

## 複合プロセス(CPC+鍛造)の連続鋳造ロールへの応用

Application to CC-rolls of the compound process (CPC+forging)



技術開発センター  
尾崎 健一  
Ken-ichi Ozaki

技術開発センター  
興梠 隆  
Takashi Koroki

技術開発センター  
大野 京一郎  
Kyoichiro Oono

技術開発センター  
芳谷 和政  
Kazumasa Yoshitani

### 要旨

連続鋳造設備では、製造品質に大きく影響するアライメント管理がより厳格となり、ロール摩耗は直接的にアライメントを乱す大きな要因である。現在主流となっている分割型ロールへの延命対策は前世代のヒートクラックを問題とする1本型ロール表面改質仕様を継承しており、十分な適用検討はなされてはいない。

そこで筆者らは分割型ロールでの損傷現象を究明し、その解決方法としてCPCプロセスおよび熱間鍛造プロセスの複合プロセスによる、これまでにない連続鋳造ロールを以下に提案する。

### Synopsis:

The strict control of alignment is indispensable in continuous casting process to ensure product quality. The direct and major factor that deranges roll alignment is the wear of the roll. The conventional method to enhance the surfaces of monolithic roll aimed at protecting them against heat crack is still used with split-type rolls, which are mainstream continuous casting rolls of late, for lengthening their service life. The study of legitimate roll surface reinforcement technology is still dragging around.

We, Fujico, have been studying phenomena damaging the surface of split-type rolls, and as a result, herein, proposes an unprecedented CC roll produced by a compound process of the CPC process and forging as an unprecedented solution to the problem said above.

### 1 緒言

連鋳機を構成する機械要素のうち、連続鋳造ロールは製品品質に直結するロールアライメントに重要な影響をもつ。特に近年コスト低減要求また需要家からの品質要求が高まる背景から、ロールアライメント調整には細心の注意が払われている。しかしながら細心の注意をもってセットされたアライメントではあるが操業にともなうロール摩耗に従い時々変化し、操業管理を煩雑にしている。

そこで筆者らは、連続鋳造ロール損傷によるロールアライメント変動を抑制し、製造品質の安定化と向上、またアライメント調整の簡素化を目的に、アライメント変動理由すなわちロール損傷現象の究明および延命化をテーマに取り組んでいる。

### 2 連続鋳造設備における損傷形態

これまでに知られている、連続鋳造設備の区間における

損傷形態は次の通りである。<sup>1)</sup>

Fig.1に示した代表的な湾曲形状をもつ連鋳機はモールド直下にフトロール、続いてサポートロールをもち湾曲を描く、円弧部にはガイドロール、ピンチロールが配列され、下流に従い水平部へと鋳片は導かれる。それぞれの区間において損傷形態は異なりFig.2に交換原因の模式図を示している。

### 3 連続鋳造ロール材について

連鋳機に用いられるロールの多くは、耐摩耗対策として溶接による表面改質が施されているが、その表面改質仕様はFig.2に交換原因の模式図に示したごとくヒートクラックに主眼をおいた1本型ロール時代の構想を現代にまで継承しており、現行の主流となった分割ロールではヒートクラックの発生は少なく適用材の検討が求められている。また分割ロール方式にともないアライメント調整がより煩雑

な作業を強いられる状況は説明するまでもなく、ご理解いただけよう。

では、それぞれの区間における分割タイプロールの損傷状態の様子を以下に紹介する。

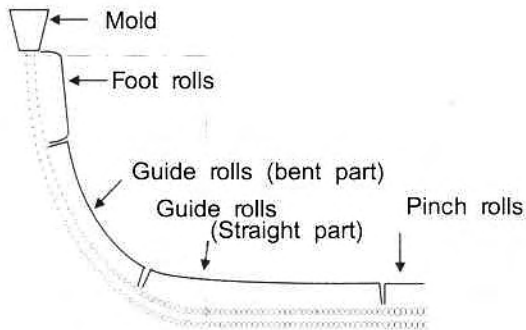


Fig.1 Profile of contiuous casting machine

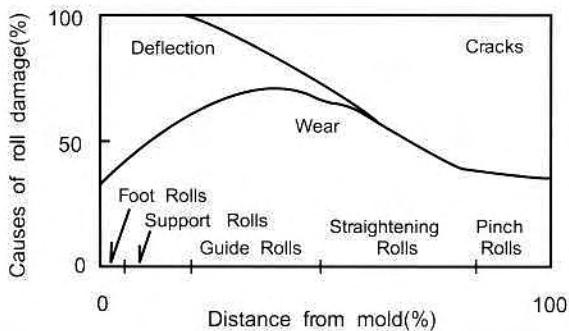


Fig.2 Relationship between damage cause and roll position



Fig.3 Appearance of a one type CC-rolls



Fig.4 The situation of heat crack

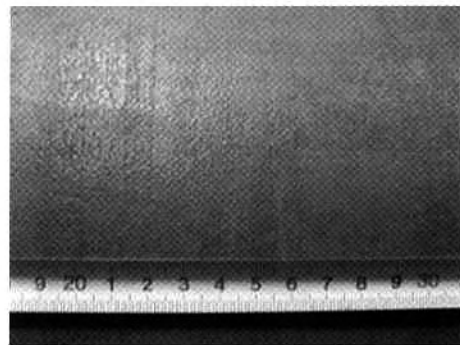


Fig5. Roll skin of Divided type CC-rolls

### 3-1 分割ロール損傷の様子

#### (1) フート部

フート部位の特長はFig.6に示したようにロール表面肌の著しい肌荒れにある。この肌荒れは高温鑄片との接触部位に限られることから、高温水蒸気あるいはフッ素イオンのみの腐食形態ではないことがわかる。またFig.7損傷先端状況を示したように当該部位では他の部位に比して腐食生成物（スケール）の生成幅が広くまたFig.6 に見る様子からロール表面の損傷はスケールアウトの頻度に律せられて考える。この様子はFig.2に示した交換原因の模式図によく一致する。

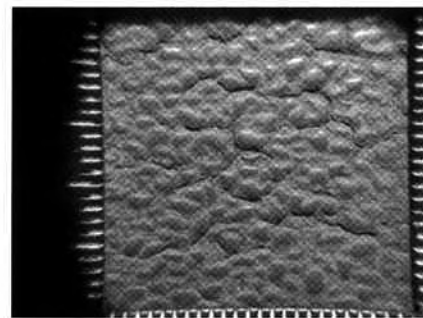


Fig.6 Surface of CC-roll at curve parts

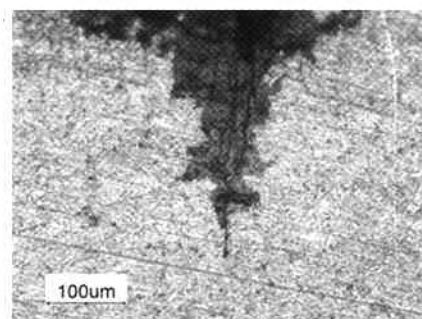


Fig.7 Damage tip situation at curve parts

#### (2) 円弧部（ベンディング部）

円弧部ではロール表面の肌荒れは軽くなるが、Fig.9断面組織に見られるようにスケール成長の先端部位に明らかな粒界腐食が観察される。この傾向はベンディング部に強く現れていることからスケールアウトした部位の形状が切り欠きとなり、応力集中がスケール進展に影響していると考え。またこの様子からFig.3、4に示した一本型CC-rollの特長である局部的に進展するヒートクラックは同様の考察がなりたつと考えている。

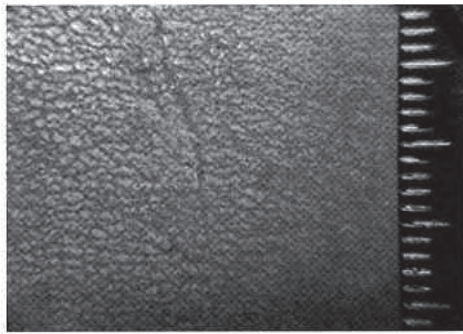


Fig.8 Surface of CC-roll at bend parts

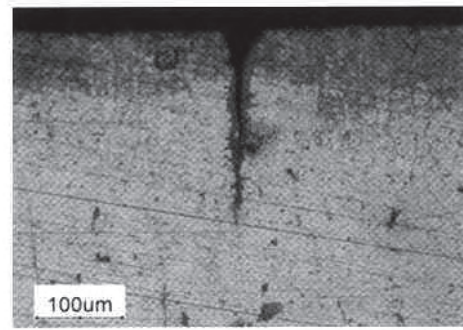


Fig.11 Cross-sectional organization at straight parts

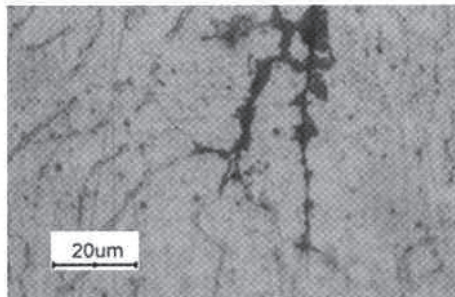


Fig.9 Cross-sectional organization at bend parts

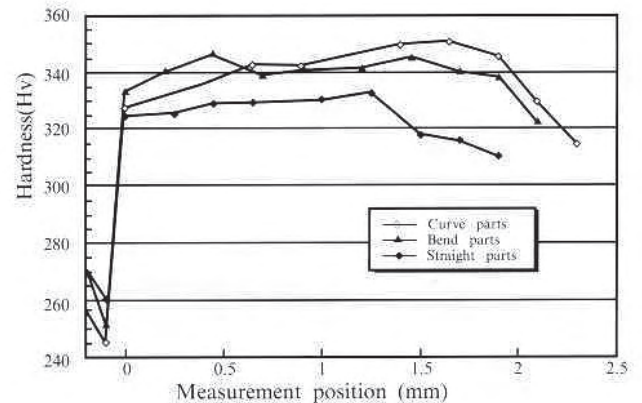


Fig.12 Hardness of cross-sectional

### (3) 水平部

水平部においてスケールの横方向の進展よりも深さ方向の成長が早くなっている傾向がFig.10ロール肌およびFig.11断面組織からうかがえる。

これまでに述べた高温鋳片によるロール外表面への熱影響の様子をFig.12に示している。このグラフからも受熱量の多いフート部の硬度低下は大きく現れ水平部では低下幅は少ない事がわかる。また水平部の平均的な硬度低下の様子は、他部位に比して交換までの延べ使用時間が長い事から奥深くまで硬度が低下したと考える。

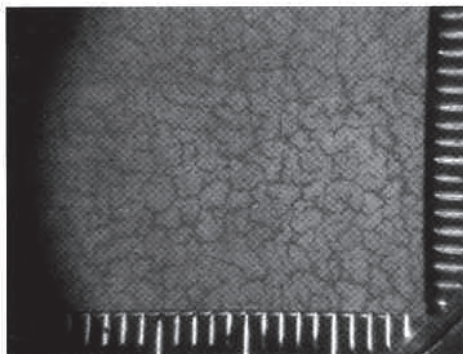


Fig.10 Roll skin at straight parts

### 3-2 ロール損傷メカニズム

分割ロールにおけるロール損傷メカニズムについて筆者らは次のように考察している。

当該連鋳ロールのおかれる外的環境は常に高温鋳片また大量の水蒸気に曝される、またフート部位ではさらにフッ素腐食の影響が加わる。これら腐食環境に加えベンディング部位では矯正反力がロールに大きな応力に加え、連鋳ロールの損傷条件を織りなしている様子が推定され、次に述べる「高温酸化腐食」+「応力腐食」の損傷メカニズムを推察する。

高温鋳片との接触による直接熱伝達また放射熱伝達によるロール表面温度の上昇に加え大量の水蒸気による湿潤雰囲気によって表面酸化の発生、また内部ではミクロ的な粒界腐食の進展を開始する。

粒界腐食あるいは腐食孔の進展経路が鋳片との接触により優先的にスケールアウトし切り欠き形状となる。

切り欠きとなった部位に矯正反力による応力集中が発生し、さらに腐食速度を加速する。

スケールアウトによる摩耗が進み鋳片と非接触となっても、高温鋳片からの放射熱伝達は途絶えることなく、また矯正反力も受け続けるので、腐食による損傷進行は停止することはない。

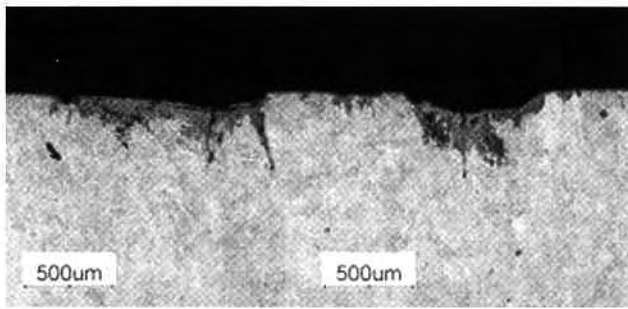


Fig.13 Initial stage of damage high temperature oxidization corrosion

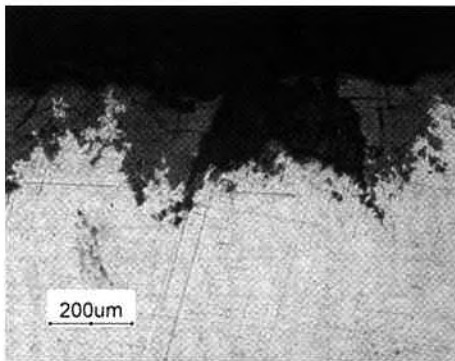


Fig.14 Damage progress term scale out

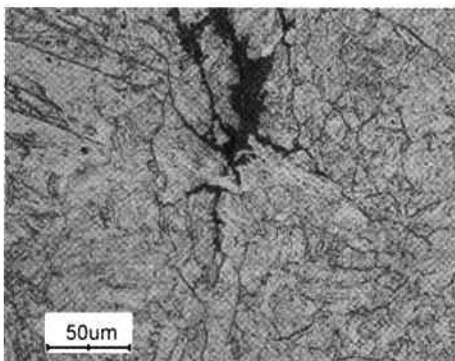


Fig.15 Growth phase of damage corrosion which carries out progress growth of the crystal intergranular

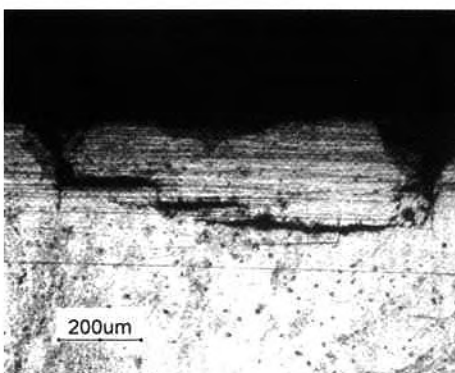


Fig.16 Progress in every direction of a crack

### 3-3 連鑄ロール材の検討

前述した損傷メカニズムから連鑄ロールの摩耗速度は高

温酸化腐食に支配され、酸化・スケールアウトを繰り返す。一方、高温鑄片との接触による機械的摩耗は多くの製鉄プロセスに見られるような速度差に起因した摩耗現象とは異なり滑りがほとんどない事から摩擦による摩耗の影響は少ないと考える。また本報で注目する分割型連鑄ロールではヒートクラックと呼ばれる局所的なクラックの発生が少ない事から破壊靱性値あるいは高温強度特性値などの機械的強度の検討より耐高温酸化特性に注目すべきであろう。

また、1本型CC-rollでは分割タイプに比して矯正反力またバルジング圧によるロールたわみが大きい事から、先に示した矯正部、水平部におけるクラック先端の腐食優先型の進展が活発に行われている事が推察される。

従来、広く用いられてきた13Cr-Ni系合金に比して耐高温酸化特性に優れる合金系は列挙に暇まないが、筆者らは中でも安価に高性能が得られるCr成分を増した16Cr-3Ni、ならびに高温域においても層変態のない安定な単層オーステナイト系合金（例えばSUH系合金）に注目し期待している。



Fig.17 SUH system alloy organization photograph

### 3-4 CPC+鍛造 複合プロセスによる取り組み

当社ではこれまでに連鑄ロール延命化を目的とし肉盛溶接、CPC法による表面改質技術開発を多く進め成果を得ている。本報では新たなCPC+鍛造 複合プロセスによる取り組みについて述べる事にする。芯材となる固体金属表面に目的とする溶融金属を高周波加熱によって溶融クラッドする連続注入クラッド法（Continuous Pouring Process for Cladding - CPC）および鍛造法に関しては他に多くの文例があり詳細説明は譲るが、筆者らはCPC法によって得られたクラッド材に熱間において軽鍛造を加える事<sup>2)</sup>で容易に組織改善がなされ、かつ機械的性質が著しく向上する効果に注目し、CPC+鍛造複合プロセスの連鑄ロール延命化への応用を検討している。CPC法によって得られるクラッド材は、もとより1回のクラッドにて所定の厚みを得る事から（1）溶接法におけるビード重ね部は存在しない、（2）厚肉材溶着に適しており鍛造素形材製造法として有利、（3）溶着された合金成分は一樣である、等の優れた特長をもつプロセスである。しかしながらCPC法の欠点である鑄造凝固ままの状態における非平衡組織は低脆性であり耐食性に不利である、そこで熱間軽鍛造を加える事で容易に凝固組織は破壊され強靱化されるとする説<sup>2)</sup>は、筆者らが提案する材質特性を最大限に引き出す有効な手法であると考えられる。



Fig.18 View of the CPC

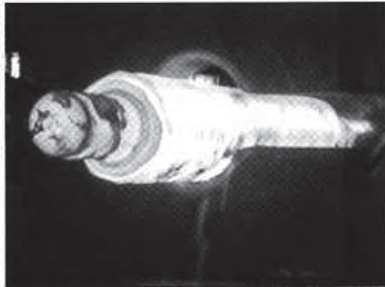


Fig.19 Forging works of cladding material

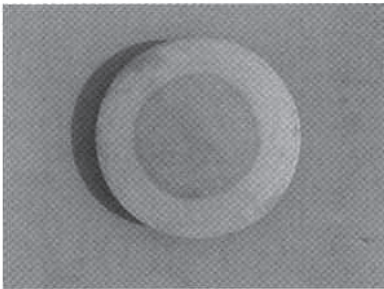


Fig.20 Some examples of transverse section (Forging ratio= 3.0 S)

### 3-5 特性評価

#### (1) 熱間鍛造による組織改善効果

熱間鍛造による組織変化状況を13Cr-1Ni材を例にとり Fig.21に示した。写真左から鍛造前、鍛錬成型比1.5 S、3.0 Sである。鍛造まえの組織には凝固にともなう樹脂状に発達したデンドライドが明確に観察されるが、1.5 Sと軽微な鍛造で既に組織に変化が現れ3.0 Sに至ってはほぼ解消されている。また3.0 S以上の鍛錬成型比を加えてもこの以上の変化は少ない。

#### (2) CPC+鍛造複合プロセスによる線膨張率への影響について

実装ロールでは铸件との接触によりFig.12に示したように硬度低下があることからAC1変態点(約800℃)以上に加熱されていることが推定される。そこで相変態にともなう体積変化による応力発生が予見されることから、材質、

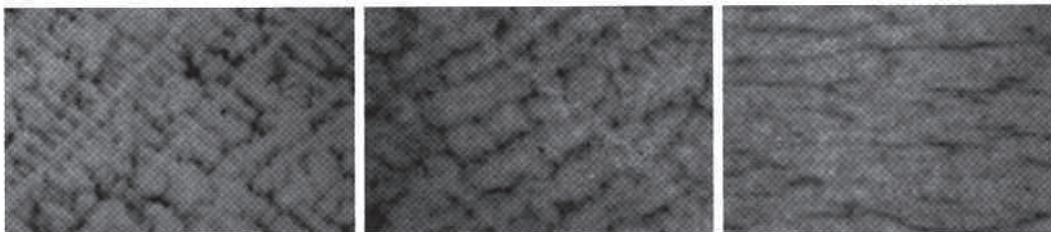


Fig21. The example of organization change by forging (From the photograph left Before a forge, 1.5S, 3.0S)

鍛造効果を調べるために線膨張係数を測定した。測定はTable 1に示す4種類の材質について行い、結果をFig.22に示した。

A材では溶接試験片での測定結果、約800℃にAC1変態による体積変化が明確に示されているが、同等材であるB材すなわちCPC+鍛造プロセスによって得られた試験片には体積変化量は軽減している結果を得た。またC材の16Cr-3Ni材ではAC1変態点がやや高温側に移動し、かつB材同様に体積変化量は少ない。単層オーステナイト材であるD材では他試験材と異なり変態点は検出されていない。

これらの測定結果より従来から広く用いられてきた溶接プロセスによる表面改質相に比して、筆者らが提案するCPC+鍛造プロセス法による表面改質相は体積変化量(収缩量)が軽減されており、マシンストップ等のイレギュラー的な加熱~冷却パターンにともなうクラック抑制効果が期待される。

Table 1 Chemical compositions of specimens

Kind	Process	Forging ratio	Chemical compositions(Wt%)				
			C	Ni	Cr	Mo	V
A	Welging	1.0	0.05	1	13	0.0	0.0
B	CPC+Forging	2.0	0.15	1	13	0.0	0.0
C	CPC+Forging	2.0	0.20	3	16	0.5	0.5
D	CPC+Forging	2.0	0.20	11	22	2.0	0.0

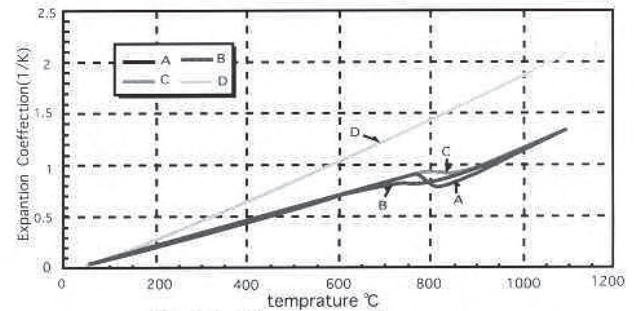


Fig.22 Heat expansion curve

#### (3) 耐高温酸化評価

高温酸化特性の評価には以下に記す熱サイクル試験方法を用いた。試験条件はTable 2に示した通りであり、試験後の試験材断面を観察するとFig.24、25に示すように実機同様の腐食先行型の亀裂進展を観察する事ができ、実機損傷状況を再現していると考えられる。また実験結果をFig.26に示したように、CPC+鍛造複合プロセスによる表面改質材は従来材に比してクラック最大深さが約半減しており、連铸ロールの延命策として高い期待がもてる。

Table 2 Evaluation examination conditions

Heating temperature	700°C
Number of rotations	20rpm
Cooling water	900L/min

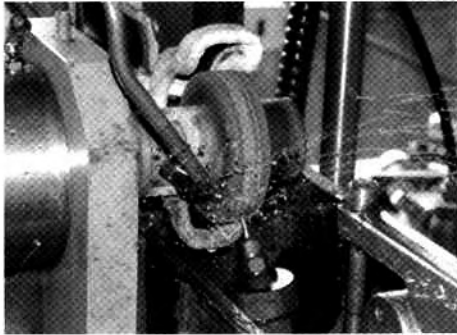


Fig.23 Heat cycle examination



Fig.24 Cr-Nickel system alloy by welding after an examination section

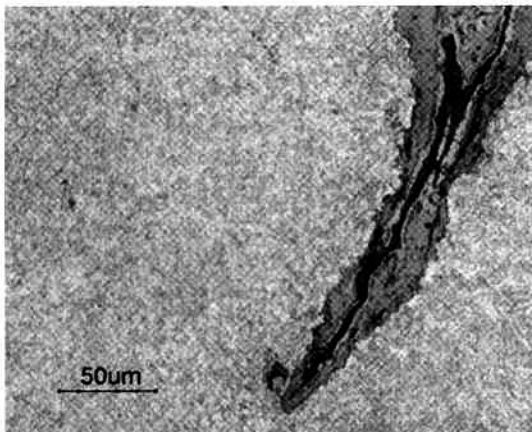


Fig.25 Microstructures of after an examination section

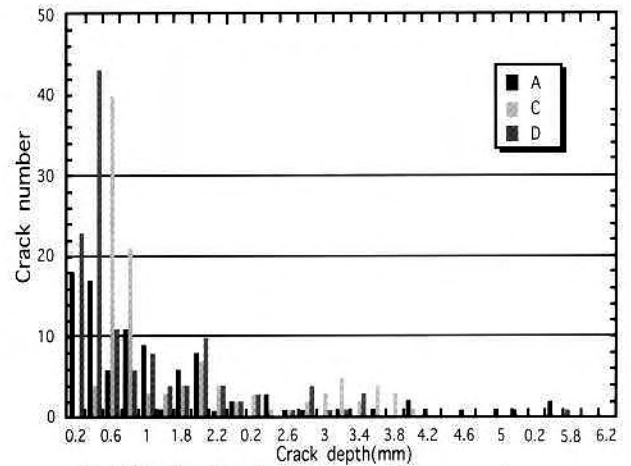


Fig.26 Crack depth comparison graph

4 結言

CPCプロセスによるクラッド材に熱間鍛造を加えるプロセスの複合化を行う事で得られた結果を要約すると下記の通りである。

(1) 外層材の耐酸化特性は組織変化に応じ向上し、極めて軽度の鍛錬成形比で満足な改善効果を得られる事が分かった。

(2) CPC材に極めて軽度の鍛錬成形比を与えることで線膨張係数の変化が確認された。

(3) 単層オーステナイト系耐熱鋼は従来材である13Cr-Ni系合金に比して明らかに耐高温酸化に優れる事が分かり、高いアライメント変動抑制が期待される。

(4) ロール損傷プロセスは分割型、1本型ともに同様と考えられることから、1本型連铸ロールタイプにおいても高い耐ヒートクラック抑制効果が期待される。

5 参考文献

- 1) 古田博昭, 宮崎裕之 フジコー技報9 (2000) 26
- 2) 坂本真一, 玉川進, 津田篤信, 森高靖彦, 山本厚生 フジコー技報1 (1993) 9
- 3) 森靖之助, 木下利哉, 山本厚生 フジコー技報 2 (1994) 20
- 4) 佐藤祐二, 山村恭, 瀧本高史 川崎製鉄技報33 No.1 (2001) 31