

シール強度に及ぼす諸因子の影響に関する研究

土井猛志・永峯征弥¹・西坂強²

Effects of Various Factors on the Strength of a Side Seal Bag

Takeshi DOI, Seiya NAGAMINE¹ and Tsuyoshi NISHIZAKA²

(Received September 30, 2011)

Abstract The purpose of this study is to improve the strength of a side seal bag. For that purpose, the form of heat cutter, the material of heat cutter and operating conditions were examined. The side seal method is one of the bag-making methods. Flat films put on two sheets, such as CPP (Cast Polypropylene) film and OPP (Oriented Polypropylene) film, are cut thermally and welded by the specified width. The relation between the intensity of a side seal bag and each operating condition was investigated. A breaking load of CPP film increases with increasing the thickness of a film. In the case of less than 30 micrometers film thickness, a breaking load of OPP film increases with increasing thickness of a film. However, when a thickness of OPP film is 30 micrometers or more, the breaking load becomes an almost fixed value. A breaking load increases with decreasing the number of times per minute of decision. A breaking load increases with increasing the preset temperature of a heater. Additionally, as a result of executing a two-dimensional heat conduction FE (Finite Element) program which changed the material (thermal conductivity) of the heat cutter, it was ascertained that thermal conductivity of cutter affects greatly temperature near the tip of cutter. Furthermore, the shape of the heat cutter which may be able to improve the temperature of the cutter tip was examined.

Keywords [Cutter, Side seal, Thermal conductivity, Finite element program]

1 緒言

袋は我々の生活には欠かせないものとなっている。現在、最も多用されている袋はポリ・ビニール袋であり、これにも製造方法や材質により多くの種類が存在する。これらの袋は、安価で薄く軟質であり、サイズも豊富であることから、買い物袋やゴミ袋など日常生活には欠かせないものである。しかしながら、袋を製造する現場では袋のシール強度不足が重要な問題となっており、改善するための研究開発が日々行われている。

本研究では、種々の製袋方法がある中から代表的なものとしてサイドシール法を取り上げることとした。この方法で製造された袋は、主に文具や小物のラッピング用として用いられている。しかし、製袋時の条件、袋加工時に用いられる熱刃の温度やショット

数(裁断速度:shot/min)などを最適なものとしなければ溶着が不十分または過剰となり強度が落ちるほか、ひげやピンホールなどの欠陥を生じ外観上の問題や強度低下に大きく影響する。これらの発生を抑え良好な製品を安定的に生産することは非常に重要となる。本研究では、サイドシール法で造られた袋の強度(シール強度)を改善するために、製袋時に袋を溶断・溶着する熱刃の形状や材質、また、作業時の条件などについて検討し最適化を図っていくことを最終的な目標としている。

そこで本報告では、サイドシール法によって製造された袋の強度試験を行い、そこで得られた破断荷重と各作業条件との関係に対する考察を行う。さらに数値解析を用いて、シール強度を向上させる改善方法について検討を行う。

1 カルビー株式会社

2 ユニードパック株式会社

2 製袋に関する基礎事項

2.1 サイドシール法について

サイドシール法¹⁾は製袋方法の一つであり、

- ・CPP(Cast Polypropylene)
- ・OPP (Oriented Polypropylene)

上記材質のフラットフィルムを 2 枚重ね、指定幅で溶断・溶着するものである。ここで、CPP、OPP、ラミネートとは、それぞれ、無延伸ポリプロピレン、2 軸延伸ポリプロピレン、CPP と OPP を貼り合わせたものである。図 1 にサイドシール製袋法によって作られた袋の一例を示す。図 1 に示す長方形の袋における長手方向側面がシール部分である。



図 1 サイドシール製袋法で作られた袋の一例

3 シール強度に関する実態調査

サイドシール袋の製袋強度と各操業条件との因果関係について調査を行った。ここで各操業条件とは、フィルム材質²⁾(CPP,OPP,ラミネート)・素材厚さ・ヒーター設定温度・ショット数(裁断速度:shot/min)である。

3.1 試験方法

全 27 台の製袋機から 5 枚ずつサンプルを採取し、採取日・製品番号・製袋機番号・ヒーター設定温度・ショット数・材質・メーカー名・素材厚さを記録する。

- ① 5 枚のうち 3 枚から、前後に分けて試験片を作成する(図 2)。
- ② 作成した試験片を通常の引張り試験と同じ方法で両端を固定し、破断するまで引っ張る。
- ③ 破断した時の荷重を破断荷重とし、破断荷重と破断形態(図 3)をその都度記録していく。

3.2 試験結果

破断荷重と各操業条件との関係について図 4~図 8 に示す。以下、図中の前・後については図 2 で示し

たものである。また、図 6 におけるラミネート材の総合厚さについては、ラミネート材が CPP と OPP を貼り合わせたものであることから、CPP と OPP のそれぞれの厚さを積算したものととする。

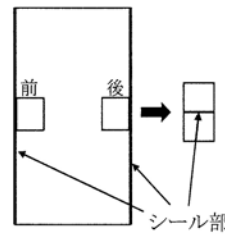


図 2 試験片

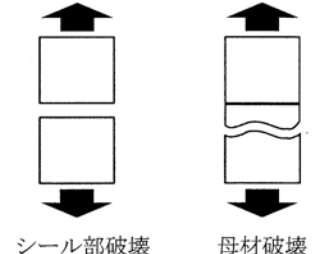


図 3 破断形態の模式図

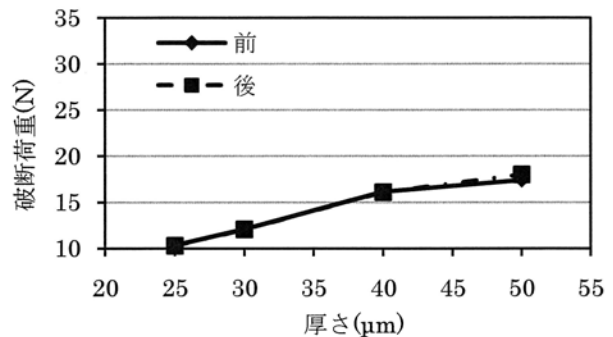


図 4 CPP 材に関する破断荷重と厚さの関係

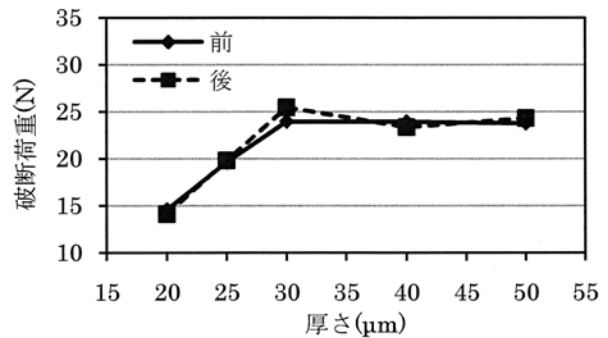


図 5 OPP 材に関する破断荷重と厚さの関係

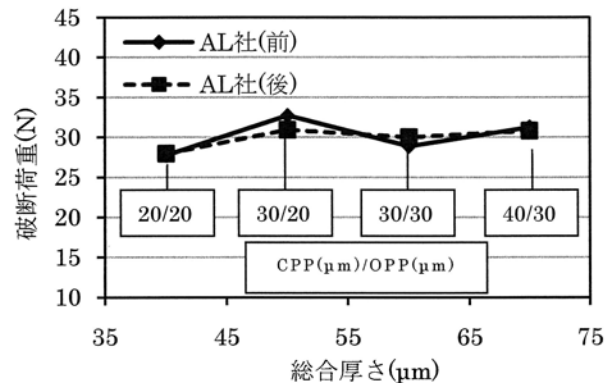


図 6 ラミネート材に関する破断荷重と厚さの関係

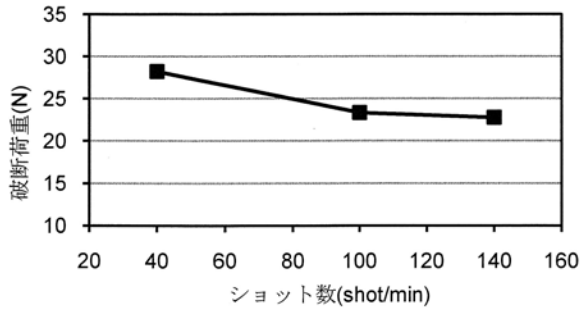


図7 破断荷重とショット数の関係
(OPP材, 30 μ m, ヒーター設定温度 430 $^{\circ}$ C)

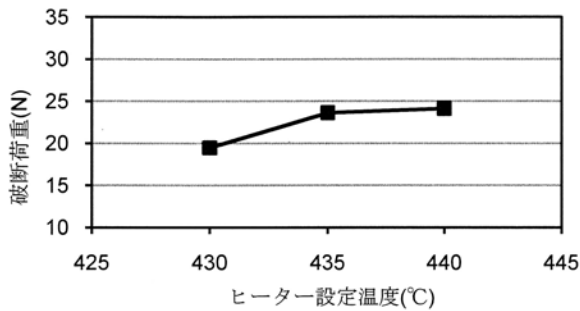


図8 破断荷重とヒーター設定温度の関係
(OPP材, 30 μ m, ショット数 120shot/min)

4 二次元非定常熱伝導有限要素解析

シール強度を向上させる方法としては、熱刃先端温度をヒーター設定温度に近い温度で安定させることが重要と考えられるため、それを実現するための熱刃材質及び形状について検討を行う。検討方法は、実際の操業状態をモデル化した二次元非定常熱伝導有限要素解析^{3,4)}によって数値計算し、その結果をもとに、有効な熱刃の材質及び形状について考察・検討を行う。

4.1 熱刃材質変更による数値解析

従来使用されているステンレスと、金型用鋼材について解析する。各材質の熱伝導率を表1に示す。また熱伝導率以外のパラメータは同値とし、形状及び寸法も同じものを使用する(図9(a))。ヒーター設定温度は 350 $^{\circ}$ C・400 $^{\circ}$ C・450 $^{\circ}$ C、ショット数は 100 shot/min で解析を行う。

表1 各材質の熱伝導率

材質	ステンレス	金型用鋼材
熱伝導率(W/m \cdot K)	15	40

4.2 熱刃形状変更による数値解析

従来使用される熱刃と、試作した熱刃の形状及び

寸法を図9に示す。また熱刃の物性値(ステンレス)と操業条件は同値とし、ヒーター設定温度は 400 $^{\circ}$ C、ショット数は 100shot/min で解析を行う。

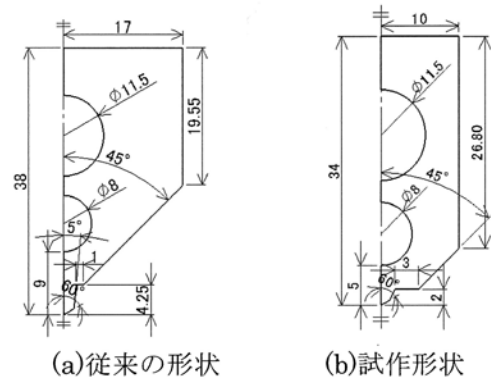


図9 熱刃の形状・寸法(1/2モデル) (単位:mm)

4.3 熱刃材質変更による解析結果

熱刃材質変更による数値解析の結果(熱刃先端温度の推移)を図10、図11、図12に示す。

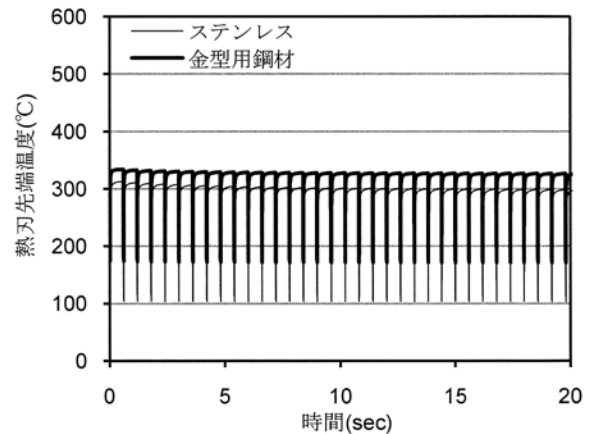


図10 熱刃先端温度の推移
(ヒーター設定温度 350 $^{\circ}$ C)

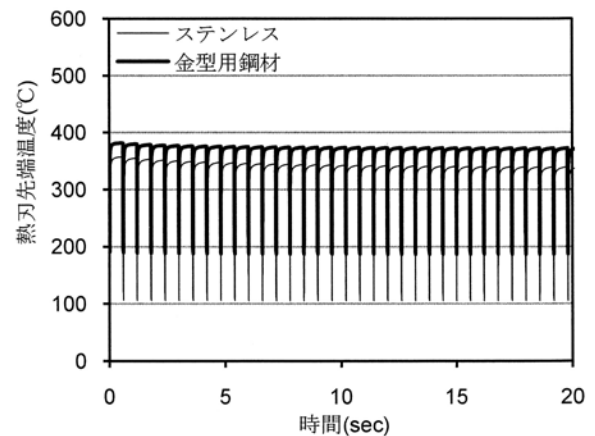


図11 熱刃先端温度の推移
(ヒーター設定温度 400 $^{\circ}$ C)

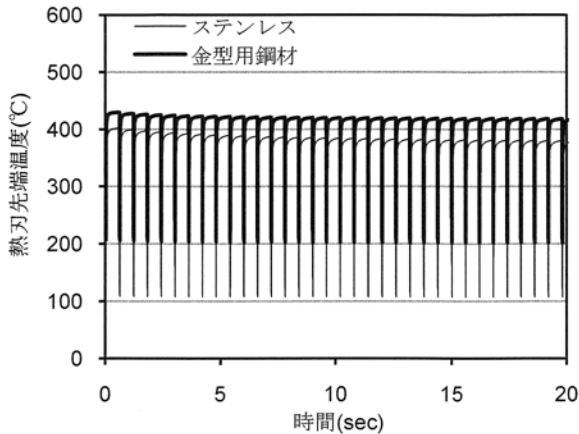


図 12 熱刃先端温度の推移
(ヒーター設定温度 450°C)

ここで、図中の横軸“時間”は、操業時の模擬計算を行うため、操業開始からの経過時間（安定状態にある熱刃が裁断を開始してからの経過時間）を意味している。図では0~20(sec)までとなっているが、実際の数値解析では0~60(sec)までを計算している。

4.4 熱刃形状変更による解析結果

図 9 に示す熱刃形状変更による数値解析の結果を図 13 に示す。

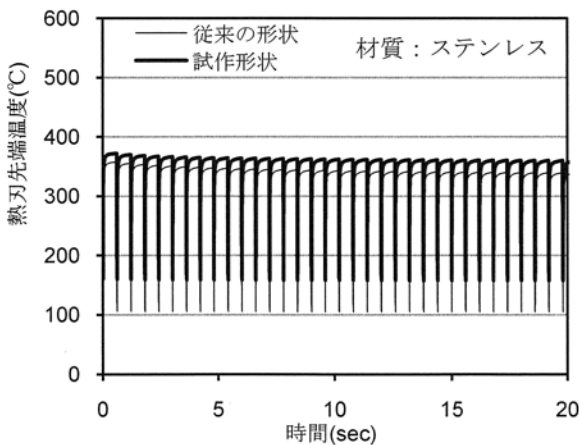


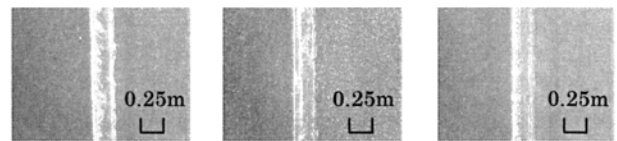
図 13 熱刃先端温度の推移
(ヒーター設定温度 400°C)

5 考察及びまとめ

5.1 試験結果の考察及びまとめ

1) 図 4 より、CPP 材について厚さが増加すると破断荷重は増加している。CPP 材はすべて母材破壊を起こしており、これはシール部より素材自体の破断荷重が低いためである。ゆえに破断荷重と厚さが比例的な関係になると考えられる。

2) 図 5 より、OPP 材について厚さが増加すると破断荷重は増加する傾向がみられるが、厚さが 30 μ m 以降からはほぼ一定になることが確認できる。これは厚さが 30 μ m 未満までは母材破壊であったが、30 μ m 以上ではシール部破壊が発生したことが原因と思われる。図 14 から分かるようにシール部幅は素材厚さに依存しておらず、シール部幅が一定であるため破断荷重はほぼ一定になると考えられる。



(a)30 μ m (b)40 μ m (c)50 μ m
図 14 OPP 材の各素材厚さにおけるシール部厚さ

3) 図 6 より、ラミネート素材について総合厚さが増加しても破断荷重はほぼ一定になることが確認できた。また、破壊の形態はすべてシール部破壊であったことから、OPP の傾向と一致しているように見える。しかしながら、OPP 材と比べるとわずかに右肩がりの傾向を示しており、これはもう一つの素材である CPP 材の影響によるものだと考えられるが、今後さらなる調査が必要である。

4) 図 7 より、ショット数の増加に伴い破断荷重が減少している。これはショット数が増加すると、フィルムと熱刃間における 1 回あたりの接触時間が短くなり、溶断・溶着時において十分な熱量を供給できないためであると考えられる。さらに、ショット数が増加することにより、フィルムおよびその他部材(フィルム直下にはゴムロールが存在)との接触回数が増加することから、熱刃先端部の温度低下を助長することとなり、結果として十分な接合が得られないと考えられる。

5) 一般的な傾向としてヒーター設定温度が高くなると破断荷重も増加すると言われており、同様の傾向が図 8 により確認できた。OPP の素材厚さ 30 μ m における破壊形態はシール部破壊であるため、ヒーター設定温度を高く設定することでシール部の強度が向上したものと判断できる。

5.2 二次元非定常有限要素解析結果

1) 図 10, 図 11, 図 12 より、金型用鋼材の方が温度帯(図中において各サイクルで熱刃先端温度が上下する際に生じる最高温度と最低温度が時間経過

とともに変化しながら形成される帯状の領域)の変化が緩やかであるため、安定しているとみなせる。また 60 秒後付近の温度推移を拡大し、最高温度・最低温度・さらにその差 dT を 図 15 のように決定する。各ヒーター設定温度別のグラフを図 16 に示す。図 16 より、最高温度・最低温度は金型用鋼材の方が高くなり、それらの差 dT はステンレスに比べ小さくなること分かる。さらに、ステンレスはヒーター設定温度を上げててもフィルムに接触すれば 100°C 近くまで下がるが、金型用鋼材はそれより下がらない結果となった。これらのことから、高い熱伝導率を有する熱刃材料を用いることは、熱刃先端温度の変化を小さくし、安定的な操業に寄与できると考えられる。

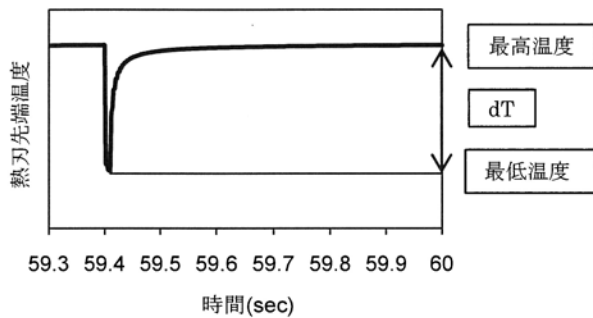


図 15 最高温度・最低温度・ dT の決定方法

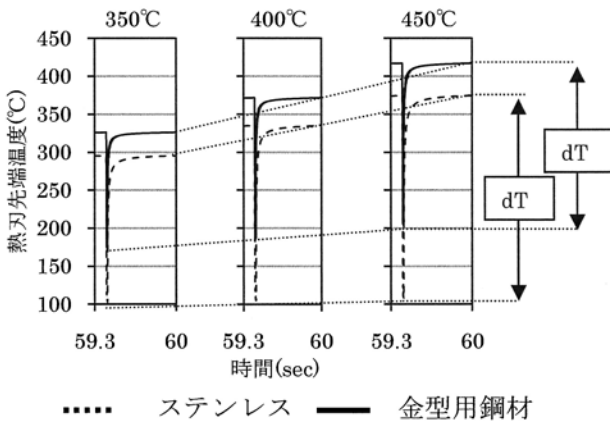


図 16 60 秒後付近の熱刃先端温度の推移

2) 図 13 より、試作形状の方が温度帯の変化が緩やかであるため、安定しているとみなせる。また、図 17 より、最高温度・最低温度ともに高く dT は小さくなったことから、熱刃先端温度の安定性に関する特性が改善されている結果が得られた。

このように良好な結果が得られた試作形状であるが、本試作形状は以下の改善点を元に考案したものである。

A 案：図 18 の斜線部①の部分はヒーターからの熱量を奪っており、熱刃先端部への熱移動を妨げている。

B 案：図 18 の太線で示された距離 L 、すなわちヒートパイプ-熱刃先端間（ヒーター-熱刃先端間）を短くすれば熱刃先端の温度回復が向上する。

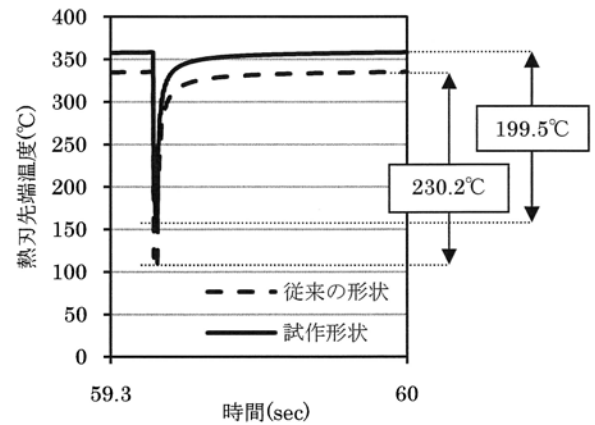


図 17 60 秒後付近の熱刃先端温度の推移 (ヒーター設定温度 400°C)

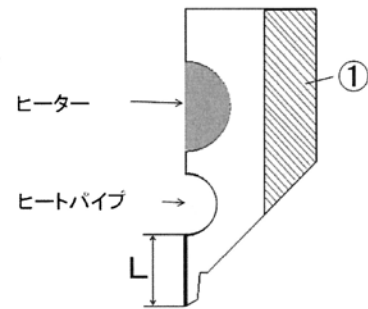


図 18 従来形状の改善点

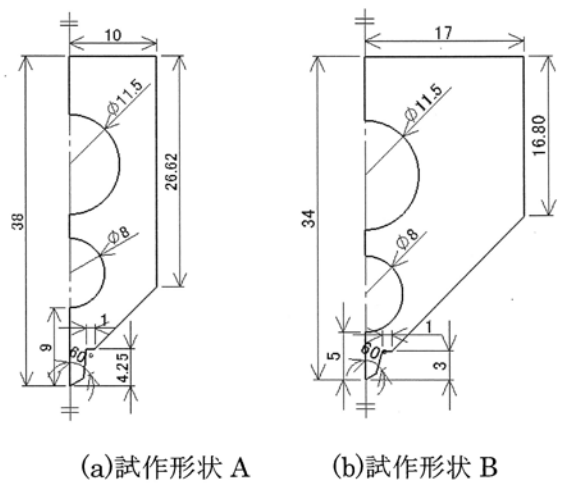


図 19 熱刃の寸法・形状 (1/2 モデル) (単位:mm)

改善点である 2 つの案が熱刃先端温度にどのような影響を及ぼしているのかを考察するために、A 案のみを試作形状 A(図 19(a))、B 案のみを試作形状 B(図 19(b))とし解析を行った。

その結果を図 20、図 21 に示す。

試作形状 A について図 20 より、最高温度はほぼ同程度であるが最低温度は試作形状 A の方が約 50℃高くなっている。これは図 18 の①の部分が無くなったため熱の無駄な拡散がなくなり、熱刃先端温度の低下を抑制していると考えられる。

試作形状 B について図 21 より、最低温度はほぼ同程度であるが最高温度は試作形状 B の方が約 20℃高くなっている。これは、図 18 の距離 L が短くなったためヒーターからの熱が熱刃先端に到達するまでの時間が短くなり、熱刃先端温度の回復が早くなったと考えられる。

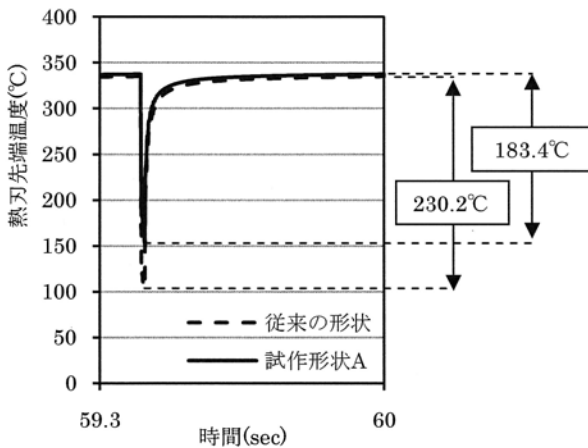


図 20 60 秒後付近の熱刃先端温度の推移 (ヒーター設定温度 400℃)

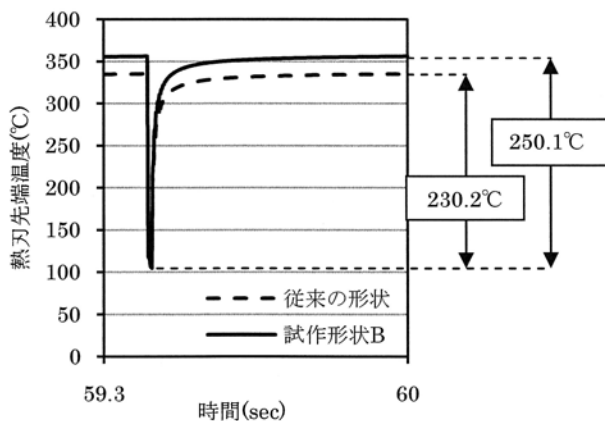


図 21 60 秒後付近の熱刃先端温度の推移 (ヒーター設定温度 400℃)

6 結言

本報では、サイドシール法で造られた袋について

強度(シール強度)改善を目的に、シール強度に関する実態調査、および熱刃の形状や材質に関し数値解析的な検討を行った。主な結論を以下に示す。

- 1) CPP 材について、素材厚さが増加すると破断荷重は増加する。
- 2) OPP 材について、素材厚さが増加すると厚さ 30μm 未満までは破断荷重は増加するが、それ以降から破断荷重はほぼ一定になる。
- 3) ラミネート材は総合厚さが増加しても破断荷重はほぼ一定になるが、わずかながら破断荷重の増加傾向が見られ、今後さらなる調査が必要である。
- 4) ショット数の増加に伴い破断荷重は減少する。
- 5) ヒーター設定温度の増加に伴い破断荷重は増加する。
- 6) 熱伝導率を変更し熱刃の二次元非定常熱伝導有限要素解析を行い、熱伝導率が熱刃先端温度に大きく影響を及ぼすことを確認できた。また、熱伝導率が大きい熱刃材料を用いることで、熱刃先端温度の変化を小さくし、安定的な操業に寄与できると考えられる。
- 7) 熱伝導解析を行い、熱刃先端温度を改善できる可能性がある熱刃形状について検討し、今後の熱刃試作候補を絞り込んだ。

謝辞

本研究は、平成 21 年度「高いシール強度を得るサイドシール方法の開発」に関連する共同研究であり、実験データ収集および論文の執筆にあたり、ユニードパック株式会社 西坂強様には、各種試験の場を提供して頂いたほか研究に関する様々なご指導・情報を賜り心から感謝申し上げます。

参考文献

- 1) ユニードパック株式会社ホームページ
http://www.yunido.com/html/k_annnai/fukuro.html
- 2) 包装技術ねっとホームページ
<http://www.housougijutsu.net/word/000168.html>
- 3) 矢川元基・宮崎則幸著、有限要素法による熱応力・クリープ・熱伝導解析、サイエンス社、1985
- 4) 内山知実、Java による連続体力学の有限要素法、森北出版株式会社、2001