

CPC法における鑄肌の性状におよぼす引き抜き条件の影響

Effect of CPC Drawing Pattern on Casting Surface Condition



CPC技術開発室
後藤 英行
Hideyuki Goto

CPC技術開発室
坂本 眞一
Shin-ichi Sakamoto

CPC技術開発室長
齊藤 弘道
Hiromichi Saito

要旨

当社のCPC法において、良好な鑄肌を得るために引抜きパターンは断続引抜きを採用している。鑄肌性状の改善のためには、引抜き条件について検討することが必要であり、引抜き時の引抜き速度を800mm/min（高速）、400mm/min（低速）の2水準で試験した。両条件で、特徴のある結果が得られ、鑄肌改善の方向づけができた。

Synopsis:

A step drawing pattern has been employed in our CPC process to improve surface conditions of cast products. It is necessary that drawing speeds are discussed to develop better surface conditions. Drawing tests were carried out at two different speeds of 800mm/min (high) and 400mm/min (low). The both speeds presented their respective distinctive results, suggesting an approach we should take in improving the casting surface conditions by the CPC process.

1 緒言

当社開発のCPC法においては、安定な凝固シェルを形成するために引抜きのパターンは断続引抜き法を採用している。しかしそれによってCPC法における代表的鑄肌不良の一つである、湯切れが発生する。湯切れは、凝固シェルにある程度の強度が発生した状態で、モールドと凝固シェル間の引抜き時の摺動抵抗によって発生する欠陥である。鑄肌性状はシェル強度と摺動抵抗のバランスによって変化することが想定される。シェル強度および摺動抵抗に影響をおよぼす因子として、モールド材質、厚みなどによる冷却速度や、CPCの引抜き条件（降下時の降下速度、1回当たりの降下幅、引抜きサイクルタイム）があげられる。これら因子の適正化は鑄肌性状の健全化を図る上で非常に重要である。

今回の実験では、CPC引抜き条件の中で、降下時の降下速度（引抜き速度）が鑄肌性状におよぼす影響の調査を行った。上記因子の中でも引抜き速度は、シェル形成および摺動抵抗と深く関連性があり、鑄肌性状を決定する重要な因子の一つであると考えられる。そこで、引抜き速度を高速、

低速引抜きの2つの条件でCPCテストを行い、鑄肌性状の違いを調査し、CPC法の凝固についての考察を行ったので以下に報告する。

2 実験方法

2.1 CPC条件

Table 1 に示すCPC条件で、高速、低速引抜きの2つのCPCテストを行った。引抜き速度以外は、同様の条件である。なお肉盛金属は、熱延ラインにおけるランナウトテーブルローラに広く採用されているFKC-303材を使用した。Fig. 1 に断続引抜きの引抜きパターンを図で示す。

Table 1 CPC condition

Cladding Material	FKC-303(1.75C-13Cr-5.5V)
Core Material and Size	STKM-13A(ϕ 273×15t×79501)
Mold Material and Size	ϕ 325(Graphite Series)
Drawing Velocity	High Velocity 800mm/min(1.88sec/25mm/Turn)
	Low Velocity 400mm/min(3.75sec/25mm/Turn)

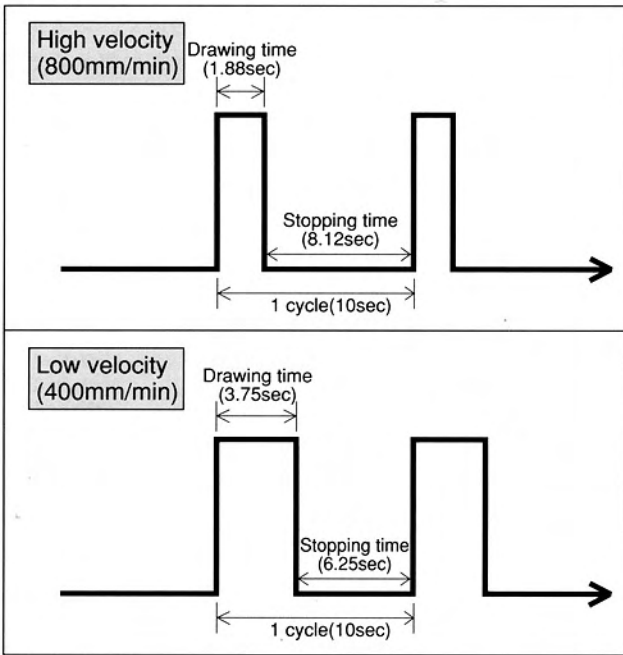


Fig.1 Drawing pattern

2.2 鑄肌性状調査項目

鑄込み後の鑄肌性状を、以下に示す6項目で調査し高速、低速引抜きと比較を行った。調査位置はFig.2に示すCPCスタートから2623～5313mmの間の2690mmとし、縦断面サンプルはそのTop側より200mm長の部分を切出した。また、黒鉛モールド損耗の状況と鑄肌性状との関連性もあわせて調査した。

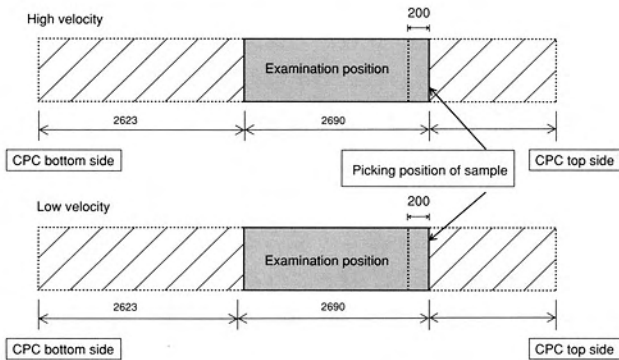


Fig.2 Picking position of sample

(1) 鑄込み後の鑄肌性状観察

鑄肌の外観の性状を調査した。

(2) 黒鉛モールドの消耗の測定

任意の直交する4方向について消耗していない黒鉛モールドの上端を0として、一定のピッチで測定した。

(3) スキンカット後のカラーチェック

Top側の200mmを除いてφ305にスキンカットを施し、全体のカラーチェックにより湯切れ発生状況の調査を行った。湯切れ深さについてはスキンカット径から、さらに掘り込んで測定した。

(4) 縦断面サンプルによるカラーチェック

前述した位置より縦断面サンプルを直交2方向より切出し、カラーチェックを行い湯切れ発生状況の調査を行った。

(5) 縦断面サンプルによるマクロ組織観察

同縦断面サンプルを研磨し、ピクリン酸-塩酸アルコール溶液でエッチングすることでマクロ組織観察を行った。

(6) 縦断面サンプルによるミクロ組織観察

縦断面サンプルで鑄肌近傍のミクロ組織観察を行った。

3 調査結果および考察

3.1 鑄込み後の鑄肌性状観察

高速引抜きの鑄肌写真をFig.3に示す。写真からわかるように、鑄肌性状は良好である。断続引抜きのオシレーションマークは全体的に同一円周上で平行なものが観察された。これは、黒鉛モールド内で凝固の始点が一定していることを示している。湯切れなどの異常な鑄肌もほとんど見

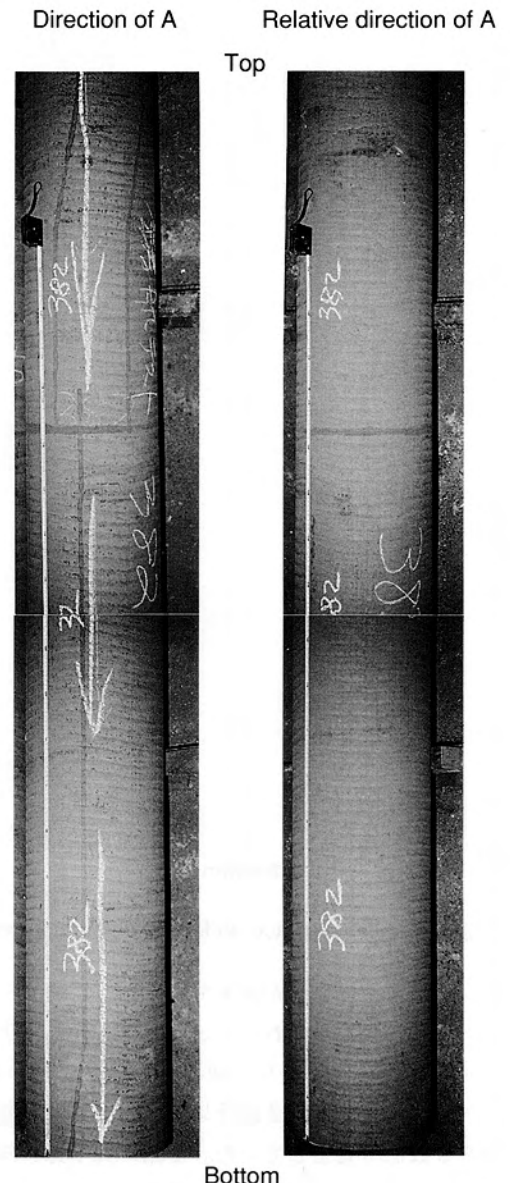


Fig.3 Casting surface on high velocity condition

られなかった。オシレーションマークがはっきりと観察されたのは、Fig. 1に示すように、低速引き抜きに比べ停止時間が長い場合、シェルが強固なものとなったため1回の引抜き毎に確実に引抜かれたと考えられる。

低速引き抜きの場合の鋳肌写真をFig. 4に示す。オシレーションマークに乱れがあり、同一円周上で平行に並んでいないことが観察される。これは、モールド内における凝固の始点が同一円周上でないことを示している。また、ステ

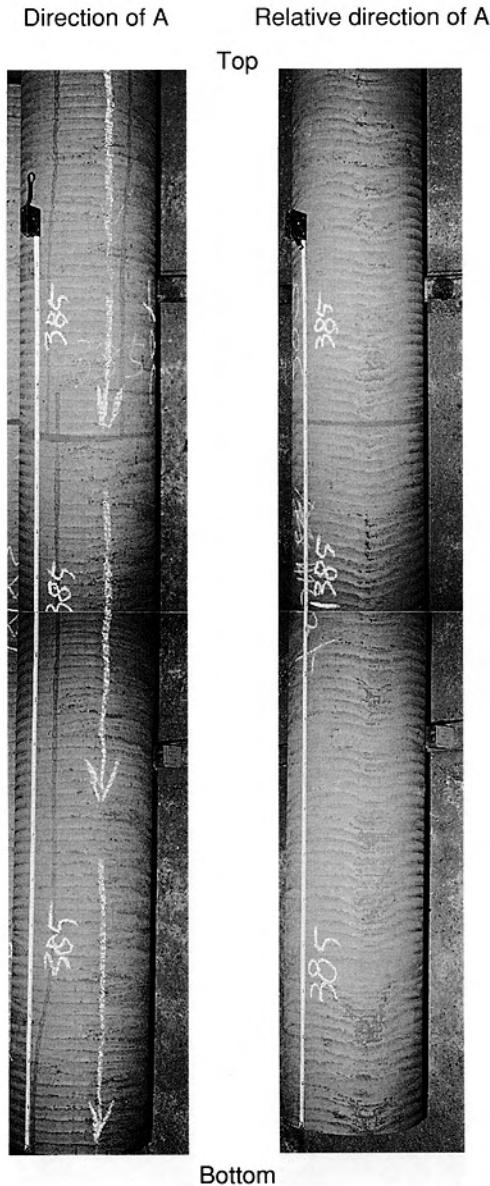


Fig. 4 Casting surface on low velocity condition

ィッキングシェルの発生が顕著であった。このスティッキングシェルは、取り残されたシェルと下方から増大してきたシェルが強固につながり、初めて降下するのであるが、オシレーションマークが2回分以上(50mm以上)観察されない箇所も数箇所発生していた。1回の降下毎に確実にシェルが降下しておらず、降下中に頻りにシェルの破断が発生していることが想定される。この現象はFig. 1に示すよ

うにシェル形成のための停止時間が比較的短く、シェル厚および強度が十分ではないことおよび、降下に要する時間が長いことによって降下中に凝固シェル厚が増大することが要因としてあげられる。

3.2 黒鉛モールドの消耗の調査

黒鉛モールドの消耗の状況を調査した。その結果をFig.5,6に示す。

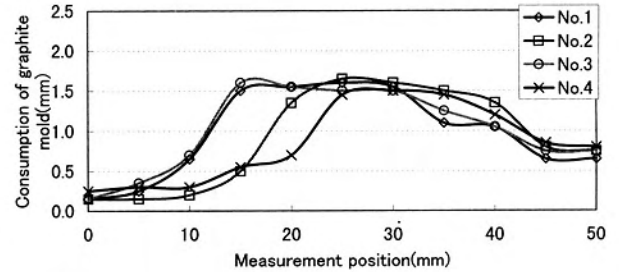


Fig.5 Consumption condition of graphite mold(High velocity)

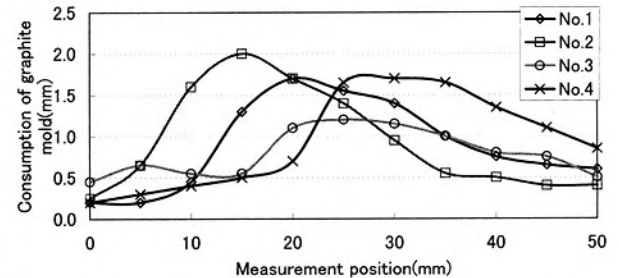


Fig.6 Consumption condition of graphite mold(Low velocity)

最大消費量は、高速引き抜きで1.65mm、低速引き抜きで2mmである。またFig.5,6を比較して低速引き抜きの場合は、消耗が大きだけでなく、最大消費部の箇所のバラツキが大きく、不規則な消耗になっている傾向が認められる。消耗の大きい位置近傍が凝固の始点であることからオシレーションマークのみだれの傾向、つまりスティッキングシェルの発生傾向と一致しているようである。一方高速引き抜きの場合、最大消費量は低速引き抜きより小さいが、広範囲にまでおよんでいる傾向が認められる。これらのことから低速の場合、高速と比較して引き抜き中にシェル厚が顕著に増大することによって、引き抜き中に湯切れが発生しているのではないかと想定される。一方高速の場合、引き抜き中には、シェル厚の増大は小さく、1回の引き抜き毎に確実に引抜かれる。この傾向とモールドの消耗のパターンとは関連性があると考えられる。

3.3 スキンカット後のカラーチェック

スキンカット後のカラーチェックにより、湯切れの発生状況を調査した。

高速引き抜きと低速引き抜きの湯切れ発生状況をFig.7,8に示す。両者を比較してみると、明らかに高速引き抜きの方に、多くの深い湯切れが発生していることがうかがえる。高速引き抜きの場合、ひとたび湯切れが発生すれば、その程度が

鑄肌から深部にまでおよぶが、低速の場合にはそのような現象が発生しにくい傾向がある。

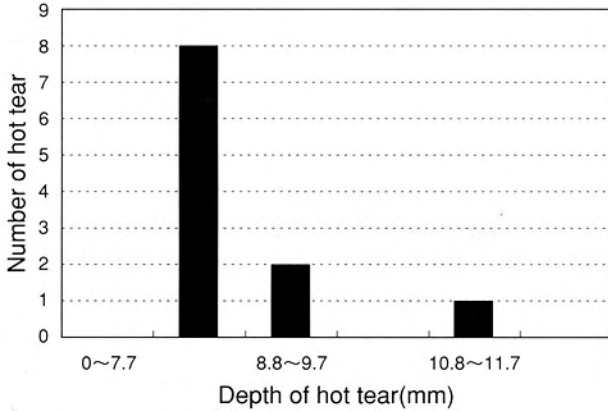


Fig.7 Distribution of hot tear(High velocity)

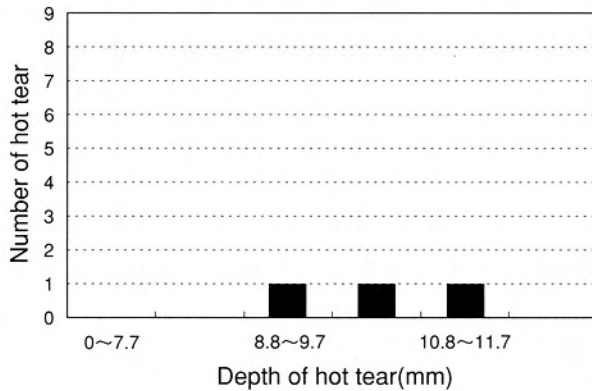


Fig.8 Distribution of hot tear(Low velocity)

3.4 縦断面サンプルによるカラーチェック

高速、低速引抜きについて相対2方向の200mm長さの縦断面サンプルを切出し、カラーチェックによって湯切れ発生状況を調査した結果を、Fig.9,10に示す。湯切れ深さは、鑄肌表面からの測定値である。

高速引抜きの場合、湯切れの発生は観察されなかった。

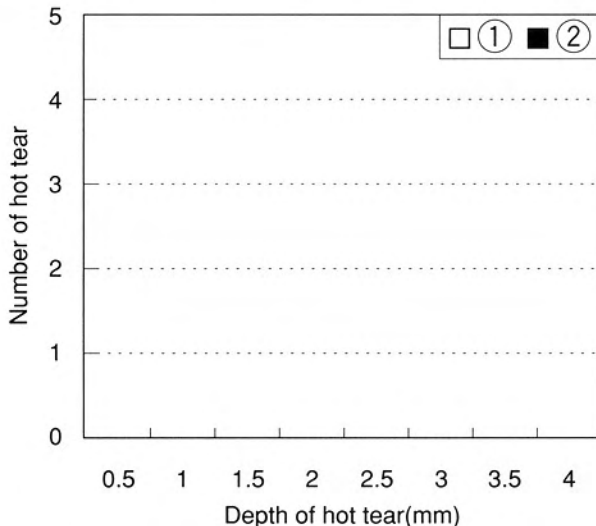


Fig.9 Distribution of hot tear on length section (High velocity)

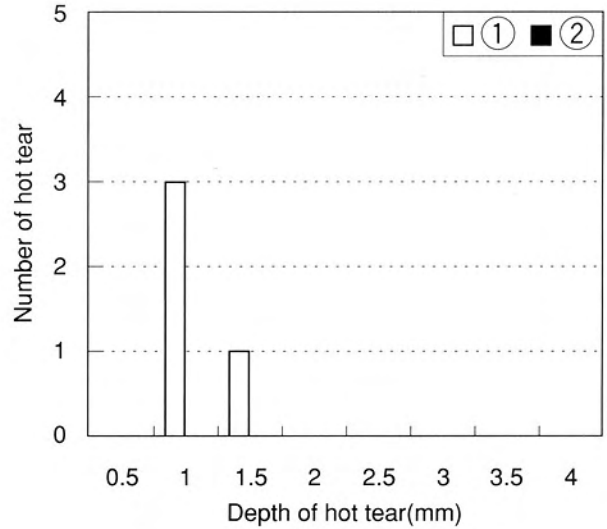


Fig.10 Distribution of hot tear on length section (Low velocity)

低速引抜きの場合、鑄肌表面付近の浅い湯切れが比較的多数発生する傾向があることが認められる。

3.5 縦断面サンプルによるマクロ組織観察

同上の縦断面サンプルをエッチングし、マクロ組織の観察を行った。Fig.11,12に高速、低速引抜きのマクロ組織写真を示す。写真より、鑄肌に直交方向の偏析の存在が確認できた。これはカーボンリッチな組織であることが、Fig.13に示すマイクロ組織写真より判明した。この偏析発生メカニズムは、湯切れ発生後に内部の未凝固部から、初晶オーステナイトの晶出に伴ってカーボンリッチもしくは合金元素を多量に含む比較的低融点の湯が流れ込み凝固したものと考えられる¹⁾。

高速、低速引抜きの偏析発生状況をFig.14,15に示す。両者共に偏析発生個数に顕著な違いはない。高速引抜きの場合、前述したように縦断面サンプルでのカラーチェックからは湯切れの発生が認められなかった。しかし、偏析は観察されることから発生した湯切れが溶鋼によって埋められて偏析となったために湯切れとして観察されなかったのである。また、高速引抜きの偏析は低速引抜きと比較して、深部におよぶ傾向が観察された。低速引抜きの場合、鑄肌から比較的浅い偏析の発生が認められる。これは、前述したように高速引抜きと比べシェル厚が小さく、浅い湯切れのほとんどが内部の溶鋼によって埋められていることを示している。また、偏析発生は必ずしも25mmピッチではない傾向もあり、スティッキングシェルの発生傾向と一致している。

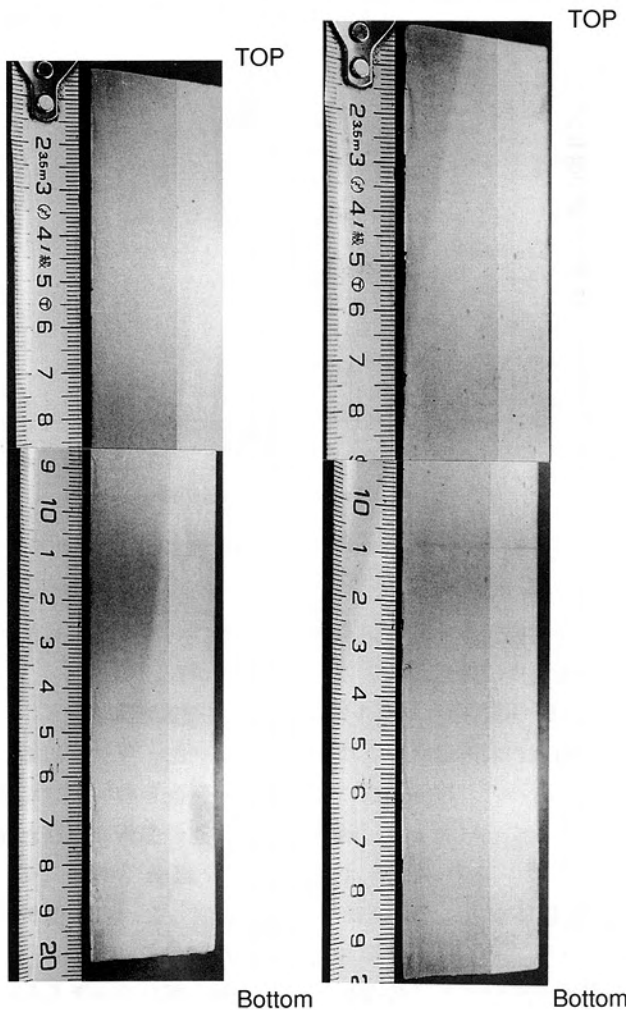


Fig. 11 Macrostructure of length section (High velocity)

Fig. 12 Macrostructure of length section (Low velocity)

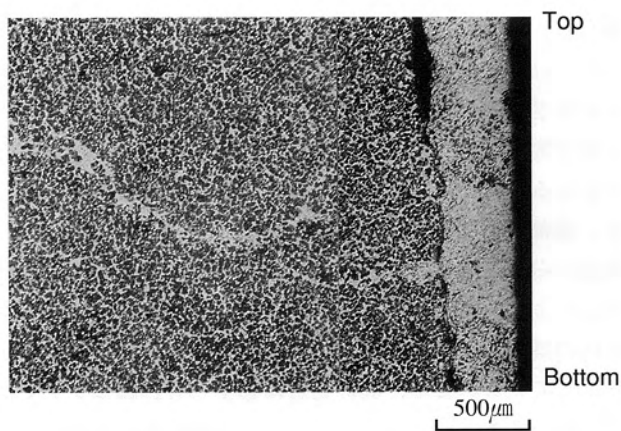


Fig. 13 Microstructure in segregation position

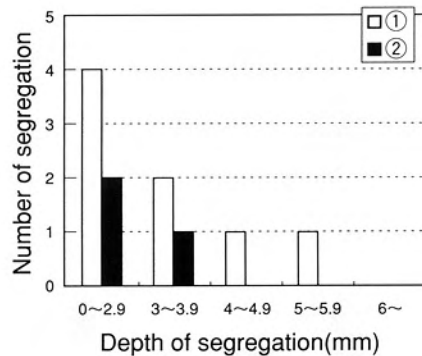


Fig. 14 Distribution of segregation on length section (High velocity)

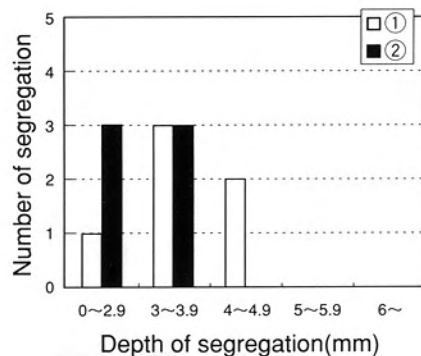


Fig. 15 Distribution of segregation on length section (Low velocity)

3.6 縦断面サンプルによるマイクロ組織観察

縦断面サンプルの鑄肌近傍のマイクロ組織観察を行った。高速、低速引抜ききのマイクロ組織写真をそれぞれFig.16,17に示す。鑄肌近傍の凝固組織を比較してみると、高速引抜ききはデンドライトの方向性に規則性がみられるが、低速引抜ききでは規則性がみられない。これは、凝固シェルの強度が関係していると想定される。高速引抜ききはシェル強度が大きいいため、引抜き時の抵抗の影響を受けにくい。一方、低速引抜ききはシェル強度が小さいため引抜き時の抵抗によりシェルが歪み、デンドライトの方向性が不規則になっている傾向がある。

3.7 CPC凝固についての現象

以上の調査結果から想定される、高速引抜ききおよび低速引抜ききについての凝固の現象図をFig.18に示す。

高速引抜ききの特徴は、凝固の始点が一定であり、湯切れおよび偏析が深部にまで進行する傾向があるということであった。一方、低速引抜ききの特徴は、凝固の始点が不規則であり、湯切れおよび偏析は浅いものになるということであった。このように両者に差が生じる要因としては、以下に示す①、②があげられる。

① 凝固シェル強度

凝固シェルの厚みおよび強度は熱抽出により決定され

る。高速、低速引抜きを比較すると、両者のサイクルタイムにおける停止時間が、8.12sec、6.25secで約2 secほど高速引抜きの方が長いため、熱抽出が大きく凝固シェル厚が厚く、強度が増大していると考えられる。

② 引抜き時におけるシェルとモールド間の摺動抵抗及び外力

凝固シェルとモールド間の摺動抵抗は、黒鉛モールドが酸化と摩耗による消耗にもなって増大する。不規則な消耗が認められた低速引抜きの方が抵抗は大であると推定される。また、前述したように低速引抜きの場合、引抜きに要する時間が高速と比較して長いことから、引抜き中に凝固シェル厚の増大がより顕著であり抵抗を大きくしている要因になっているようである。

引抜き時に与えられる外力は、引抜き速度が高速、低速において2：1の関係で、モールドが消耗して摺動抵抗がある状態での引抜き速度は両者共にほぼ等速であることから、2：1の関係にあると推定される。

①、②より想定される高速、低速引抜きの凝固の現象を以下に示す。

● 高速引抜きのCPC凝固の現象

高速引抜きの場合、凝固シェルは厚く強固になっている。しかし、シェル破断の原因となる摺動抵抗が増大しており、引抜き時の外力も大きい。これら破断の原因となる3つの要因の関係によって、凝固シェル強度を上回る外力が発生した場合にシェルの破断は発生する。

次にシェル破断の深さについて、シェルの破断は、ある程度の強度が存在する凝固シェルでないと発生しない。Fig.18に示すように高速引抜きの場合、その凝固シェルの絶対的な厚みが大きいため、深部までシェル破断がおよぶと考えられる。

また、偏析も湯切れと同様にシェルの破断により発生したものであることから、深部にまでおよぶ傾向がある。

● 低速引抜きのCPC凝固の現象

低速引抜きの場合、シェル厚が小さく比較的脆弱である。また、引抜き時の外力は高速引抜きより小さいが、凝固シェルとモールド間の摺動抵抗が増大している。これら3つの要因の関係で、同様にシェル強度を外力为上回った場合に破断は発生する。破断の深さについては、Fig.18に示す

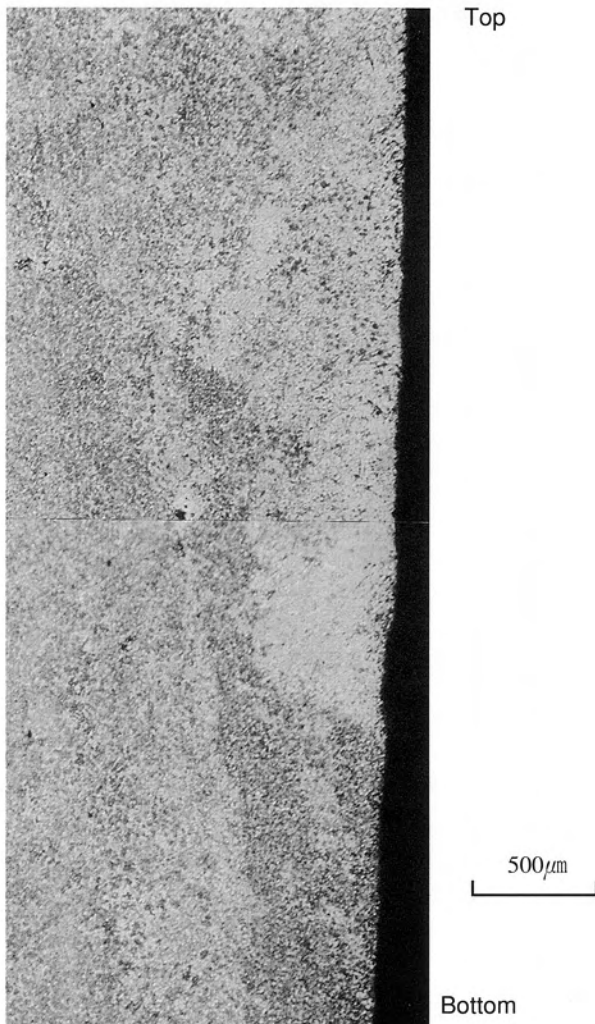


Fig.16 Microstructure on high velocity condition



Fig.17 Microstructure on low velocity condition

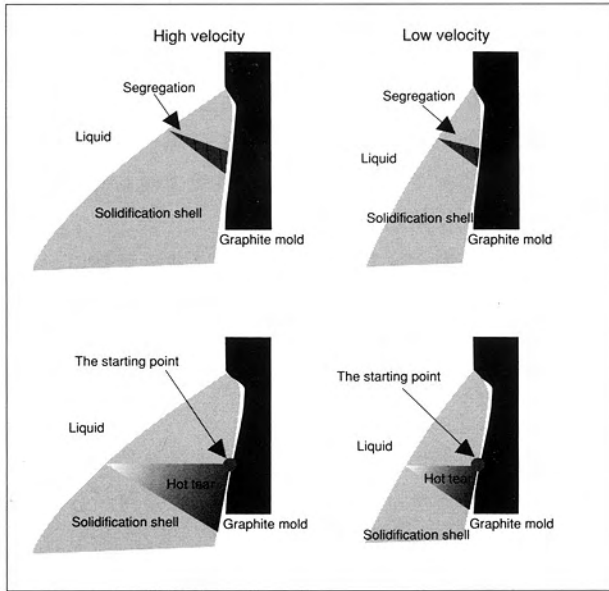


Fig.18 Schematic diagram of solidification phenomenon by CPC process

湯切れのように凝固シェルの絶対的な厚みが薄いため、高速引抜きのような深い湯切れにならず、偏析についても同様である。

4 結論

高Cr-V鋳鉄のCPCにおいて、降下時の降下速度を800、400mm/minの2段階に変化させ性状と凝固組織の比較検討を行った。その結果、以下の各項が明らかになった。

(1) 高速引抜きの場合、凝固シェルは厚く強固でそれ以上の外力によって湯切れとなり、深部にまで及ぶ傾向がある。

(2) 低速引抜きの場合、凝固シェルの厚さおよび強度が小さく、高速引抜きと比較して小さい外力で容易に湯切れとなる傾向があるが、その深さは小さい。また引抜き中にシェル厚の増大があることも湯切れ発生の要因となっている。

(3) CPCにおいては凝固シェル厚の生成と摺動抵抗の関係で鑄肌性状が決定される。

参考文献

- 1) 沢本 章, 大城桂作, 松田公扶: 鑄物, 54 (1982), 11, P.728