に示す。歪速度が小さいほど変形抵抗が小さく変形能の指標となる絞りが大きく、また試験温度が低いほど変形抵抗が大きく絞りが低下する傾向がみとめられる。しかしながら絞りの最も大きいところでもなお

50%以下で変形抵抗もかなり高い水準にあり、13Cr-5.5V材の熱間加工性は悪く、鍛造しにくい材料であることがわかる。

グリーン試験結果から鍛造条件として加熱抽出温度を1130℃とし、鍛造下限温度としては1000℃以上がのぞましいが、鍛造作業上の制約もあり900℃とした。

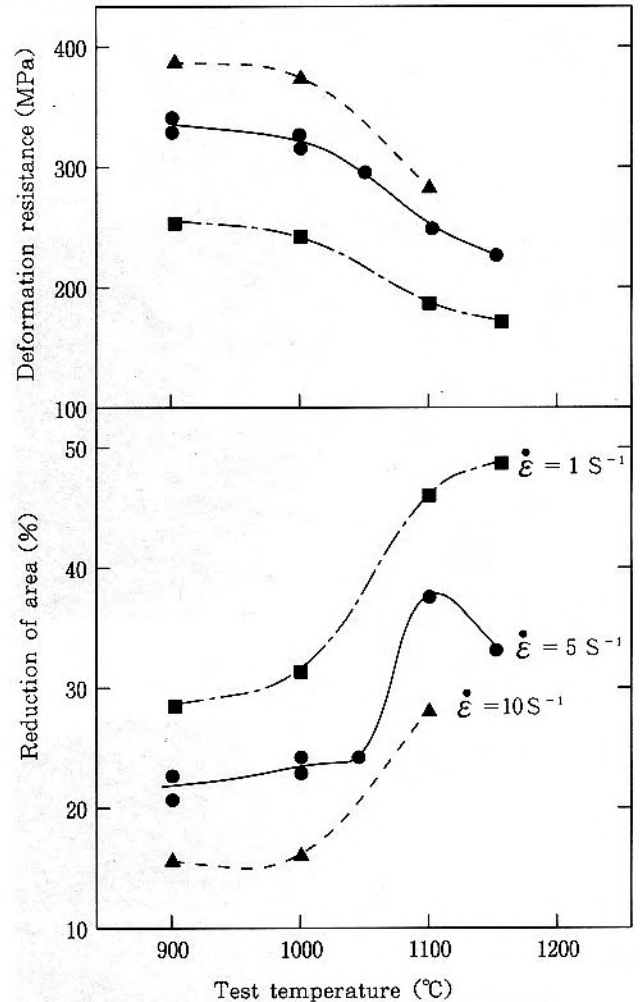


Fig. 2 Hot workability of 13Cr-5.5V material

#### 3.2 鍛造作業と鍛造材の性状

鍛造は500tプレスで平金数を用い、外層材の熱間加工性が悪いことおよび外層材と芯材の境界の真円度の確保を考慮し、1回プレスする毎に少しづつ、回転させながら1回のころし量を径で15~20mm程度と小さくし鍛造を行った。鍛造作業中の状況をFig. 3に示す。

鍛造が進むにつれて両端部から芯材が突き出してきたりとも端部では外層材にくらべ変形抵抗の小さい芯材が大きい塑性変形を受けていることを示唆している。鍛造後の代表的な外観状況をFig. 4に示した。

鍛造後の表面状況は円周方向に軽度の割れがみられるものもあったが、鍛造条件をさらに適正化することにより13Cr-5.5V材の鍛造は十分可能と推察される。

Fig. 5は鍛造後の断面の寸法変化から外層材と芯材をあわせた全鍛錬成形比と外層材のみの鍛錬成形比および芯材

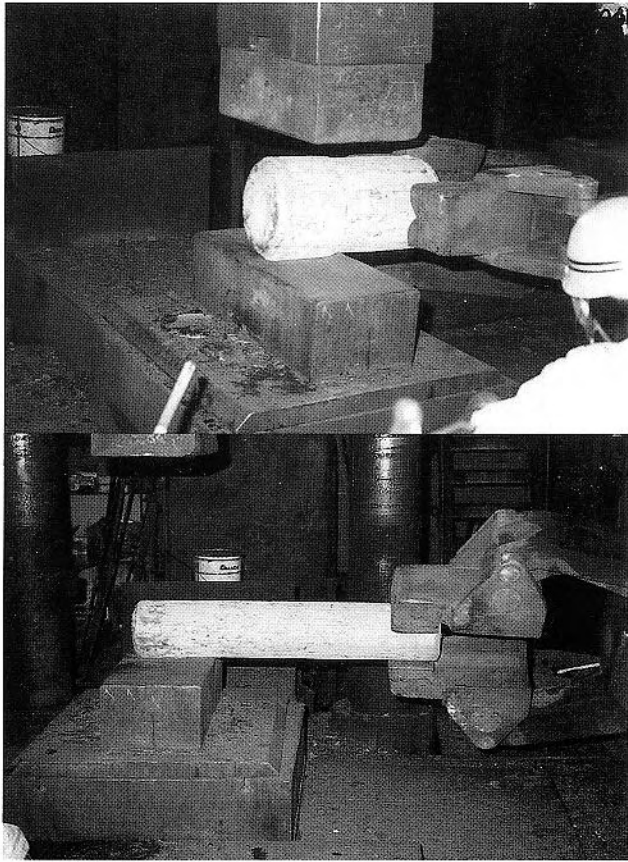


Fig. 3 Forging works of cladding material

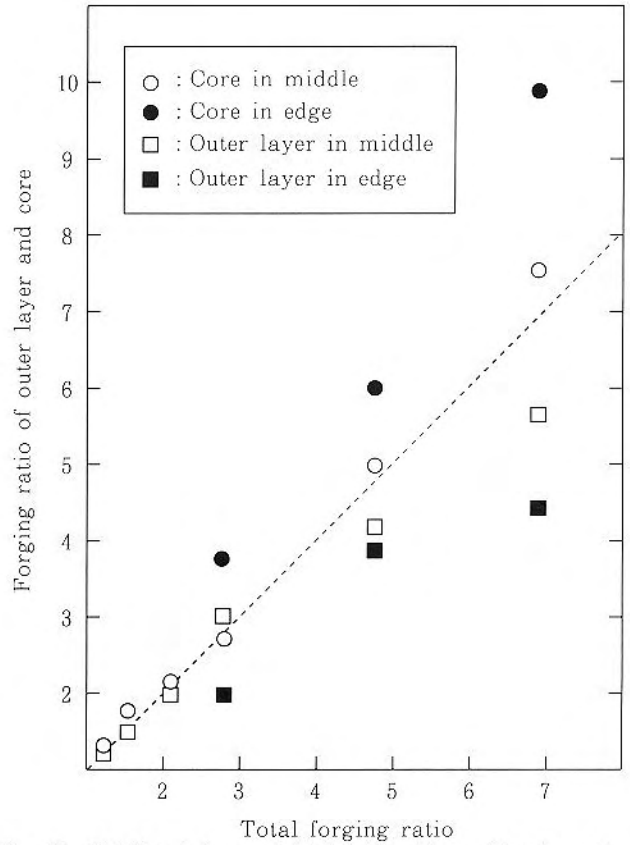


Fig. 5 Relation between total forging ratio and forging ratio of outer layer and core

のみの鍛錬成形比との関係を示したもので、鍛造時の断面減少は芯材にくらべ変形抵抗の大きい外層材の断面減少が小さく、鍛錬成形比が大きくなるほどその傾向が大きくなる。長さ方向の部位別にみると中央部寄りでは外層材と芯材の断面減少率の差は小さいが、端部寄りでは端面から変形抵抗の小さい芯材が突き出し易いためその差が大きい。

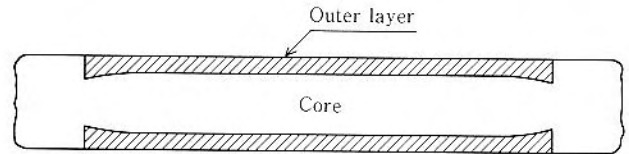
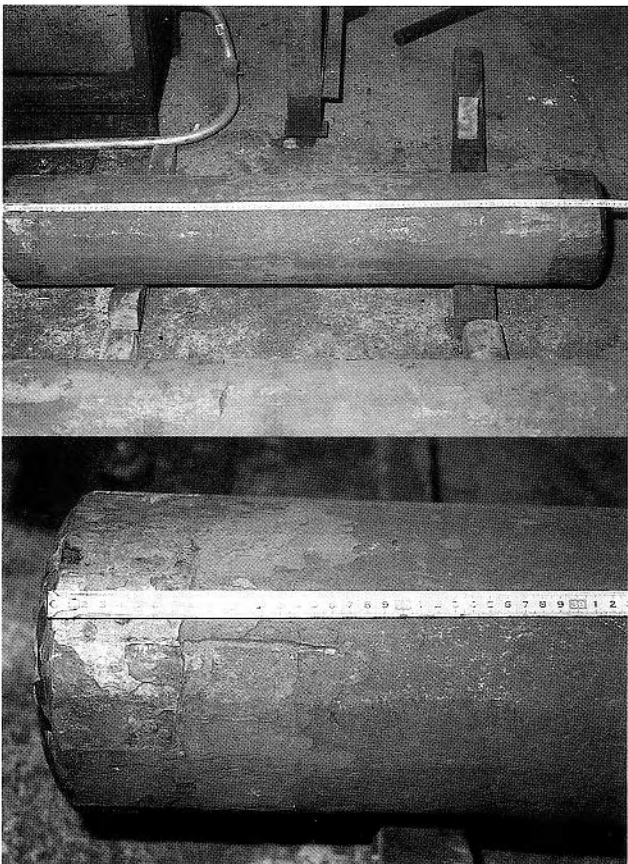


Fig. 6 Schematic figure of longitudinal section in forged cladding bar

Fig. 6はこの様子を縦断面について模式的に示したもので、鍛錬成形比によっても異なるが端部から100~250mmまでの範囲で鍛錬成形比が非定常になっている。

Fig. 7に代表的な横断面のマクロ組織を示す。外層材と芯材の境界部に割れなどの欠陥は全くみとめられず良好な境界性状を呈しているが、境界の真円度は必しも良好とはいえず、難しい。境界の真円度は丸タップの使用など鍛造方法の工夫でかなり改善されるものと推察される。



Forging ratio 2.8  
Fig. 4 View of forged cladding bar

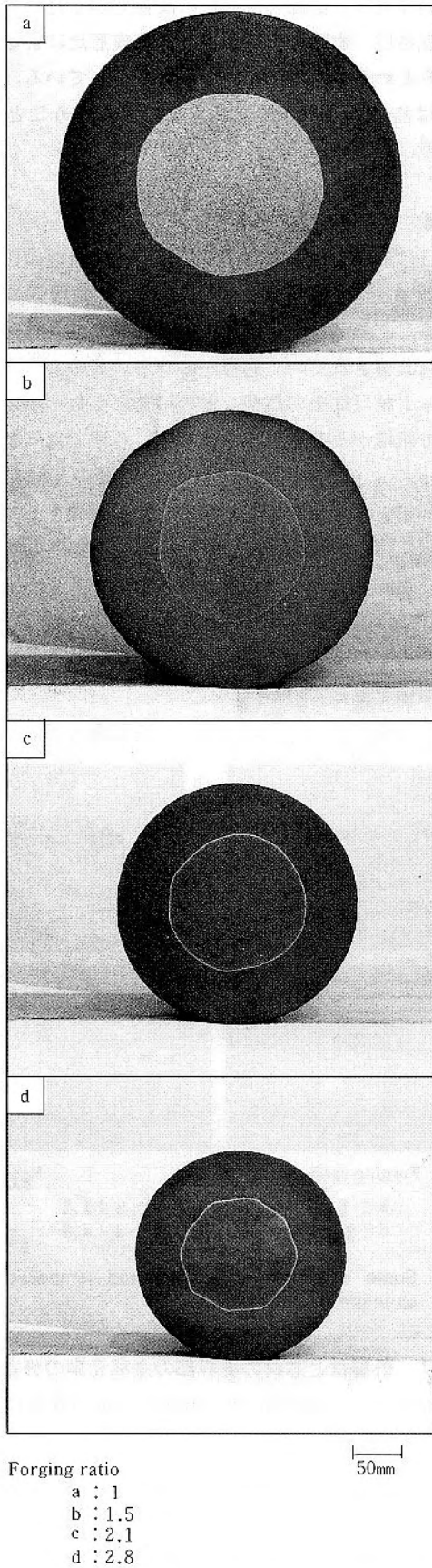


Fig. 7 Some examples of macro-structure in transverse section

### 3. 3 引張特性

Fig. 8 は鍛錬成形比と引張強さおよび伸びの関係を示したもので、鍛錬成形比が大きくなるにしたがって焼なまし、および焼入れ、焼もどし後のいずれにおいても引張強さ、伸びが著しく向上している。引張強さ、伸びの増大は鍛錬成形比の小さいところで大きく、鍛錬成形比2.1以上では一定となる。この上昇は後にのべるようにC. P. C法によるクラッド材は軽度の鍛造により組織が急激に改善されることに起因している。

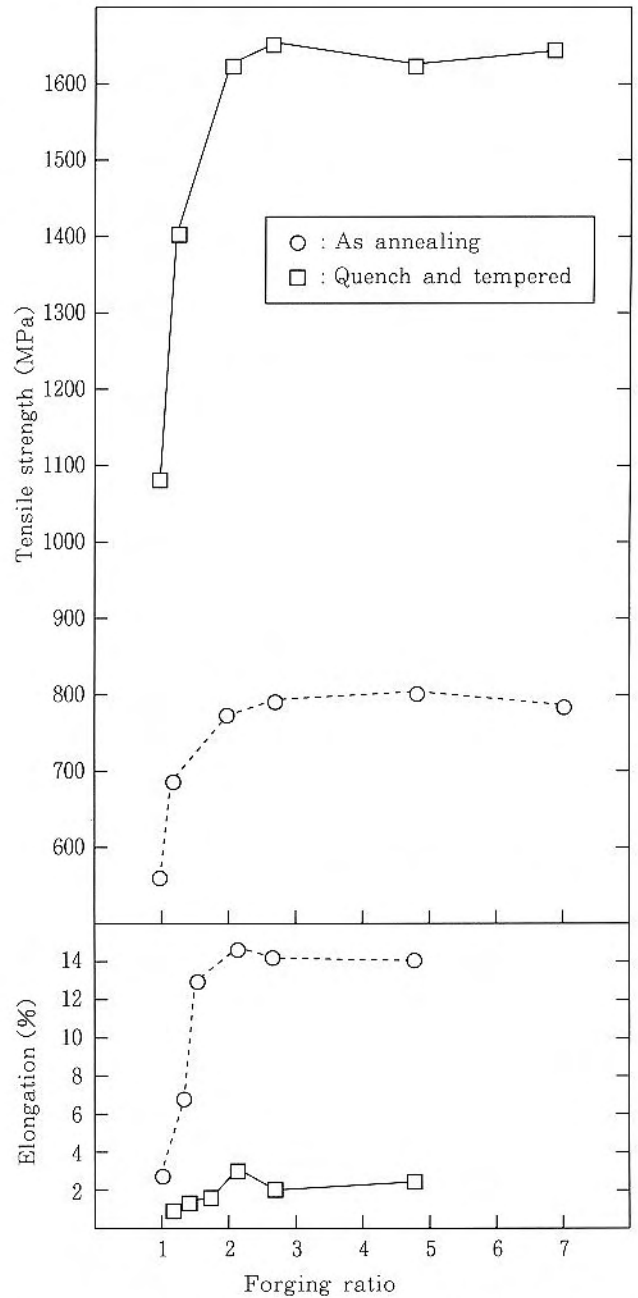


Fig. 8 Relation between forging ratio and tensile properties of outer layer

### 3. 4 衝撃特性

鍛錬成形比と衝撃値の関係をFig. 9に示す。

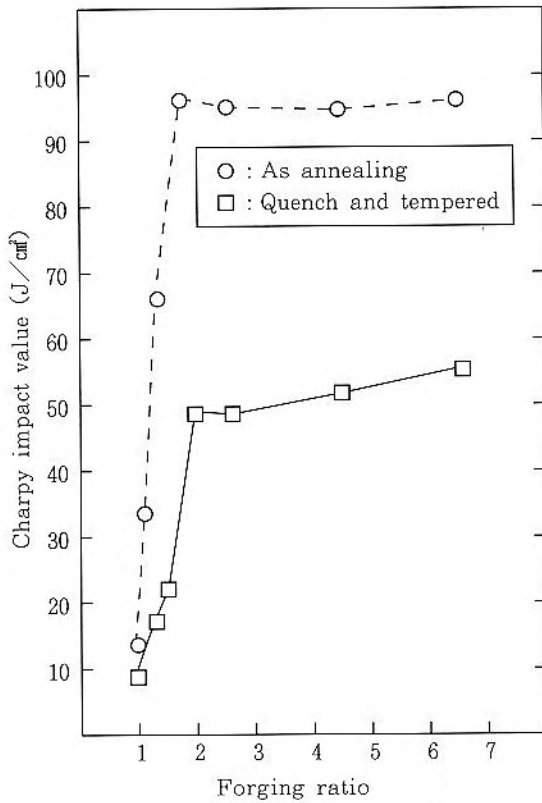


Fig. 9 Relation between forging ratio and Charpy impact value of outer layer

衝撃特性についても引張特性と同様に鍛錬成形比の増加にともない衝撃値は大きくなり、鍛錬成形比の小さいところでの上昇が大きい。

### 3. 5 硬 さ

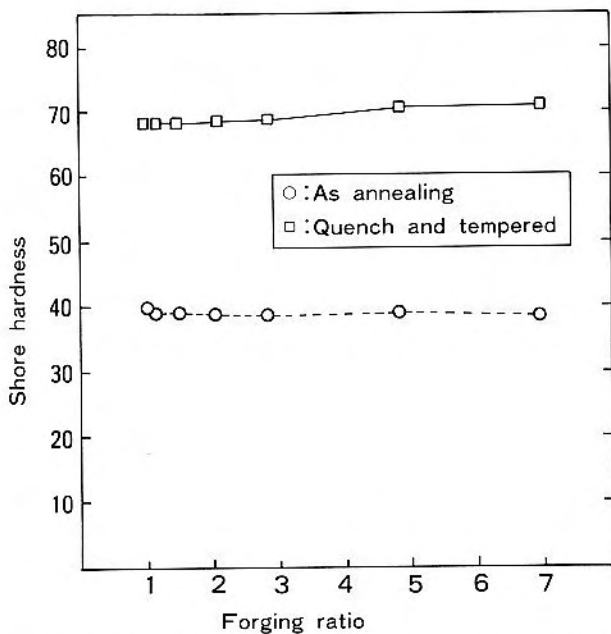


Fig. 10 Relation between forging ratio and hardness of outer layer

Fig. 10は硬さと鍛錬成形比との関係を示したもので、硬さは引張特性、衝撃特性と異なり鍛錬成形比による大きな変化はみとめられずほぼ一定の硬さを示している。すなわち硬さは熱処理によってほゞきまってしまうことがわかる。

### 3. 6 顕微鏡組織

Fig. 11は鍛錬成形比の異なる外層材の縦断面の代表的な顕微鏡組織を示したもので、As C. P. Cの状態でネット状に発達した共晶炭化物が鍛造により破壊され均一分散化し急速に改善されていく過程がわかる。このようにC. P. Cクラッド材は従来の鋼塊などの鍛造にくらべ小さい鍛錬成形比で組織が改善されるのはC. P. C法では外層が水冷モールドにより急冷されると同時に低温の芯材からの抜熱、冷却により急速に凝固し緻密な凝固組織をしているため、凝固組織の破壊均一化がきわめて小さい熱間塑性加工によって達成されるためと推察される。

Fig. 12は外層材と芯材の境界部および芯材の代表的顕微鏡組織を示したもので、境界部も特に異常はみとめられず健全な組織を呈している。

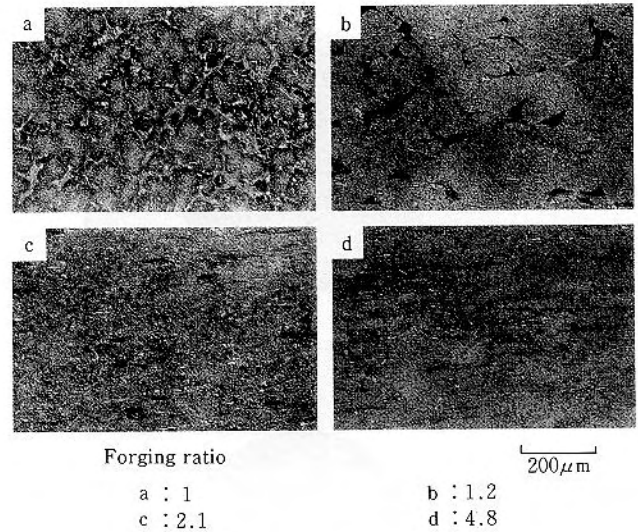
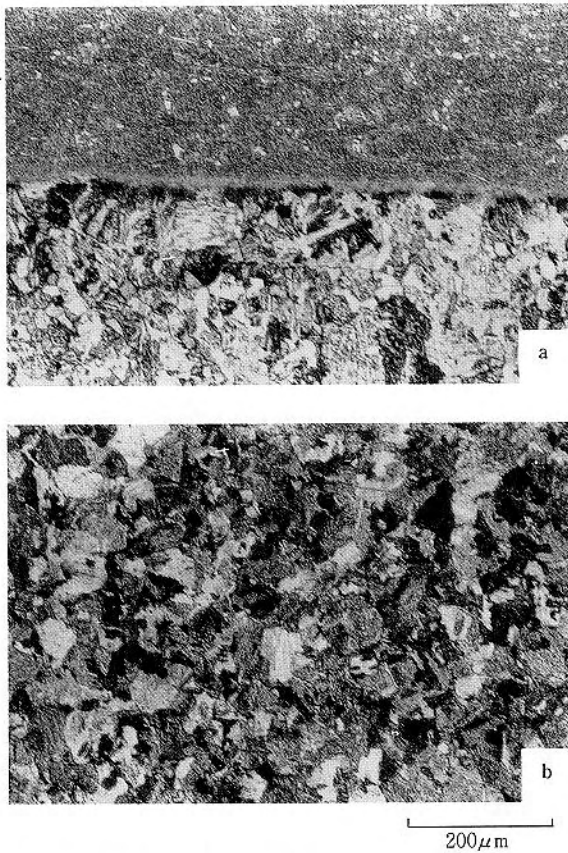


Fig. 11 Some examples of quench and tempered microstructure of outer layer

### 3. 7 外層材と芯材の境界部の主要元素の分布

外層材と芯材の境界部のC, CrおよびVの分布についてEPMAの線分析により調査した結果をFig. 13に示す。

芯材から外層材にわたって成分濃度の変化する境界部の遷移領域は約40µmで、さらに境界から離れた領域では芯材および外層材のそれぞれの化学成分組成に応じた均一な成分分布を呈している。この遷移域はAs C. P. Cにおける従来結果30~200µmと略同一水準にある。



a : Boundary (Forging ratio 2.1)  
b : Core (Forging ratio 2.1)

Fig. 12 Microstructure of core and boundary

#### 4 結言

C. P. C 法によるクラッド材の強靱化をはかるため 13Cr-5.5V クラッド材を熱間鍛造し、鍛造時の変形挙動と機械的性質におよぼす鍛造の効果について試験し以下の結果をえた。

(1) C. P. C 法による 13Cr-5.5V クラッド材の鍛造は十分可能で、鍛造時の断面減少は芯材にくらべ変形抵抗の大きい外層材の断面減少が小さく鍛錬成形比が大きくなるほどその傾向が顕著である。また鍛造材の両端部では芯材が端面から突き出しやすいため、中央部にくらべ外層材の断面減少がより小さく芯材の断面減少がより大きくなる。

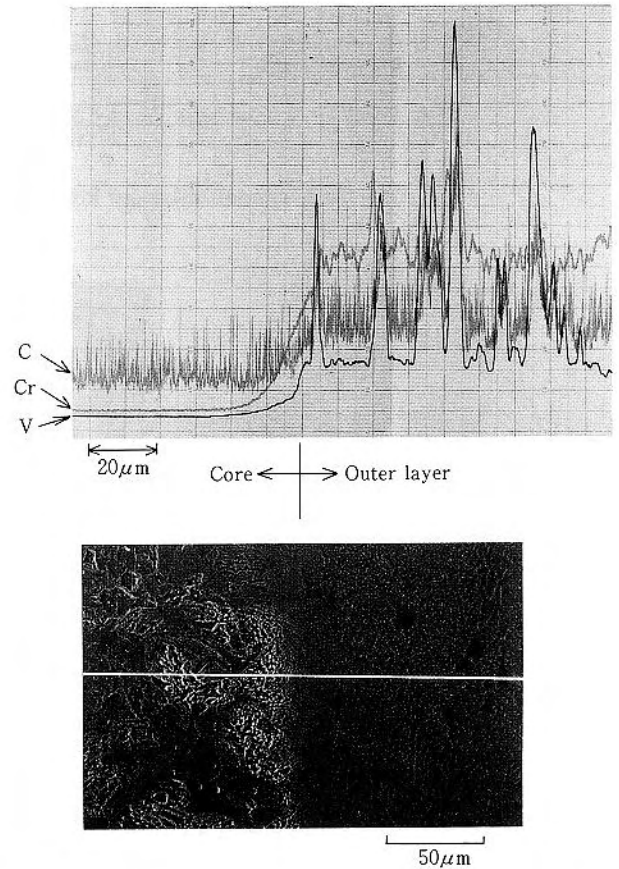


Fig. 13 C, Cr and V distribution in boundary

- (2) 外層材の機械的性質は強度、延性とも鍛錬成形比の増加にともない急激に向上し鍛錬成形比 2.1 以上では一定となり、きわめて軽度の鍛造で機械的性質が改善される。
- (3) また金属組織的には鍛造により共晶炭化物の破壊、均一化などの組織改善が急速に進む。C. P. C 法によるクラッド材は casting 時に水冷モールドからの強い冷却により急速に凝固するため casting 組織が微細で軽度の鍛造で casting 組織が破壊され、炭化物の均一化など組織改善にともない機械的性質が向上するものと推察される。

#### 参考文献

- 1) 坂本眞一、玉川進、津田篤信、森高靖彦、山本厚生、フジコー技報 1 (1993) 9