



鋼板へのラミネートにおける二軸配向ポリエステルフィルムが無配向層形成

岩下 寛之*・森田 俊一*²・田中 厚夫*³

Development of Amorphous Layer of Biaxially Oriented Polyester Film on Laminated Steel in the Laminating Process

Hiroyuki IWASHITA, Shun-ichi MORITA and Atsuo TANAKA

Synopsis : Polyester film laminated steel for can container will gradually replace lacquer coated steel sheet from environmental concern and cost consideration. The process of lamination is characterized by partial melting of the film on the surface of steel during lamination by pressing the supplied films between both sides of heated steel and a couple of cooled rubber rolls. Various characteristics of film laminated steel for can use are strongly influenced by the degree of biaxial orientation and the thickness of amorphous layer of the laminated film, and the characteristics are greatly influenced by several laminating conditions.

Therefore, this report deals with the result of numerical analysis applied to characterize heat transfer in laminating process, in order to estimate the variation of orientation of the laminated film. From the result of numerical analysis, we found that the cross-sectional temperature distribution in roll nip greatly changes within extremely short time, and the distribution contributes to the formation of double layered structure of amorphous and biaxially oriented layers.

Moreover, it was found important to form the double layered structure of the laminated film by keeping an appropriate temperature profile of film in roll nip. The thickness of amorphous layer with the numerical analysis obtained by the cross-sectional variation of maximum temperature of film in the roll nip agrees well with the one observed by polarizing microscope. The estimation of the thickness of amorphous layer was found possible by this method with a good accuracy.

Key words: polyester film; PET; ECCS; lamination; biaxial orientation; amorphous layer; adhesive property; numerical analysis; temperature.

1. はじめに

缶用材料として、二軸配向ポリエステルフィルム（以下、BO-PET）をクロメート鋼板（以下、ECCS）にラミネートした材料（以下、BO-PETラミネートECCS）を用いる場合、そのフィルムの配向度がフィルム密着性や耐食性等の特性に大きく影響し、またラミネート操作においてその配向度が大きく変化する¹⁾。また、このBO-PETラミネートECCSの加工性はフィルムの配向度が低いほど良好で、逆に耐食性は配向度が高いほど良好であり、ラミネートにおける配向度の変化に伴ってラミネートフィルムには無配向層が形成されることもわかっている²⁾。これらの互いに相反するような必要特性を満足するためには配向度の最適値および最適な無配向層厚みを決定しなければならないが、そのためにはラミネート工程におけるフィルムの温度変化を定量的に明確にする必要がある。しかしながら、回転するラミネートロールによりBO-PETがECCSに連続的にラミネートされる工程においては、10~30 μ m程度の薄いBO-PETの厚み方向の温度分布の実測は不可能である。こ

れまでに、ラミネートにおけるフィルムの温度変化についてはSchmidtの定差法を用いて解析を行った例³⁾もあるが、単一ラミネート条件における解析であり、解析結果も定性的な考察に用いているだけである。また、解析においてはフィルムの相変化を考慮していない。

そこで、本報においては、ラミネートロール温度やラミネート速度を変化させてラミネート実験を行い、それらのラミネート条件が配向度や無配向層厚みの変化ならびにフィルム密着性の変化に及ぼす影響について明らかにした。さらに、このラミネート工程におけるBO-PETの厚み方向の温度分布についてBO-PETの相変化を考慮した数値解析を行い、ラミネート後のBO-PETの配向度と相関があるラミネート後のECCS温度およびBO-PETの厚み方向の温度分布の変化について明らかにした。また、その温度分布の変化から無配向層形成について仮説を立て、ラミネートロール温度やラミネート速度を変化させた場合にフィルム密着性などに影響を与える無配向層厚みの予測を試みた。

平成12年11月17日受付 平成13年1月15日受理 (Received on Nov. 17, 2000; Accepted on Jan. 15, 2001)

* 東洋鋼板（株）技術研究所 (Technical Research Laboratory, Toyo Kohan Co., Ltd., 1296 Higashitoyoi Kudamatsu 744-8611)

*² 東洋鋼板（株）本社技術部 (Technical Dept., Toyo Kohan Co., Ltd.)

*³ 東洋鋼板（株）下松工場 (Kudamatsu Plant, Toyo Kohan Co., Ltd.)

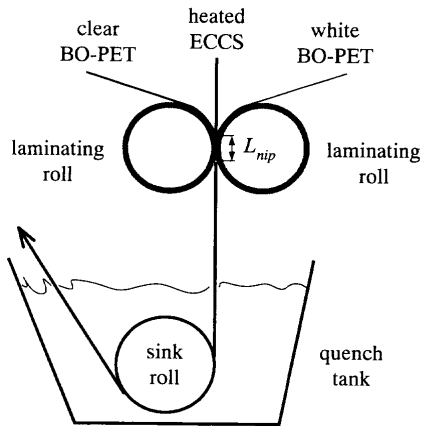


Fig. 1. Laminating method of polyester film on ECCS.

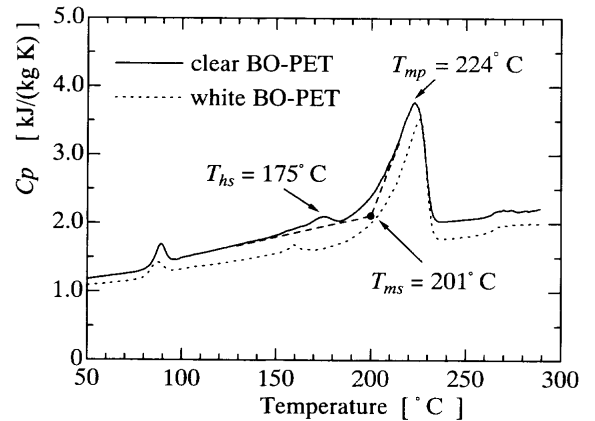


Fig. 2. Heat capacity of polyester film.

2. 実験

2.1 ラミネート方法および供試ポリエステルフィルム

フィルムラミネート装置の概略をFig. 1に示した。ラミネート工程においては、加熱された温度 T_{s0} の鋼板にポリエステルフィルムを一對のゴム被覆ラミネートロールによりラミネートし、その後直ちに水冷する。ラミネートロールは $\phi 130$ mmの中空鉄ロールに厚み10mmのシリコンゴムを被覆した外径150mm、ロール面長さ300mmのゴム被覆ロールを用いた。

本実験ではフィルムには厚み $25\ \mu\text{m}$ の無色透明BO-PETおよび $15\ \mu\text{m}$ の白色BO-PET、鋼板には厚み0.175mm、クロムめっき量 $100\sim 120\ \text{mg}/\text{m}^2$ のECCSを用いて、ECCSの両面にラミネートした。ラミネートはラミネートロール温度 $T_r=100, 150^\circ\text{C}$ 、ラミネート速度 $V=20, 40, 80\ \text{m}/\text{min}$ を組み合わせ、ECCS温度 $T_{s0}=200\sim 250^\circ\text{C}$ の範囲で行った。

なお、供試BO-PETは、ポリエチレンテレフタレートにイソフタル酸を11モル%共重合させたポリエチレンテレフタレート/イソフタレートフィルムを縦横ともに3.1倍に延伸したフィルムである。Fig. 2に示差走査熱量計を用いて測定した供試BO-PETのみかけの比熱を示す。また、無色透明BO-PETについては、製膜時の熱固定温度 T_{hs} 、融解開始温度 T_{ms} 、ならびに融点 T_{mp} をFig. 2中に示している。

本報では、厳しい特性を要求される缶内面側となる無色透明BO-PETのみについて取り扱った。

2.2 X線回折測定および偏光顕微鏡によるフィルム断面観察

BO-PETラミネートECCSのX線回折測定結果とフィルム断面の偏光顕微鏡写真の一例をFig. 3に示す。

2.1の方法でポリエステルフィルムをECCSにラミネートすると、ポリエステルフィルムは接着面のフィルム層が融解して密着力を確保し、フィルム表層は融解せずに、耐食性良好な二軸配向状態を保ったフィルム構造となる³⁾。現在、その二軸配向度の指標にはX線回折測定による(100)結晶面のピーク強度をBO値(counts per second; cps)と

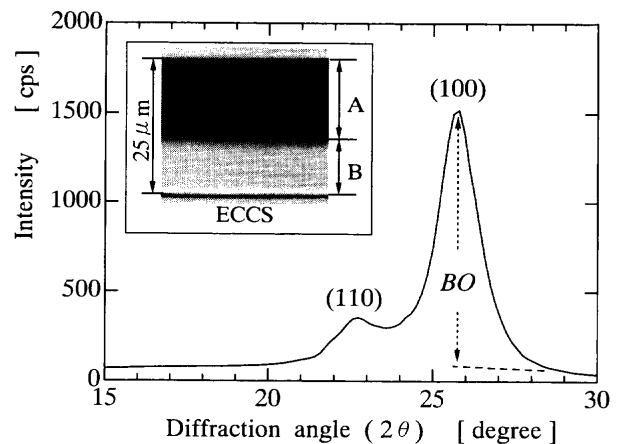


Fig. 3. Example of X-ray diffraction pattern of laminated polyester film and cross-section of polyester film-laminated ECCS (A: biaxially oriented polyester layer, B: amorphous polyester layer).

して用いている⁴⁾。ここで、X線回折測定は、管電圧30kV、管電流10mAにて、CuK α の波長を用いて行った。また、このピーク強度は管電圧、管電流の変動や管球の劣化等により変動するので、測定ごとに同一のBO-PETラミネートECCSを用いて補正した。なお、本報で用いた無色透明BO-PETのラミネート前のBO値 BO_0 は1592cpsであり、ラミネート後のBO値を BO で規格化した値 BO/BO_0 を二軸配向度とした。

また、BO-PETラミネートECCSからECCSを塩酸で溶かし、フィルムのみをECCSより剥離して樹脂に埋め込んだ後、厚み方向に平行断面となるようにスライスした厚み $3\ \mu\text{m}$ の薄片を準備した。この薄片を偏光顕微鏡を用いて観察し、Fig. 3中に示したような断面写真を撮影し、その写真から無配向層厚みを実測した。

2.3 BO-PETラミネートECCSのフィルム密着性の評価

BO-PETラミネートECCSのフィルムの密着力については、 180° 剥離試験により評価した。Fig. 4に 180° 剥離試験の概略図を示した。剥離試験片の作成方法は、まずBO-PETラミネートECCS上のフィルムに15mm幅の切り込みを入れ、次にフィルムを傷つけないようにECCSのみを切

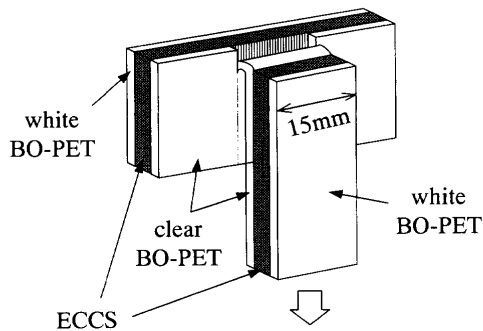


Fig. 4. Test method for evaluation of adhesion.

断しフィルムを180°折り返し、Fig. 4の状態にする。このようにして作成した試料を用いて、引張試験機により0.5 mm/minの速度でフィルムのみを常温にて剥離させ、その剥離時の荷重を剥離強度として測定し、フィルムの密着力の指標とした。なお、180°剥離試験片作成の前にBO-PETラミネートECCSに熱処理を施した。熱処理は215°Cの乾熱下にて30秒間処理した後、130°Cの加圧水蒸気中にて30分間処理した。この熱処理条件は、BO-PETラミネートECCSを用いて製缶する場合の通常不可避である熱処理であり、それぞれ、缶成形加工後の脱脂・後加熱工程およびレトルト殺菌処理工程における熱処理条件に相当する。

3. 数値解析

BO-PETラミネートECCSの特性はラミネートフィルムの二軸配向層と無配向層のバランスによって大きく変化することがわかっている。そこで、次にその特性を予測するために、ラミネート操作により配向変化を生じさせるBO-PETの温度分布について検討した。ラミネート工程におけるBO-PETの温度変化は、フィルム厚みが極く薄いことや数十ミリ秒という極めて短時間内で生じていることなどから、その実測は不可能である。したがって、ラミネート時における温度変化に関する数値解析を行うことにより、BO-PETの温度変化を定量化することを試みた。

ラミネート工程においては、鋼板からフィルムおよび一対のラミネートロールへ伝導伝熱が生じ、その後水中クエンチされる。そこで、このようなラミネート工程における温度変化を明らかにするため、下記の仮定において非定常一次元熱伝導問題としてFig. 5に示したように解析系を単純化し、陽解法を用いて下記の基礎式を差分化して数値解析を行い、BO-PETの厚み方向の温度分布の変化を求めた。ここで、ラミネート進行方向の位置 L は時間 τ の経過に従って進むものとし、 $L=V\tau/60$ から決定した。なお、Table 1に主な物性値を、Table 2に主な計算条件を示す。

[仮定]

(1) BO-PETの相変化はみかけの比熱の温度依存性として考慮するが、その他の物性値の温度依存性は考慮しな

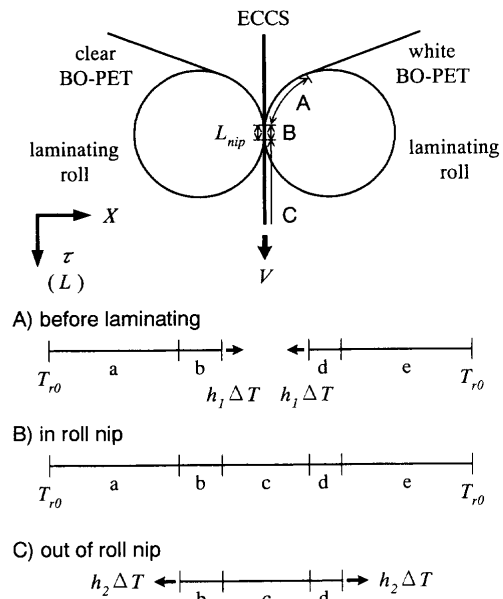


Fig. 5. Analytical system and coordinates (a, e: surface rubber of laminating roll, b: clear BO-PET, c: ECCS, d: white BO-PET).

Table 1. Physical properties.

	heat capacity cp kJ/(kg K)	density ρ kg/m ³	thermal conductivity k W/(m K)
ECCS	0.46	7830	53.5
surface rubber of laminating roll	1.68	1500	0.48
clear BO-PET	see Fig.2	1385	0.144
white BO-PET	see Fig.2	1502	0.248

Table 2. Conditions of numerical analysis.

temperature of ECCS before lamination, T_0	200 ~ 250 °C
temperature of laminating roll, T_r	100, 150 °C
initial temperature of BO-PET, T_{r0}	35 °C
laminating speed, V	20,40,80 m/min
thickness of ECCS	175 μ m
thickness of clear BO-PET, δ_{cl}	25 μ m
thickness of white BO-PET	15 μ m
diameter of laminating roll	0.15 m
nip length of laminating roll, L_{nr}	0.01 m (at 25 °C)
BO-PET contact length of laminating roll	
before lamination	0.05 m
coefficient of heat transfer on laminating roll, h_1	7.5 W/(m ² K)
coefficient of heat transfer on laminated ECCS	
after lamination, h_2	4.8 W/(m ² K)

い。

(2) ECCS, ラミネートロール, BO-PETいずれも変形はないものとする。

(3) ラミネートロール表面ゴムは初期状態において厚み方向に一様温度とし、ラミネートロール表面ゴム下の鉄

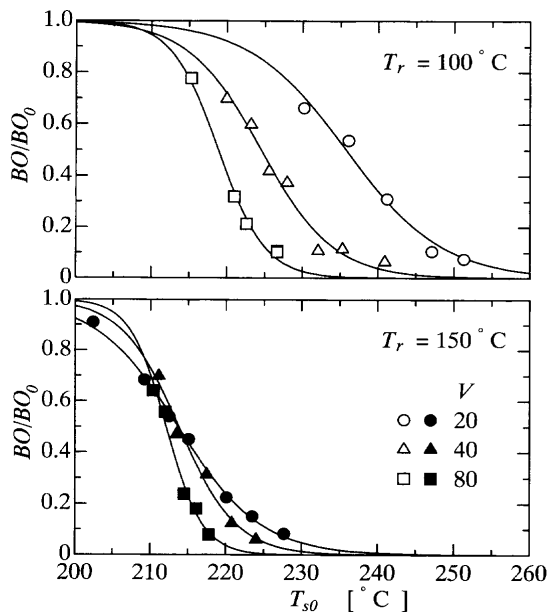


Fig. 6. Variation of normalized BO value for ECCS temperature before lamination.

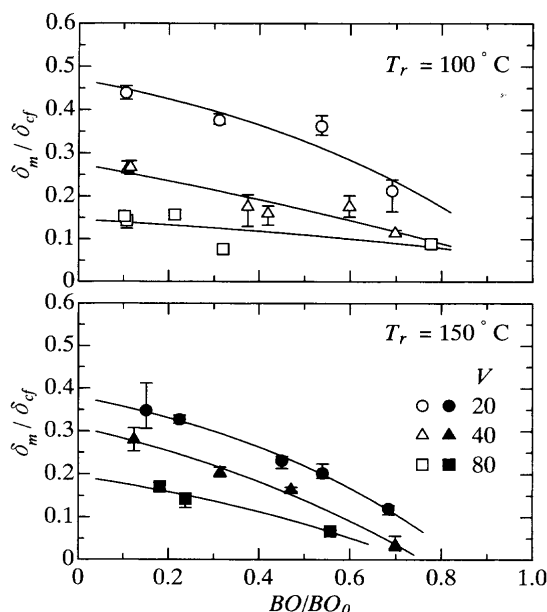


Fig. 7. Relationship between normalized thickness of amorphous layer and normalized BO value.

芯ロール表面は常に一樣一定温度とする。

(4) 各材料間の接触熱抵抗は無視する。

[基礎式]

$$\frac{\partial T}{\partial \tau} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial X^2}$$

4. 結果および考察

4.1 フィルムの配向変化と無配向層厚み変化

2.1で述べたラミネート条件にてBO-PETをECCSにラミネートしたBO-PETラミネートECCSのフィルムの二軸配向度を測定し、Fig. 6にラミネートロール温度 $T_r=100, 150^\circ\text{C}$ の場合のラミネート前ECCS温度 T_{s0} に対する二軸配向度 BO/BO_0 の変化をラミネート速度 $V=20, 40, 80\text{ m/min}$ について示した。この図からわかるように、ラミネート前ECCS温度を高くするとECCSにラミネートされたフィルムの二軸配向度は低下し、さらにラミネートロール温度が高いほど、より低いECCS温度で二軸配向度は低下する。このECCS温度に対する二軸配向度低下の関係はラミネート速度が速くなるほど低温側にシフトし、そのシフトはラミネートロール温度が低いほど大きくなることわかる。

Fig. 7にラミネートロール温度 $T_r=100, 150^\circ\text{C}$ の場合の無配向層厚み δ_m/δ_{cf} と BO/BO_0 の関係をラミネート速度 $V=20, 40, 80\text{ m/min}$ について示した。いずれの条件においても二軸配向度の低下に伴い無配向層厚みは厚くなるが、ラミネート速度が低速の場合ほど、同じ二軸配向度における無配向層厚みはより厚くなることわかる。これは、Fig. 6からわかるように、同じ二軸配向度を得るためのECCS温

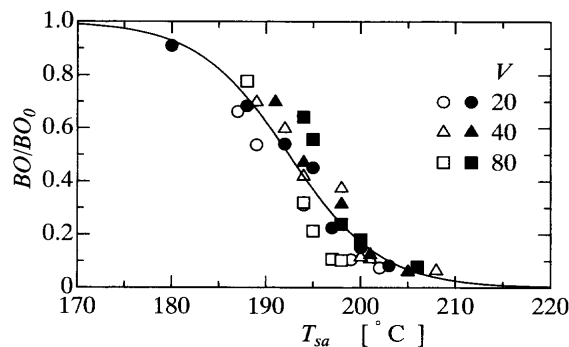


Fig. 8. Variation of normalized BO value for temperature of film-laminated ECCS after lamination (open points: $T_r=100^\circ\text{C}$, closed points: $T_r=150^\circ\text{C}$).

度が低速の場合ほど高温側に設定できるからであると推定される。

また、Fig. 8にラミネート後ECCS温度 T_{sa} に対する BO/BO_0 の変化をラミネートロール温度 $T_r=100, 150^\circ\text{C}$ 、ラミネート速度 $V=20, 40, 80\text{ m/min}$ について示した。この図からわかるように、 T_{sa} が高いほどECCSにラミネートされたフィルムの二軸配向度は低下し、 T_{sa} が製膜時の熱固定温度 T_{hs} ($=175^\circ\text{C}$)付近となるものから二軸配向度は変化し始めており、BO-PETが融解を始める T_{ms} ($=201^\circ\text{C}$)付近まで T_{sa} が上昇してしまうと二軸配向度は0に漸近している。さらに、 BO/BO_0 はラミネートロール温度やラミネート速度に関わらずラミネート後ECCS温度でほぼ一義的に決まるといえる。すなわち、これらの図から、ラミネート後BO-PETの二軸配向度はラミネートロール温度やラミネート速度に関わらず T_{sa} を管理することで制御可能であるが、同一の二軸配向度であっても無配向層厚みはラミネートロール温度やラミネート速度によって異なり、ラミネート

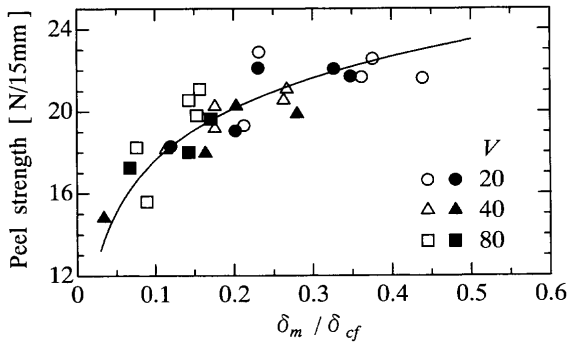


Fig. 9. Relationship between peel strength of BO-PET and normalized thickness of amorphous layer (open points: $T_r=100^\circ\text{C}$, closed points: $T_r=150^\circ\text{C}$).

ロール温度が低温の場合の方が無配向層厚みは厚く、その傾向はラミネート速度が低速の場合ほど顕著であることがわかる。

4.2 BO-PETラミネートECCSのフィルム密着性

Fig. 9にラミネートロール温度 $T_r=100, 150^\circ\text{C}$ 、ラミネート速度 $V=20, 40, 80\text{ m/min}$ の場合のフィルム剥離強度と無配向層厚み δ_m/δ_{cf} の関係を示したが、フィルム密着力はラミネートロール温度やラミネート速度などのラミネート条件を変えてもフィルムの無配向層厚みにより整理できることがわかる。また、この図からわかるように δ_m/δ_{cf} が0.2付近以上（無配向層厚みが $5\mu\text{m}$ 以上）になるとフィルム密着力はあまり変わらない。したがって、BO-PETラミネートECCSのフィルム密着力を確保するためには、そのラミネートフィルムの無配向層厚みを $\delta_m/\delta_{cf} \geq 0.2$ となるように形成するとよい。

なお、この密着性評価の際に行った 215°C で30秒間の熱処理を施した後のBO-PETラミネートECCSのBO値はラミネート条件やBO値によって多少異なるけれども平均で1.44倍となるが、無配向層厚みはほとんど変化しないことを確認している。すなわち、BO-PETラミネートECCSを熱処理する場合の熱影響はラミネート時に受ける熱に対する影響と異なることが考えられる。これは、一つの推定ではあるが、ラミネートロールニップ内で一度融解した後凝固したPETはその後 T_{mp} 以下では容易に変化しないが、BO-PETのECCS側が拘束されている状態において配向層のPETは T_{mp} 以下でも分子鎖の運動により熱収縮が生じ、その結果、ECCS上でPETが延伸されたような状態になったからであると考えられる。また、ラミネートロールニップを離れた瞬間に T_{ms} 以上となるものについてはニップ内とほぼ同様の熱影響を受け無配向化するのに対し、このようなラミネート後の熱処理による場合においてはBO-PETラミネートECCSの表面からの加熱であることも上記のような再配向変化を助長する原因の一つとなると考えられる。

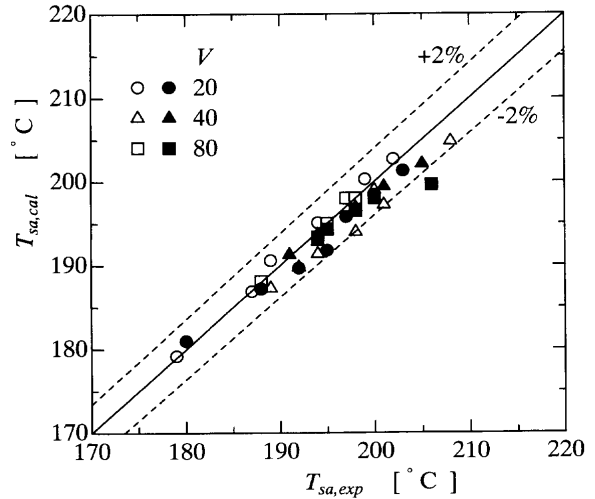


Fig. 10. Comparison of numerical temperature of film-laminated ECCS after lamination with experimental one (open points: $T_r=100^\circ\text{C}$, closed points: $T_r=150^\circ\text{C}$).

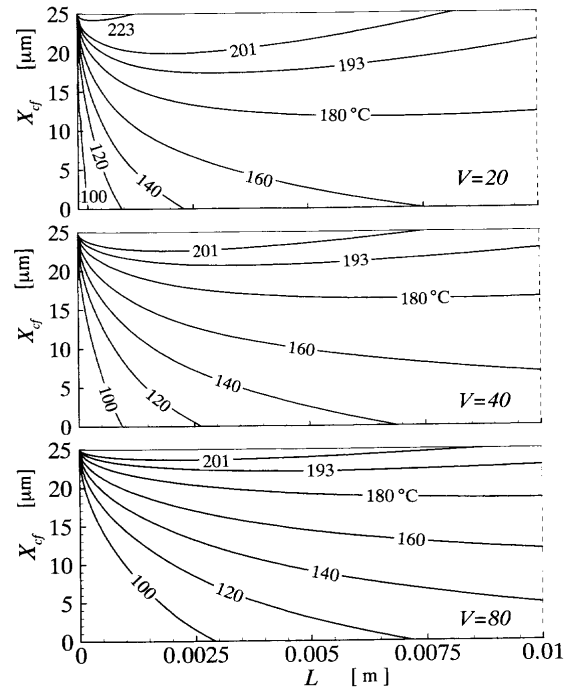


Fig. 11. Contour pattern of temperature in polyester film in roll nip ($T_r=100^\circ\text{C}$, $T_{sa}=195^\circ\text{C}$).

4.3 フィルムラミネートにおけるフィルム温度の解析結果

3で述べた陽解法による数値解析を行い、フィルムラミネートにおけるBO-PETの温度分布の変化を求めた。まず、本数値解析による温度計算結果の妥当性を検証するために、放射温度計により実測したラミネート後ECCS温度 $T_{sa,exp}$ とラミネート後ECCS温度の計算結果 $T_{sa,cal}$ との比較をFig.10に示したが、両者は良く一致している。

解析結果例として、Fig.11にラミネートロール温度 $T_r=100^\circ\text{C}$ 、ラミネート速度 $V=20, 40, 80\text{ m/min}$ のそれぞれの条件において、ラミネート後ECCS温度 $T_{sa}=195^\circ\text{C}$ とな

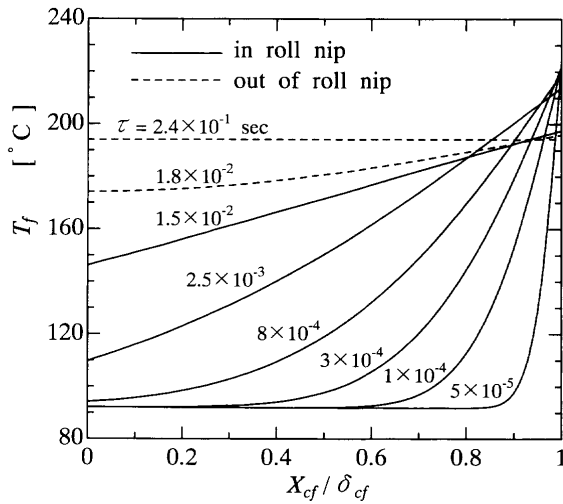


Fig. 12. Cross-sectional variation of transient temperature in polyester film in roll nip ($V=40$ m/min, $T_r=100^\circ\text{C}$, $T_{sa}=195^\circ\text{C}$).

る場合の温度計算結果をラミネートロールニップ内におけるBO-PETのラミネート進行方向の温度変化について等温線表示した。この図から、 T_r および T_{sa} を変化させずにラミネート速度を速くするとラミネート前のECCS温度を下げることになり、その結果、ラミネートロールニップ内におけるBO-PETの融解する部分が少なくなって無配向層厚みが減少すると考えられる。また、Fig.12には $T_r=100^\circ\text{C}$ 、 $V=40$ m/minの条件において、 $T_{sa}=195^\circ\text{C}$ となる場合のラミネート工程におけるフィルム厚み方向のフィルム温度分布の変化を示した。なお、BO-PETとECCSが接触開始する時点を時間 $\tau=0$ とした。

これらの図から、ラミネートロールニップ内においては、フィルムの厚み方向に極めて短時間内に温度分布の大きな変化がみられ、さらにロールニップを離れた後、極く短時間内にフィルムの厚み方向の温度は一様となることがわかる。このような厚み方向のフィルム温度分布の変化が無配向層と二軸配向層の複層化に大きく寄与していると考えられる。

4.4 温度場解析結果に基づく無配向層厚みの予測

4.2で示したように、ラミネート条件を変化させた場合においてもフィルム密着性はラミネートフィルムの無配向層厚みで整理できる。そこで、4.3に例示したフィルム温度変化に関する数値解析結果から無配向層厚みの予測を試みた。

Fig.12に例示したようなフィルム厚み方向のフィルム温度分布の変化から推定した、ラミネートフィルムの厚み方向の配向分布形成に関する模式図をFig.13に示した。Fig.13(a), (b)に示したように、ラミネートロールニップ内においては、フィルムは融解開始温度 T_{ms} 以上にまで昇温する部分が無配向層となり、 T_{hs} 以下の温度に抑えられる部分は二軸配向度が変化しない層であると推定される。しかしながら、Fig.13(c)に示したように、ロールニップを離

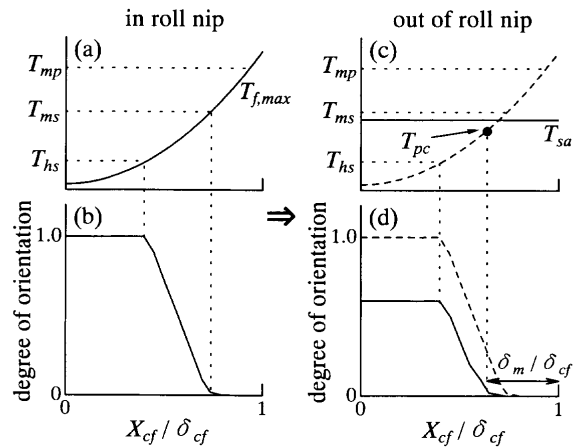


Fig. 13. Model of development for cross-sectional distribution of orientation of polyester film-laminated ECCS in laminating process.

れた後においては、フィルムは厚み方向に T_{sa} 近傍の一様温度となり、Fig.13(d)のようにフィルム表面側の二軸配向層は温度上昇に伴ってその二軸配向度が低下し、同時にECCS側の無配向層もその厚みが厚くなり、ラミネート後ECCSのフィルムの二軸配向度分布が決定されると考えられる。したがって、Fig.13(c)に示しているラミネート後ECCSのフィルムの無配向層厚みに対応するラミネートロールニップ内におけるフィルムの最高到達温度 T_{pc} は融解開始温度 T_{ms} よりも低い温度であることが推定できる。さらに、ラミネート後フィルム層全体の二軸配向度は T_{sa} に影響を受け、ラミネート後のBO値が T_{sa} で整理できることも理解できる。なお、図示していないが、 T_{sa} が T_{ms} 以上になるとラミネート条件に関わらず、フィルム層全体が無配向層となることを確認している。

以上の推定をもとに、まず、無配向層形成温度 T_{pc} について検討した。Fig.14にラミネートロール温度 $T_r=100^\circ\text{C}$ 、ラミネート速度 $V=20, 40, 80$ m/minとし、ラミネート後ECCS温度 $T_{sa}=195^\circ\text{C}$ となる場合について、ラミネートロールニップ内におけるフィルムの最高到達温度の厚み方向分布の数値解析結果とそれぞれの条件でラミネートしたBO-PETラミネートECCSのBO-PET断面の偏光顕微鏡写真を示している。Fig.14の写真から無配向層厚みを実測し、図中破線で示したように、その厚みに対応する最高到達温度を T_{pc} とした。このようにしてラミネート条件ごとに T_{pc} を求め、得られた T_{pc} を数値解析より求めたラミネート後ECCS温度 $T_{sa,cal}$ に対してFig.15に点綴した。この図から、ラミネートロール温度が低い方が T_{pc} は低く、また T_{sa} が高いものほど T_{pc} は低い傾向がわずかに見られるが、その傾向は明確ではない。

なお、4.2でも述べたように、ラミネートロールニップ内で一度融解した後に凝固したPETの無配向層はその後の熱でほとんど変化しないと考えられるので、ここではフィルム全体が無配向層となる（実用上は必要性の低い）場合

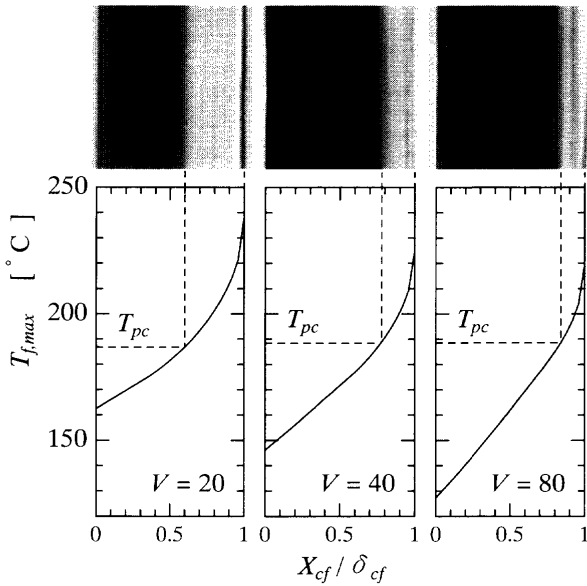


Fig. 14. Cross-sectional variation of maximum temperature in polyester film in roll nip and cross-section of polyester film laminated ECCS ($V=20, 40, 80$ m/min, $T_r=100^\circ\text{C}$, $T_{sa}=195^\circ\text{C}$).

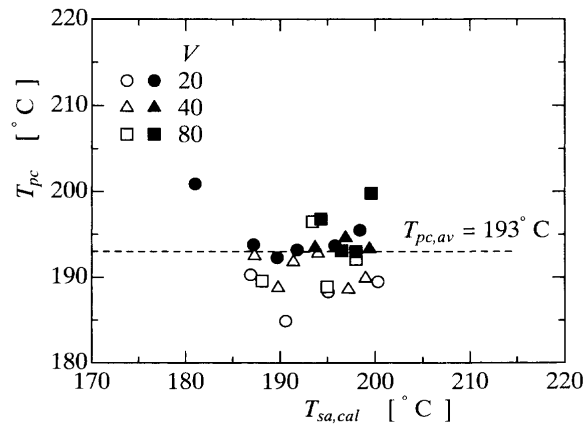


Fig. 15. Relation between transition temperature to amorphous state determined by numerical analysis and numerical temperature of film-laminated ECCS after lamination (open points: $T_r=100^\circ\text{C}$, closed points: $T_r=150^\circ\text{C}$).

を除いて、 T_{pc} をラミネートロールニップ内における最高到達温度分布を用いて決定することにした。

そこで次に、フィルム温度変化に関する数値解析結果から無配向層厚みをできるだけ簡便に予測するために、Fig.15に示した T_{pc} の平均値を無配向層形成温度 $T_{pc,av}$ とした。本実験条件の範囲においては $T_{pc,av}=193^\circ\text{C}$ であり、この $T_{pc,av}$ をFig.14に例示したラミネートロールニップ内におけるフィルムの最高到達温度の厚み方向分布の数値解析結果に適用して無配向層厚みの予測値を求めた。Fig.16には、この無配向層厚みの予測値 $\delta_{m,cal}/\delta_{cf}$ を実測値 $\delta_{m,exp}/\delta_{cf}$ に対して点綴しているが、両者の間には妥当な一致が見られ、本予測方法により $\delta_m/\delta_{cf}\leq 0.3$ （缶用材料として適用される範囲）においては $\pm 4\%$ （ $\pm 1\mu\text{m}$ ）以内で無配向層厚み

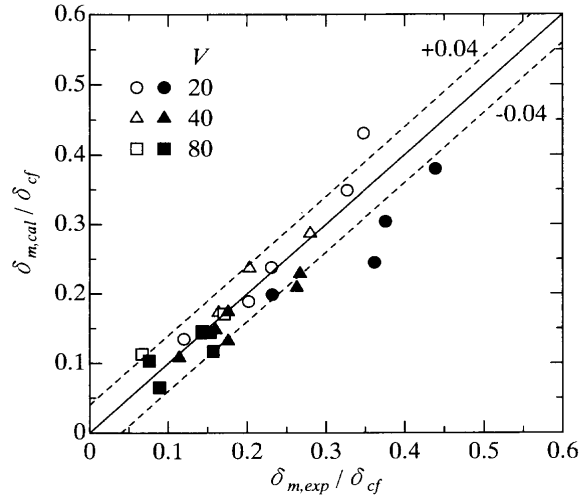


Fig. 16. Comparison of numerical thickness of amorphous layer with experimental one (open points: $T_r=100^\circ\text{C}$, closed points: $T_r=150^\circ\text{C}$).

を予測可能であることがわかる。

5. 結論

ラミネート条件を変化させてラミネート実験を行った結果から以下のことが明らかになった。

ラミネートロール温度やラミネート速度を変化させてBO-PETをECCSにラミネートすることにより、

- (1) BO-PETラミネートECCSは同一の二軸配向度であっても無配向層厚みは異なる。
- (2) BO-PETラミネートECCSのフィルム密着性は無配向層厚みで整理可能である。
- (3) BO-PETの二軸配向度はラミネート後ECCS温度で決定される。

また、ラミネート工程におけるBO-PETの厚み方向の温度変化について数値解析を行い、ラミネート後のBO-PETの二軸配向度と相関があるラミネート後のECCS温度およびフィルム厚み方向の温度分布の変化について明らかにした。

さらに、そのフィルムの厚み方向温度分布の数値解析結果と無配向層厚みの測定値から無配向層形成温度に関して検討した結果、ラミネートロール温度やラミネート速度を変化させた場合においても、ラミネートロールニップ内のフィルムの最高到達温度分布から無配向層厚みを $\pm 4\%$ 以内程度で予測できることがわかった。

記号

BO	: peak intensity of (100) crystal plane by means of X-ray diffractometer	[cps]
BO_0	: BO value before lamination	[cps]
c_p	: heat capacity	[kJ/(kg K)]
h_1, h_2	: coefficient of heat transfer	[W/(m ² K)]
k	: thermal conductivity	[W/(m K)]
L	: coordinate in laminating direction	[m]

L_{nip}	: length of laminating roll nip	[m]
T	: temperature	[°C]
T_f	: temperature of BO-PET	[°C]
$T_{f,max}$: maximum temperature of BO-PET	[°C]
T_{hs}	: heat-set temperature of clear BO-PET	[°C]
T_{mp}	: melting temperature of clear BO-PET	[°C]
T_{ms}	: melting start temperature of clear BO-PET	[°C]
T_{pc}	: transition temperature to amorphous state	[°C]
$T_{s,0}$: temperature of ECCS before lamination	[°C]
T_{sa}	: temperature of film-laminated ECCS after lamination	[°C]
T_r	: temperature of laminating roll	[°C]
$T_{r,0}$: initial temperature of laminating roll	[°C]
V	: laminating speed	[m/min]
X	: coordinate in thickness direction	[m]
X_{cf}	: distance from surface of clear BO-PET	[μm]
α	: thermal diffusivity	[m^2/s]
δ_{cf}	: thickness of clear BO-PET	[μm]
δ_m	: thickness of amorphous layer	[μm]
ρ	: density	[kg/m^3]
τ	: time	[s]

τ_{nip} : contact time in laminating roll nip [s]

添 字

0 : initial value
 av : average value
 cal : numerical value
 exp : experimental value

文 献

- 1) K.Imazu and N.Satoh: *CAMP-ISIJ*, **6** (1993), 540.
- 2) S.Morita, H.Iwashita, A.Tanaka and F.Terauchi: *Tetsu-to-Hagané*, **86** (2000), 156.
- 3) A.Tanaka, T.Hanafusa, H.Kojyo and T.Inui: *Trans. Iron Steel Inst. Jpn.*, **27** (1987), 638.
- 4) Y.Itoh, K.Yasunaka, K.Takesue and S.Morita: *CAMP-ISIJ*, **8** (1995), 1540.